

좌회전 감응신호제어방법 개발에 관한 연구

Study on Development of the Left-Turn Actuated Signal Control Method

김 수 희*	오 영 태**	이 철 기***	이 환 필****	최 진 호*****
(Soo-Hee, Kim)	(Young-Tae, Oh)	(Choul-Ki, Lee)	(Hwan-Pil, Lee)	(Jin-Ho, Choi)

요 약

실시간신호제어시스템(COSMOS)에서 좌회전 감응신호제어 시 U-Turn 차량을 고려하지 않아 좌회전 차로가 U-turn 공용차로로 운영될 경우, U-Turn차량의 혼입으로 인해 일반적인 좌회전 차량의 통행특성과 달라지므로 최소녹색시간 및 진행연장시간의 증가에 따른 좌회전 조기종결의 문제가 종종 발생하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 연구에서는 좌회전 감응신호제어용 검지기(좌회전 정지선 후방 12m위치)를 U-Turn 허용차선 시작부분으로 이격(Set-Back)하고, 상기의 문제를 해결하는 좌회전 감응 신호제어방법을 개발하였다.

또한, 상기 개발방법의 적용성 평가를 위하여 TRANSYT-7F, VISSIM을 이용한 모의실험을 수행하였으며, 교통상황(포화, 근포화, 비포화), 신호제어 방법(고정식 신호제어, COSMOS 좌회전 감응신호제어, 개발 방법의 좌회전 감응신호제어), U-Turn 비율(10, 20, 30%)에 따라 다양하게 수행하였다. 상기의 모의 실험결과에 의하면, 포화(V/C = 1.0), 근포화(V/C = 0.8)교통상황에서 개선효과가 있는 것으로 분석되었다.

Abstract

The left-turn actuated signal control method has been occurred various problems under the COSMOS. one of problems is a early termination for left-turn phase by u-turn vehicles at left-turn lane. Therefore, the purpose of this study is a development of the efficient left-turn actuated signal control method to improve the problem. This study was considered that setback the left-turn vehicle detector to the start point of u-turn line and adjustment of the passage time. For effective analysis of developed method, Traffic simulation was simulated by T-7F and VISSIM under various traffic conditions. The result was proved that the developed Method improved the effectiveness.

Key words : Left-turn, u-turn, actuated signal control, COSMOS

1. 서 론

좌회전 감응신호제어는 좌회전 교통류 상태를

파악하여 좌회전 현시시간을 효율적으로 사용함으로써 다른 현시의 이동류가 남은 신호시간을 이용하게 하여 연동제어와 동시에 신호효율을 극대화할

† 본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(과제번호# 09 첨단도시 A01)에 의해 수행 되었습니다.

* 주저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원

** 공저자 및 교신저자 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교수

*** 공저자 : 아주대학교 ITS 대학원 교수

**** 공저자 : 아주대학교 교통연구센터 수석연구원

***** 공저자 : 네이비스시스템(주) 선임연구원

† 논문접수일 : 2011년 3월 7일

† 논문심사일 : 2011년 4월 12일

† 게재확정일 : 2011년 4월 13일

수 있는 감응신호제어로 반감응 제어방식중 하나이다. 또한 좌회전 감응신호제어는 현재 우리나라에서 추진 중인 교통운영체계 선진화방안의 추진전략인 좌회전 신호보완 추진전략으로써 설치확대 추진 중에 있으며[1,2], 한국형 실시간신호제어시스템(Cycle, Offset, Split Model for Seoul, 이하 COSMOS)의 주요기능 중의 하나로써 좌회전 감응신호제어 방법이 제시되어 있다[3]. 그러나 COSMOS의 좌회전 감응신호제어방법은 좌회전 시, 정지선 도착 이전에 U-Turn을 수행하는 차량이 포함되어 있을 경우, 좌회전 조기종결 현상이 발생하여 감응제어의 효율성 저하 현상을 유발할 수 있다.

이에, 본 연구에서는 U-Turn 차량을 고려한 좌회전 감응신호제어 방법을 개발하여 감응제어의 효율성을 증대시키는 것을 목적으로 한다.

II. 이론적 고찰

1. 감응 신호제어

감응식 신호제어는 적용범위에 따라 완전감응신호제어와 반감응신호제어로 분류되며, 수요대응 기능에 따라 일반 감응신호제어와 Volume-density 제어로 구분된다[4].

감응식 신호제어 운영변수로는 첫째, 최소녹색시간(Minimum Green Interval)으로 교차로 접근로의 현시에서 녹색시간에 제공할 수 있는 최소시간을 말하며, 일반적인 감응제어에서의 정지선과 검지기 사이에 대기할 수 있는 차량 수에 따른다. 둘째, 진행연장시간(Extension Interval)으로 Vehicle Extension 혹은 Unit Extension과 같은 의미이며 차량 간 수용할 수 있는 최대 차두간격이라고도 할 수 있으나 검지기 운용방식에 따라서 차이가 난다. 셋째, 진행연장시간(Extension Interval)으로 Vehicle Extension 혹은 Unit Extension과 같은 의미이며 차량간 수용할 수 있는 최대 차두간격이라고도 할 수 있으나 검지기 운용방식에 따라서 차이가 난다[4].

감응신호제어에서 각 현시의 녹색시간은 대기차량의 출발을 위해 지정된 최소녹색시간(Minimum

Green Interval)을 갖게 되며 최소녹색시간이 종료된 후 부가차량의 존재 유무에 따라 단위연장시간만큼 확장되며, 녹색시간연장은 지정된 연장한계에 의해 종결되고, 종결된 녹색시간 다음에 황색시간을 통해 다음 현시로 넘어가지만 추가적으로 전적색(All-Red)을 선택사항으로 결정할 수 있다[4].

2. COSMOS 좌회전 감응신호제어

COSMOS의 주요기능으로는 실시간 대응제어, 좌회전 감응신호제어, 앞막힘 예방제어 등이 있는데, 특히, 좌회전 감응신호제어 기능은 좌회전 검지기에서 좌회전 교통류의 상태를 파악하여, 좌회전 수요가 없으면 현시를 종결시켜 남은 시간을 다른 방향의 이동류가 이용하게 하고, 반대로 좌회전 수요가 주어진 좌회전 녹색시간보다 많으면 녹색시간을 연장하는 기능을 말한다[3].

3. U-Turn 차로 설치 기준

U-Turn 구역선은 편도 폭 9m 이상의 도로에서 인접 교차로간 거리 및 신호주기 등 주변 교통여건을 감안하여 자동차의 U-Turn이 허용된 구간 또는 장소내의 필요한 지점에 설치하여야 한다.

U-Turn 구역선의 길이는 단일로 및 교차로 등 설치장소의 교통여건과 운전자의 행동특성에 근거한 공학적 판단에 의하여 결정되지만, 승용차 2~3대에 해당하는 12~18m로 하되, 교통량, 차로수, 신호주기 등을 고려하여 결정하며, 좌회전 전용차로가 있는 도로에 설치한다[5].

4. 기존 연구 고찰

이도현(2004)은 기존의 COSMOS 좌회전 검지기는 좌회전 차량의 이동 형태를 고려하여 정지선으로부터 12m 이격하여 설치하였기 때문에 U-Turn 차량이 발생할 경우 좌회전 감응식 신호운영제어에 악영향을 미친다고 문제점을 지적하였다[6].

이에, 좌회전 검지기를 정지선에서 30M 이격하고, 정지선으로부터 검지기까지의 거리를 충분히

고려하기 위해 Gap Time을 4초로 설정하였으나, 좌회전 검지기를 U-Turn 허용차선 시점으로 이격하는 것이 전략이 더 효율적이라고 제시하였다[6].

상기 연구는 진행연장시간과 초기녹색시간의 증가에 대한 고려가 미흡하였으며 다양한 교통조건(좌회전대비 U-Turn 비율 조건, 포화, 근포화, 비포화 상황 등)을 적용하지는 못하였다. 이에, 본 연구는 U-Turn 차량의 영향으로 인한 초기녹색시간 및 진행연장시간을 최소화 하는 감응신호제어방법으로써 차별성을 지닌다.

Ⅲ. 좌회전 감응신호제어 방법 개발

1. 개발 방향

좌회전 현시제어 검지기의 Set-Back은 U-Turn 차량으로 앞뒤 차량의 차두시간이 진행연장시간을 초과하는 조기종결 현상을 발생하지 않도록 하는 역할을 하지만, 초기녹색시간과 진행연장시간을 증가시키게 되며, 이로 인해 초기녹색시간과 진행연장시간의 증가로 인한 두 가지 손실시간이 발생한다. 이에, 본 연구에서는 좌회전 현시제어 검지기의 Set-Back을 기반으로 좌회전 조기종결 현상을 해결하고 Set-Back으로 야기되는 두 가지 손실시간 문제를 해결하도록 한다.

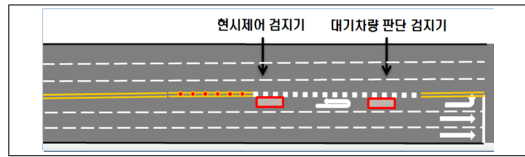
2. 초기녹색시간 증가에 따른 손실시간 최소화 방안

COSMOS 좌회전 감응신호제어의 초기녹색시간은 12m검지기 기준으로 정지선과 검지기사이에 2대 차량이 존재할 수 있다고 가정하고 약 8~10초로 설정하고 있다[3].

좌회전 현시제어 검지기를 Set-Back함에 따라 초기녹색시간이 증가하며, Set-Back에 따른 손실시간은 좌회전 검지기가 정지선에 가까울수록 손실시간은 감소하고 멀어질수록 손실시간이 증가한다[4].

이에, 본 연구에서는, 손실시간을 최소화하기 위한 방법으로써 다음 그림과 같이 좌회전 검지기를 U-Turn 시작시점으로 Set-Back함과 동시에 대기차량을 판단하는 기능을 수행할 “대기차량 판단 검지

기”를 추가 설치하도록 한다.



〈그림 1〉 대기차량 판단 검지기 설치
(Fig. 1) Installation layout for queue decision detector

추가 설치되는 대기차량 판단 검지기는 점유상태에 따라 다른 초기녹색시간을 선택하도록 한다.

즉, 점유(on)인 경우, 대기차량이 대기차량 판단 검지기 대기하고 있다고 판단하고 Set-back된 좌회전 현시제어 검지기의 위치에 해당하는 초기녹색시간을 부여하며, 비점유(off)인 경우, 대기차량이 모두 대기차량 판단 검지기와 정지선 사이에 존재하고 있다고 판단하여 대기차량 판단 검지기 위치에 해당하는 초기녹색시간을 부여한다.

상기와 같이 대기차량 판단 검지기 점유상태에 (on/off)에 따라 초기녹색시간을 다른 초기녹색시간을 부여함으로써 Set-Back으로 인한 초기녹색시간 증가로 인해 발생하는 손실시간을 줄일 수 있다. 그러나, 본 연구에서는 대기차량 판단 검지기의 위치를 다양하게 변화시켜 최적의 위치를 선정하여야 하지만, 여건상 좌회전 현시제어 검지기와 정지선과의 가운데 위치에 설치하도록 한다.

3. 진행연장시간 증가에 따른 손실시간 최소화 방안

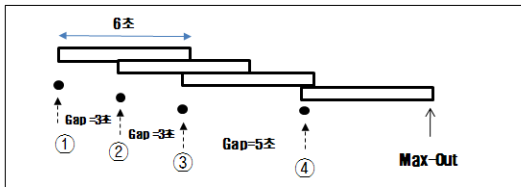
진행연장시간은 다음의 2가지 조건을 고려하여 만족하는 시간이라고 정의할 수 있다[4].

- 조건 1: 좌회전 대기 차량이 모두 배출되었다고 생각할 수 있는 차량간격(보통 3.5초)
- 조건 2: 검지기에서 정지선까지 차량이 통과할 수 있는 시간간격(Passage time)

본 연구에서는 진행연장시간을 기준으로 좌회전 현시제어 검지기의 Set-Back 위치가 설정되는 것이 아니라, 앞에서 U-Turn 허용차로 시작지점에 좌회전 현시제어 검지기를 이격하는 것으로 정의하였기

때문에 기존 진행연장시간 3.5초는 상기의 조건 2를 만족할 수 없는 상황이 발생한다. 따라서, 검지기 위치에 적정한 Passage Time을 확보하도록 진행연장시간을 증가시켜야 한다.

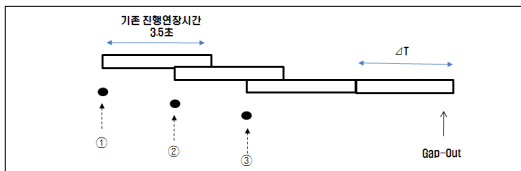
그러나 Passage Time을 고려한 진행연장시간의 증가는 차량간격의 증가를 의미하므로, 좌회전 차량의 유무를 판단하는 시간이 길어져 불필요한 손실시간이 발생할 수 있으며, 차량 존재 유무 판단시, 대기 차량이 없을 경우에도, 최대녹색시간에서 현시가 종결되는 Max-Out으로 이동하는 현상이 자주 발생되므로 신호 효율성을 저하시킨다.



〈그림 2〉 진행연장시간 증가로 인한 Max-Out 현상
(Fig. 2) Max-Out by increasing extension time

따라서, 진행연장시간 증가를 최소화하기 위해 본 연구에서는 진행연장시간을 기존 3.5초로 설정하여 Max-Out 현상을 발생하지 않도록 하고, 상기 조건2의 Passage Time을 확보할 수 있는 “ ΔT ”변수를 새롭게 정의하도록 한다.

ΔT 는 차량의 Passage Time을 반영한 추가부여시간으로 기존 감응신호제어방법에서 조기종결이 발생할 경우, 조기종결 시점에서 ΔT 만큼을 추가로 부여하여 검지된 마지막 차량이 교차로를 안전하게 빠져나갈 수 있도록 하는 역할을 한다.



〈그림 3〉 ΔT 의 개념
(Fig. 3) Concept of the ΔT

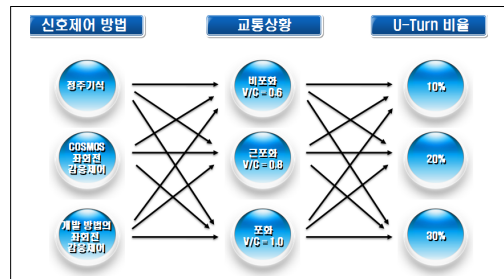
진행연장시간의 산정방법은 다음과 같다[4,7].

- ① 좌회전 차량의 15th Percentile 통행속도 측정
- ② 15th Percentile 통행속도와 좌회전 현시제어 검지기 위치에 따른 Passage Time산출
- ③ Passage Time과 진행연장시간의 차이를 통해 산출

IV. 모의실험을 통한 적용성 평가

1. 평가 방법

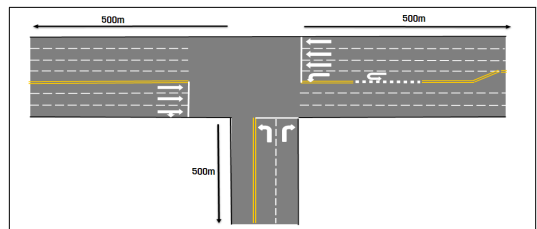
1) 모의실험 시나리오 구성



〈그림 4〉 평가 시나리오
(Fig. 4) Evaluation scenario

교통상황 변수로 비포화, 근포화, 포화상태($V/C=0.6, 0.8, 1.0$)[8]와 좌회전 차량중 U-Turn 차량의 혼입비율(10%, 20%, 30%)을 적용하고, 정주기식 신호제어방식, 기존 COSMOS 좌회전 감응신호제어방식과 비교를 위해 총지체를 평가척도로 시나리오 구성한다. 또한, 시뮬레이션 툴로는 신호최적화를 위한 TRANSYT-7F[9] 및 효과척도 산출을 위한 VISSIM[10,11]을 사용한다.

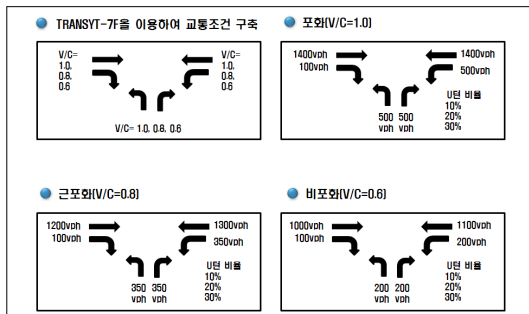
2) 모의실험 환경구성



〈그림 5〉 평가를 위한 기하구조
(Fig. 5) Geometric layout for evaluation

1) 용인시 42호 국도 대상 교통량 조사 참조(0~30%)

기하조건은 좌회전 bay가 있으며 U-Turn이 가능한 3지 교차로를 대상으로 하며, 좌회전 bay의 다음의 길이는 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙[12]의 산정식을 반영하여 175m로 설정하고, 좌회전 차로에서 U-Turn 허용구간과 전방교차로 정지선과의 이격거리는 “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙”의 정지시거를 고려한 값을 반영하여 20m[12], U-Turn 허용구간의 길이는 “교통안전시설실무편람”을 반영한 값으로 18m로 설정한다[5].



(그림 6) 평가를 위한 교통조건
(Fig. 6) Traffic condition for Evaluation

또한, 시나리오에서 제시한 교통조건과 신호조건을 적용하며, 특히 신호조건은 120~180초 범위에서 지체를 최소화 하는 신호최적화 변수를 도출하여 적용한다.

2. 평가결과

지체도 개선효과 측면에서는 개발 좌회전 감응신호제어방법이 고정식 신호제어 방법에 비해 8~36%의 지체도 개선효과가 나타났으며, COSMOS 좌회전 감응신호제어 방법에 비해 V/C=0.6 환경에서 비슷한 효과를 보이고 V/C=0.8 이상에서 2~59%의 지체도 개선효과가 나타났다.

U-Turn 차량의 비율측면에서는 고정식 신호제어 방법은 비율과 상관없이 일정한 지체도를 보이고

있으며, COSMOS 좌회전 감응신호제어 방법은 오히려 U-Turn 차량의 비율이 증가할 수 록 지체도가 증가하는 결과가 나타났으며, 개발 좌회전 감응신호제어방법은 U-Turn 차량의 비율에 상관없이 일정한 지체도를 보이고 있다.

또한, 교통량이 증가하여 포화상태로 진행될 경우, COSMOS 좌회전 감응신호제어 방법은 오히려 고정식 신호제어 방법에 비해 오히려 지체도가 증가하는 현상을 나타내고 있다.

〈표 1〉 평가결과(교차로 총지체, 초)
(Table 1) Results of evaluation (Intersection Total delay, sec)

U-Turn 비율	고정식 신호 제어	COSMOS 감응 제어	개발 감응 제어	고정식 대비 증감율	COSMOS 대비 증감율
V/C = 0.6					
10%	15.92	11.44	11.85	-34%	3%
20%	15.74	11.37	11.58	-36%	2%
30%	15.66	11.44	11.48	-36%	0%
V/C = 0.8					
10%	28.29	23.36	22.95	-23%	-2%
20%	28.10	25.89	22.96	-22%	-13%
30%	27.91	36.82	23.12	-21%	-59%
V/C = 1.0					
10%	58.42	65.37	52.06	-12%	-26%
20%	58.04	71.17	52.33	-11%	-36%
30%	57.63	71.95	53.31	-8%	-35%

상기 평가 결과에서 나타나듯이 COSMOS 좌회전 감응신호제어 방법의 문제점으로 제시한 U-Turn 차량의 영향으로 좌회전 교통수요가 충분히 있음에도 불구하고 좌회전 조기종결의 현상이 이루어져 지체의 증가를 야기 시키는 것으로 판단되며, 본 연구에서 개발한 좌회전 신호제어 방법이 효과가 있음을 단적으로 보여준다고 할 수 있다.

V. 결론 및 향후연구

본 연구는 U-Turn 차료가 있는 경우 COSMOS 좌회전 감응신호제어 방법의 문제를 해결하기 위하여 새로운 신호제어 방법을 제시하였으며 개선효과를

2) 좌회전 대기차로의 길이 = 2 X 좌회전차량의 수(신호 1주기당) X 차량길이(6.5m)
단, 신호 1주기당 좌회전 차량 수는 포화교통류상황에서의 교통량으로 가정함

모의실험을 통해 교차로 총지체도의 개선효과를 제시하였다.

우선, 좌회전 조기종결 현상을 해결하는 방법으로 U-Turn 허용차선 시작부분으로 좌회전 현시제어 검지기를 이격하였으며, 이로 인한 초기녹색시간의 증가 및 진행연장시간 증가로 발생하는 손실시간을 해결하기 위해 대기차량을 판단하는 기능을 수행할 “대기차량 판단 검지기” 추가 설치, Max-Out 현상 발생을 배제하고 Passage Time을 확보하도록 “ ΔT ” 변수를 새롭게 정의하였다.

향후, 본 연구에서의 대기차량 판단 검지기 위치 변화에 따른 손실시간 개선효과의 변화를 명확하게 분석하여 대기차량 검지기 위치를 추가적으로 재설정할 필요가 있으며, ΔT 값에 있어서 설정방안은 제시하였으나 좀 더 다각적이고 명확한 추가 연구가 수행 될 필요가 있다고 판단된다.

※ 본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(과제번호# 09 첨단도시 A01)에 의해 수행 되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 국가경쟁력강화위원회, 기초법질서 확립을 위한 교통운영체계 선진화방안, 2009. 4.
- [2] 국가경쟁력강화위원회, 교통운영체계 선진화방안 후속조치 실천계획, 2009. 5.
- [3] 서울지방경찰청, “COSMOS 2001 실시간 신호제어시스템 실무해설집,” 2002.
- [4] Federal Highway Administration, “Traffic Control System Handbook,” 2005. 10.
- [5] 경찰청, “교통안전시설실무편람,” 2006. 3.
- [6] 이도현 “U-Turn 차량을 고려한 좌회전 감응식 신호제어전략 개발 및 평가,” 서울시립대학교, 2004. 2.
- [7] Roger P. Roess, Elena S. Prassas, and William R. McShane, “Traffic Engineering,” Prentice-Hall, 2004.
- [8] 김수희, “과포화 교통축에서의 비공통주기 기반 신호운영방법론 개발,” 아주대학교, 2007. 8.
- [9] University of Florida Transportation Research Center, “TRANSYT-7F user guide,” 1998. 3.
- [10] PTV AG, “VISSIM 5.20 user manual,” 2009. 7.
- [11] PTV AG, “VAP 2.16 interface user manual,” 2007.
- [12] 국토해양부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙, 2009. 11.

저자소개



김 수 희 (Kim, Soo-Hee)

2007년 8월 : 아주대학교 박사(교통공학전공)
1999년 2월 : 아주대학교 석사(교통공학전공)
2002년 3월 ~ 2011년 5월 : 아주대학교 교통연구센터 연구위원
2011년 6월 ~ 현 재 : 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원



오 영 태 (Oh, Young-Tae)

1989년 1월 : Polytechnic University 교통공학 박사
1985년 1월 : Polytechnic Institute of New York, 교통공학 석사
1993년 3월 ~ 현 재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교수



이 철 기 (Lee, Choul-Ki)

1998년 2월 : 아주대학교 박사(교통공학전공)
1991년 2월 : 아주대학교 석사(교통공학 전공)
2006년 3월 ~ 현 재 : 아주대학교 ITS 대학원 교수



이 환 필 (Lee, Hwan-Pil)

2011년 2월 : 아주대학교 박사(교통공학전공)
2003년 2월 : 아주대학교 석사(교통공학전공)
2005년 3월 ~ 현 재 : 아주대학교 교통연구센터 수석연구원



최 진 호 (Choi, Jin-Ho)

2010년 8월 : 아주대학교 석사(교통공학전공)
2010년 9월 ~ 현 재 : 네이비스시스템(주) 선임연구원