

# VANETs 환경에서 단일 교차로의 교통신호 제어방법에 관한 연구

## A study on traffic signal control at signalized intersections in VANETs

장 형 준\*                      박 귀 태\*\*  
(Hyeong-Jun Chang)        (Gwi-Tae Park)

### 요 약

서울시는 2001년부터 실시간 신호제어시스템(COSMOS)을 운영하고 있으며, 도시부 신호교차로의 신호운영 자료인 포화도 및 대기길이의 산출을 위하여 검지기를 설치해 차량으로부터 기초자료를 습득하고 있다. 현재 가장 보편적으로 사용하는 것은 유도성 루프검지기로 도로의 노면에 매설하는 방식이라 유지·보수가 용이하지 않고 비용이 많이 드는 단점이 있다. 또한 대기길이의 산정시 검지기를 통과하는 차량의 속도만으로 계산해야하기 때문에 속도측정 오차 발생시에 대기길이의 값에 영향을 미치게 된다. 제안하는 알고리즘은 카메라, 센서 및 이미지처리 장치와 같은 추가적인 장치 없이, VANETs(Vehicular Ad-hoc Networks)의 차량 간의 통신을 이용하고 각 방향별 그룹을 설정하여 교차로에서 원활한 교통 흐름을 가능케 하는 실시간 교통신호 제어 시스템을 제안한다. 본 연구에서 제안한 알고리즘은 GLD(Green Light District) Simulator를 기반으로 단일교차로 모델에서 AJWT(Average Junction Waiting Time)와 TQL(Total Queue Length)에 대해서 확인하였으며 그 결과를 무작위(Random) 제어방식 및 최상우선(Best first) 제어방식과 비교하여 더 나은 결과를 보였다. 향후 VANETs를 활용한 실시간 제어방법이 보편화 될 경우 무선 통신기술을 이용한 교차로의 교통제어기술을 제안한 본 연구는 그 활용가치가 높을 것으로 판단된다.

### Abstract

Seoul metropolitan government has been operating traffic signal control system with the name of COSMOS since 2001. COSMOS uses the degrees of saturation and congestion which are calculated by installing loop detectors. At present, inductive loop detector is generally used for detecting vehicles but it is inconvenient and costly for maintenance since it is buried on the road. In addition, the estimated queue length might be influenced in case of error occurred in measuring speed, because it only uses the speed of vehicles passing by the detector. A traffic signal control algorithm which enables smooth traffic flow at intersection is proposed. The proposed algorithm assigns vehicles to the group of each lane and calculates traffic volume and congestion degree using traffic information of each group using VANETs(Vehicular Ad-hoc Networks) inter-vehicle communication. It does not demand additional devices installation such as cameras, sensors or image processing units. In this paper, the algorithm we suggest is verified for AJWT(Average Junction Waiting Time) and TQL(Total Queue Length) under single intersection model based on GLD(Green Light District) Simulator. And the result is better than Random control method and Best first control method. In case real-time control method with VANETs is generalized, this research that suggests the technology of traffic control in signalized intersections using wireless communication will be highly useful.

**Key words :** VANETs, signalized intersections, real-time control, queue length, ITS

† 본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(#06첨단융합D01)에 의해 수행되었습니다.

\* 주저자 : 고려대학교 메카트로닉스학과 박사과정

\*\* 공저자 및 교신저자 : 고려대학교 전기전자공학부 교수

† 논문접수일 : 2011년 1월 17일

† 논문심사일 : 2011년 10월 19일

† 게재확정일 : 2011년 11월 2일

## I. 서 론

### 1. 연구의 배경 및 목적

최근 세계 여러 나라는 매일 발생하는 고질적인 교통 혼잡을 겪고 있으며, 이로 인해 발생하는 사회적, 경제적 손실 또한 막대하다. 한국의 경우 한국교통연구원의 교통혼잡비용 추정방법개선 보고서에 따르면, 2007년 교통혼잡 비용으로 인한 경제적 손실을 약 14조 4460억 원으로 추정하고 있으며, 이로 인해 추가적으로 발생하는 시간의 낭비와 에너지의 소모 또한 개인 및 국가차원의 큰 손실이 아닐 수 없다[1].

이러한 교통 혼잡을 해결하기 위해 교차로에서 교통량에 따라 교통 신호를 제어하는 방법을 사용한다. 교통 신호 제어 방법은 크게 시간대 제어 방법, 고정 제어 방법, 실시간 제어 방법으로 나뉜다. 시간대 제어 방법은 사전에 정의된 시간대별/일별 신호시간계획을 따르는 방법, 고정 제어 방법은 관리자가 세운 신호시간계획에 따르는 방법, 실시간 제어 방법은 센서를 통해 습득된 교통정보를 분석하고 이에 따라 적절한 신호제어를 하는 방법이다[2].

시간대 제어 방법과 고정 제어 방법은 추가적인 하드웨어와 복잡한 제어 알고리즘이 필요하지 않다는 장점이 있으나 현대 도시의 교통 혼잡은 주기적인 출퇴근시간 정체뿐만 아니라 교통사고 발생, 도로 공사 등 교통흐름의 제약이 원인이 될 수 있고, 이러한 원인 이외에도 과속방지턱, 곡선도로, 운전자의 부주의로 인한 차량 속도의 불안정한 변동이 교통 혼잡의 원인이 될 수 있기 때문에 위 두 가지 제어 방법은 오히려 교통 혼잡을 가중 시킬 수 있는 단점이 있다[3].

반면에 실시간 제어 방법은 교통량의 실시간 측정에 기반 하기 때문에 예측하기 어려운 현대 도시의 교통 혼잡을 해결하기 위한 좋은 전략이다. 최근에는 센서기술의 발전과 네트워크기술의 융합으로 다양한 실시간 제어 방법이 개발되고 있다.

실시간 신호제어를 위해서는 무엇보다 정확한

차량 검지정보가 우선되어야 한다. 현재 차량검지를 위해 사용되는 대표적인 센서는 지점검지기와 구간검지기로 나눌 수 있는데 지점검지기로 루프검지기, 초음파검지기는 도로에 매설하는 형태이기 때문에 유지, 보수가 용이하지 않고 비용이 많이 들며 초단파검지기, 영상검지기는 설치하는 용이하나 유지, 보수비용이 많이 든다는 단점이 있다. 구간검지기로는 AVI (Automatic Vehicle Identification), 비콘, GPS (Global Positioning System) 프로브 등이 있으나 장비 구입비용이 높고, 도로 상황에 따라 정확도가 낮아지는 단점이 있다. 또한 기존의 검지기로는 지역적인 차량검지만 가능하기 때문에 차량의 이동경로에 대해서는 파악할 수 없다는 단점이 있다[4].

따라서 본 연구에서는 카메라, 센서 및 이미지처리 장치와 같은 추가적인 장치 없이 차량 애드 혹망(Vehicular Ad-hoc Networks, VANETs) 환경에서 차량 간 통신을 이용한 대기길이 산정 방법을 제안하고, 이를 토대로 최적주기 및 녹색시간 산정 알고리즘을 산정하여 실시간으로 교차로 신호제어가 가능한 시스템을 제안한다.

본 연구에서 다루게 될 내용은 다음과 같다.

- VANETs기반 교통신호제어시스템 (III-1장)
- 단일교차로 제어 모델 및 현시구성 (III-2장)
- VANETs기반 대기길이 산정 알고리즘(III-3장)
- 대기길이를 이용한 주기 및 녹색시간 결정 모델 (III-4장)
- GLD(Green Light District) 시뮬레이터를 이용한 모의실험을 통한 검증(IV, V 장)
- 결론 (VI장)

## II. 관련 연구

본 장에서는 국내의 차량 대기길이 추정 연구와 신호 제어시스템에 대해서 설명한다.

교차로에서 대기길이는 적색시간동안 교차로를 통과하지 못한 차량에 대한 수요를 의미하며, 대기길이를 파악하면 녹색시간의 연장여부를 판단할 수 있어 해당 접근로에 잔여차량이 발생하지 않도록

제어할 수 있어 차량 소통을 개선할 수 있다.

서울시는 기존의 교통신호제어시스템을 2001년부터 실시간 신호제어시스템(COSMOS)이라는 이름으로 명칭을 변경하여 운영하고 있다. 이 시스템은 신호제어기의 주기 및 녹색시간 산출을 위하여 포화도 및 정체도의 개념을 사용하는데 도로에 직진 검지기, 좌회전 검지기, 앞막힘 검지기 대기길이 검지기 등의 루프검지기를 설치하여 산출한다[2]. 대기길이를 이용한 교통제어는 실시간 제어를 위한 최적의 방법이나, 이 방법은 교차로 상류부의 대기길이 검지기와 앞막힘 검지기로부터 받는 데이터에 의존하기 때문에 각 방향별로 검지기를 설치해야 하는 단점이 있고, 검지기를 통과하는 차량의 속도만으로 정체도를 계산하기 때문에 속도측정 오차 발생시에 대기행렬의 추정값에 영향을 미치는 단점이 있다. 이러한 루프검지기의 한계를 극복하기 위하여 다양한 센서를 이용한 연구가 진행되었다. 서강도(2009)는 차량에 RFID 태그를 부착하고 교차로의 각 차로에 RFID 리더를 설치하여 구간 차량 정보를 획득하는 방법을 제안했다[5].

Malik(2007)은 센서네트워크 환경에서 센서노드를 각 차로에 설치하고 교차로 방향별로 제어기를 설치하여 차량의 교통정보를 습득하는 방식을 제안했다[6]. 또한 KM Yousef(2010)은 센서네트워크 환경에서 도착노드와 출발노드의 쌍으로 이루어진 센서노드를 각 차선에 설치하고 한 개의 교통신호서버를 교차로에 설치하여 차량정보를 취합하는 방식을 제안했다[7]. 문학룡(2007)은 실시간 신호제어시스템의 검지기를 이용한 대기길이 추정이 평균차량길이와 차량의 순간속도에만 의존하기 때문에 발생하는 오류를 최소화 하고자 차량 점유시간을 이용한 대기행렬길이 추정모델을 제안하였다. 도로의 정체상태에 따라 변화하는 점유시간을 이용하여 차량의 대기길이를 추정하는 방법이다[8]. 정영제(2005)는 개별차량의 지체시간을 측정하여 대기행렬의 해소시간을 산정하고 이를 통해 포화 교통류율을 산출하게 된다. 산출된 포화 교통류율은 접근로별 지체산정에 사용되며 보정작업을 거쳐 최종적으로 대기행렬을 산출하게 된다[9]. 이철기(2002년)는 접근로상, 하류부에 쌍으로 영상검지기를 이용하여 차량

대기길이를 산출하는 알고리즘을 제안하였다[10].

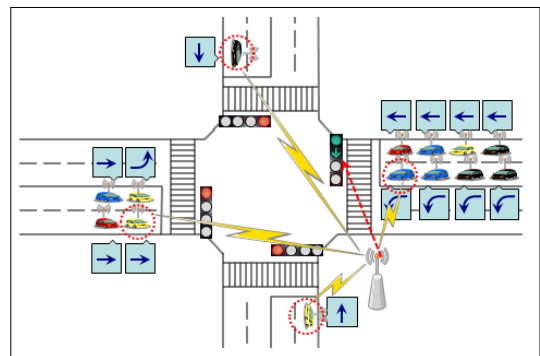
본 연구는 VANETs환경에서 차량 간 통신을 이용하여 각 방향별 그룹을 생성하고 대기차량수를 산출하는 실시간 대기차량 수 산정 알고리즘을 제안한다. 제안하는 시스템은 기존의 루프검지기를 이용한 방법보다 정확한 대기길이를 얻을 수 있으며, 추가적인 하드웨어의 설치나 복잡한 계산이 필요치 않다는 장점이 있다. 또한 산출된 대기차량 수를 이용한 실시간 교통신호제어 방법에 대해서도 설명한다.

### Ⅲ. VANETs 기반 교통신호 제어시스템

#### 1. 시스템 디자인

제안하는 시스템은 다음의 3 부분으로 나뉘어져 있다: (1)교통정보발생기, (2)교통신호제어기, (3)차량 애드혹 망(VANETs).

차량 내부에 탑재되는 교통정보발생기 및 교차로에 설치되는 교통신호제어기는 Onboard장치로써 CPU, GPS모듈, 통신모듈, 메모리, 전원을 포함한다. 차량 애드혹 망(VANETs)은 5.9GHz 대역의 IEEE 802.11p WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments) 기반의 ITS/Telematics 전용 통신 표준을 의미하며 이를 이용해 차량-대-차량(V2V)의 및 차량-대-기지국(V2I) 통신이 가능하다. 본 시스템은 다음 <그림 1>과 같다.



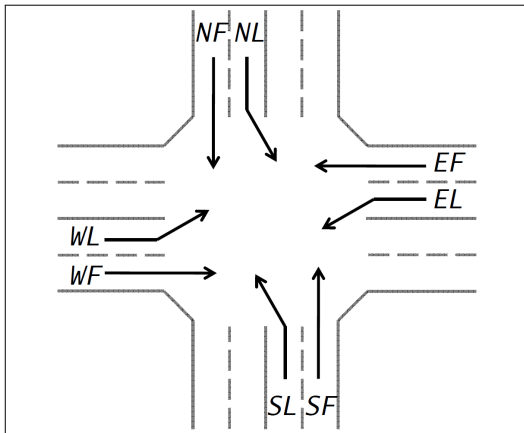
〈그림 1〉 VANETs를 이용한 교차로 교통신호제어  
(Fig. 1) Intersection traffic control using VANETs

제한하는 시스템의 가정은 다음과 같다.

- 모든 차량은 WAVE/IEEE802.11p 장비를 장착
- 모든 차량은 같은 디지털 맵을 공유
- 모든 차량은 GPS장치를 장착
- 무선 통신은 본 시스템의 요구사항에 적합한 수준의 신뢰성을 제공

## 2. 단일 교차로 제어 모델 및 현시구성

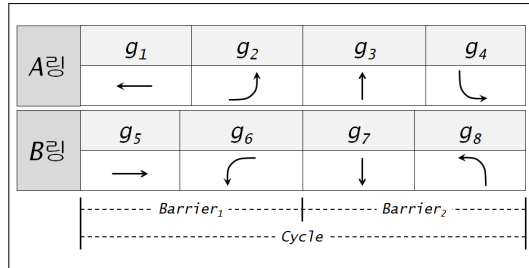
본 논문에서는 실시간 교통제어를 위해 2차선의 간선도로 2개가 교차하는 단일 교차로 모델을 사용하였다. 교차로의 도로는 위치에 따라 4가지 경로로 구분되며 *E*(동쪽), *W*(서쪽), *S*(남쪽), *N*(북쪽)으로 표시한다. 또한 각 경로는 교차로에 진입하는 방향으로 2개의 차선으로 구분되며 *L*(*left*, 좌회전), *F*(*forward*, 직진)으로 표시한다. (여기서, 우회전은 항상 가능하다고 가정한다.) 따라서 교차로는 경로와 차선의 조합으로 표시할 수 있으며 방향식별자 *D*로 표시한다. *D*는 다음과 같이 8개의 성분을 갖는다.  $D = \{EF, EL, NF, NL, WF, WL, SF, SL\}$ . 교차로에서 각 성분은 아래 그림과 같이 표시된다.



〈그림 2〉 4개의 교차로를 가진 단일교차로  
(Fig. 2) Single intersection with 4 ways

현실적인 실험을 위해서는 보행자의 존재를 감안해야 한다. 보행자 감지를 위해서 추가로 센서를 설치하는 것은 본 논문의 범위를 벗어나므로 보행자는 항상 존재한다고 가정하고, 일정 시간을 할당한다. 따라서 각 차선별 교통류 상황에 따라 현시운영시간을

적절히 제어하고 보행자의 권리를 확보하기 위하여 이중 링 구성을 사용한다. 본 논문에서는 선행 직진 이중 링을 사용하였으며 다음 <그림 3>과 같다.



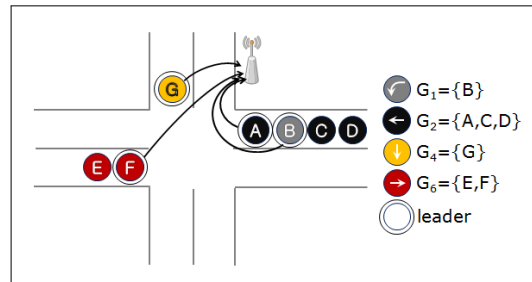
〈그림 3〉 선행 직진 이중링 현시 구성 방법  
(Fig. 3) Lead forward dual-ring for green spillit

## 3. VANETs환경에서 대기길이 산정 알고리즘

교차로에서의 신호제어를 위해서는 진행방향별 차량대기길이 정보의 습득이 최우선이다. 무선 통신 장치를 소지한 차량은 직접적으로 신호제어기에 정보를 전달할 수도 있지만, 대기 중인 차량의 수가 많은 경우 통신 혼잡이 일어날 수도 있다. 따라서 본 논문에서는 진행방향별로 그룹리더를 선출하고 신호제어에 필요한 그룹의 정보를 수집, 가공하여 신호제어기에 전달하는 알고리즘을 제안한다.

### 1) 차량그룹 설정

차량 그룹은 교차로를 빠져나간 후 이동하는 경로에 따라 결정된다. 즉, 본 논문에서 차량그룹은 8종류가 된다. 방향별로 지정된 그룹에 따라 차량들은 그룹의 리더를 선출한다. 이때 리더 선출은 각 방향별로 녹색시간이 종료되는 시점에 시작되며, 현시구성



〈그림 4〉 차량의 그룹 설정  
(Fig. 4) Grouping of vehicles

에 따라 순차적으로 진행된다. 선출된 리더는 대기 시간동안 그룹 구성원과 주기적으로 통신하여 그룹의 대기길이를 계산하여 주기적으로 제어기에 전달한다. 다음은 구체적인 차량그룹 설정 방법이다.

① 교차로 신호제어기는 <그림 3>의 현시 구성 방법에 따라 신호가 제어되며, 자신의 녹색시간 종료 후, 교차로에 정지하게 된 차량들은 그룹 리더 지원 메시지(Group Leader Volunteer Message)를 최대 전송 출력으로 불특정 다수에게 전송한다. (이때 리더 지

원 메시지에는 차량고유ID, 타임스탬프, 위치, 속도, 진행경로, 교차로번호, 대기회수가 포함된다.) 이 메시지를 수신한 차량은 자신의 리더 지원 메시지를 생성하지 않고 수신된 메시지를 재전송한다.

② 그룹 리더 지원 메시지를 발행한 차량은 다른 리더 지원 차량의 메시지와 자신의 메시지를 비교한 후 발행시간이 더 빠르고, 위치가 교통신호제어기에 더 가까운 메시지를 보낸 차량에게 그룹 리더 양보 메시지를 보내어 최종적으로 그룹 리더를 선출한다.

③ 그룹 리더는 선출 사실을 그룹에 브로드캐스팅 하고, 리더 선출완료 메시지를 받은 차량은 자신의 정보(차량고유ID, 타임스탬프, 위치, 속도, 진행경로, 차량크기, 그룹리더ID, 교차로번호, 대기회수)를 리더에게 전송한다. 이 메시지를 전달받은 그룹 리더는 그룹원 승인 메시지를 각 차량에 전달하고, 이 메시지를 받은 그룹원 차량은 자신의 교통정보데이터 해당 그룹리더ID를 갱신한다. 그룹원은 비콘 메시지를 통해서 주기적으로 주변 차량과 정보를 교환한다.

④ 그룹리더는 신호주기 중 자신의 다음 녹색시간 전까지 그룹원의 데이터를 받아 대기길이를 계산한다. 이 정보는 주기적으로 신호제어기에 전달한다.

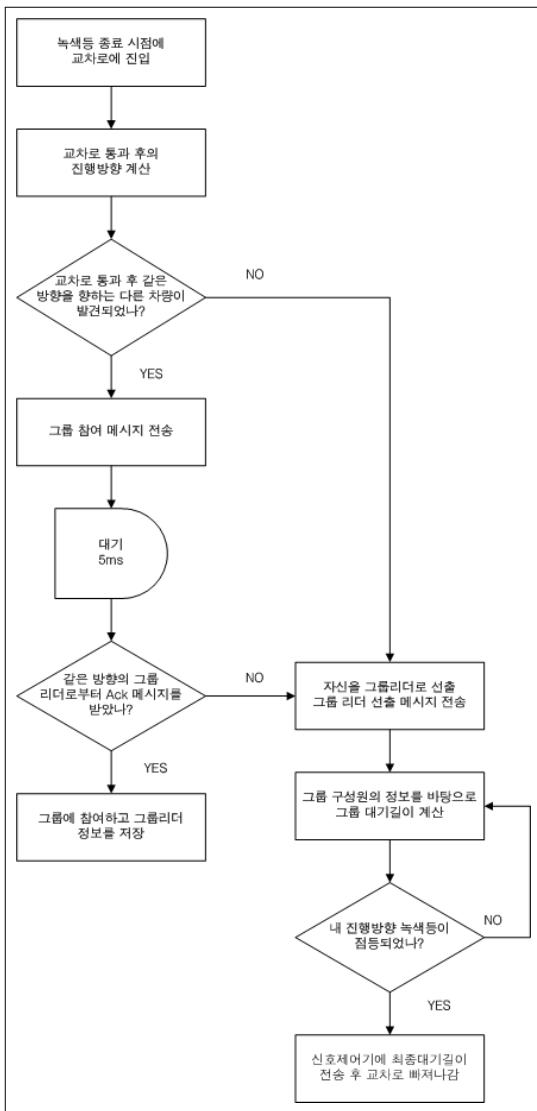
⑤ 자신의 녹색 시간이 시작되면 그룹 리더는 더 이상 그룹원의 추가를 받지 않고 중단한다.

⑥ ①~⑤의 과정을 반복한다.

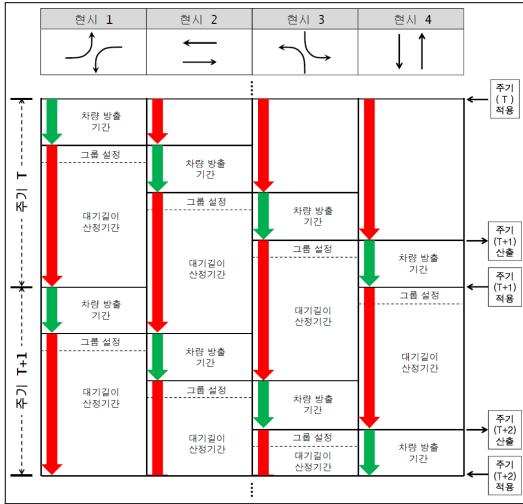
본 논문에서 적용한 그룹설정 및 대기길이 산정 알고리즘은 다음 <그림 5>와 같다.

본 논문에서 적용한 그룹설정 및 대기길이 산정 적용시점은 신호주기에 따라 다음 <그림 6>과 같이 적용된다.

각 현시는 녹색시간이 종료되면 그룹을 설정하고 그룹 리더를 선출한다. 그룹리더가 선출되면 다음 녹색시간 전까지 그룹멤버의 정보를 받아 대기길이를 산출한 후 주기적으로 신호제어기에 전달한다. 녹색시간이 시작되면 최종 대기길이를 신호제어기에 전송한 뒤 교차로를 중단한다. 신호제어기는 다음 주기에 사용될 각 현시의 방향별 대기길이를 주기적으로 전송 받다가 현시4의 녹색시간이 시작되면 다음 주기의 주기와 녹색시간을 산출한다. 현시4의 녹색시간이 종료되면 계산된 주기길이를 녹색시간이 적용되어 다음 주기가 시작된다.



<그림 5> 그룹설정 및 대기길이 산정 순서도  
(Fig. 5) Flowchart for communication between group leader and the traffic signal controller



〈그림 6〉 신호주기별 그룹설정 및 대기길이 산정 시점  
 〈Fig. 6〉 Sequence of grouping vehicle and calculating queue length

2) 대기길이 산정

그룹리더는 선출 이후 그룹원의 정보를 바탕으로 그룹의 대기길이를 산정하기 시작한다. 이때 그룹원으로부터 그룹원ID, 타임스탬프, 위치, 속도, 진행경로, 차량크기, 그룹리더ID, 교차로번호, 대기회수를 제공받는다. 이 정보를 바탕으로 현재주기의 대기길이를 구하는 방법은 다음 식(1)과 같다.

$$RQL_D(t) = \sum_{i=0}^N VL_i + ADBV \times (N-1) \quad (1)$$

여기서,

- $RQL(t)$  : 현재 주기의 대기길이
- $D$  : 경로, 차선 식별자.

$$D = \{EF, EL, WF, WL, SF, SL, NF, NL\}$$

- $VL$  : 차량길이
- $ADBV$  : 평균차간거리
- $N$  : 그룹 멤버 수

그룹 리더는 주기적으로 신호제어기에게 그룹의 정보를 전송한다. 이때 신호제어기는 식(2)와 같이 현재 대기길이 값과 이전 두 주기의 대기길이 값을 가장 평균한 값을 실제 신호제어에 필요한 최종 대기 길이로 사용한다.

$$QL_D(t) = A \times RQL_D(t) + B \times RQL_D(t-1) + C \times RQL_D(t-2) \quad (2)$$

여기서,  $A+B+C=1$

- $A = \frac{RQL_D(t)}{l_D}$
- $B = (1-A) \times A$
- $C = 1 - (A+B)$
- $l$  : 차선의 길이

위 식(2)에서 알 수 있듯이 가중치 A, B, C는 차선의 현재 시점의 차량 수에 따라 달라진다. 즉, 현재시점에 차량이 많아지면 현재 시점에 대한 가중치 A가 커져 재빠른 혼잡 제어가 가능토록 한다. 반대로 현재시점에 차량이 별로 없으면 과거 상태에 대한 가중치 B와 C가 늘어나서 급격한 변동 없이 제어되도록 유도한다.

4. 주기 및 녹색시간 산정

신호제어 시스템은 교차로의 원활한 흐름을 제공하고 보행자의 안전을 최우선으로 고려함과 동시에 다음과 같은 목적을 만족해야 한다.

- Min. Delay (최소 지연 시간)
- Min. Queue Size (최소 대기 길이)
- Min. number of stops (최소 정지 회수)
- Max. progression efficiency (최대 진행 효율)
- Max. system throughput (최대 시스템 처리량)

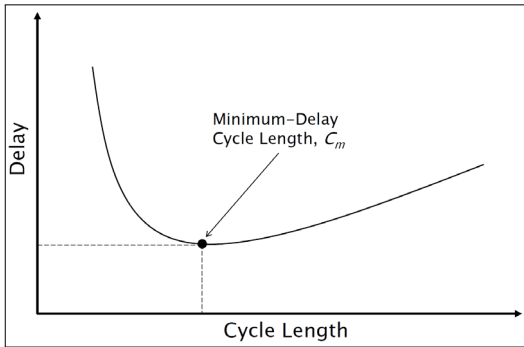
앞서 기술된 제어 목적은 도로 상황과 교통상황에 따라 동시에 모두 만족될 순 없다. 예를 들어, 지연 시간은 차량이 도로에서 얼마나 많은 시간을 운행 및 대기하는데 소모했는지 나타내는 척도이다. 지연 시간을 최소화하기 위한 방법으로 주기를 줄이는 방법은 적색시간 동안 대기하는 시간을 줄일 수 있다. 적색시간이 줄면, 주기 사이의 대기길이 짧아진다. 그러나 짧아진 주기로 인하여 녹색시간 역시 짧아져서 최소 정지 횟수는 반대로 늘어나게 된다.

교차로에서 최적의 교통신호 제어를 위해서는 앞서 구한 대기길이를 바탕으로 주기와 녹색시간을

적절히 설정해야 한다. 본 논문에서는 최소지연시간과 최소대기길이를 목표로 하고 있으며, 이를 위해서 우선 적절한 주기길이 설정 및 녹색시간의 분배가 필요하다.

1) 주기산정 알고리즘

주기는 교차로 내 가장 긴 차선의 대기길이(Critical Movement)를 모두 방출할 수 있을 만큼 충분히 길어야 한다. 만약 주기가 너무 짧으면, 현시의 변화가 빈번하게 일어나게 되고 녹색시간역시 짧아지게 되어 시간의 낭비가 높아지게 된다. 반대로 주기가 너무 길면 지연시간이 늘어나게 되는데 이 경우, 차량이 교차로에서 방출되기까지 너무 많은 시간을 대기하게 되는 단점이 있다. <그림 7>은 주기길이와 지연시간의 관계를 나타낸다.



<그림 7> 단일 교차로에서 전형적인 주기-지연시간의 곡선의 궤적  
 <Fig. 7> Shape of a typical delay-versus-cycle length curve for an isolated signal

본 논문에서 제시하는 주기산정은 대기길이에 비례하여 시간이 결정되는 방법으로 자세한 내용은 다음과 같다.

- ① 각 방향별로 대기길이 산출  
 $QL_1(t), QL_2(t), \dots, QL_8(t)$
- ② 배리어별 최대 대기길이 산출  
 $MAX_{Q_1}(t) = \max\{QL_1(t), QL_5(t), QL_2(t), QL_6(t)\}$   
 $MAX_{Q_2}(t) = \max\{QL_3(t), QL_7(t), QL_4(t), QL_8(t)\}$
- ③ 최대 대기길이의 차량수와 평균차두시간( $h$ ) 곱하여 요구시간 산출  
 $R\_CL_1(t) = N_{MAX\_Q_1}(t) \times h$   
 $R\_CL_2(t) = N_{MAX\_Q_2}(t) \times h$

- ④ 두 값을 합산하여 대기차량해제요구시간 산출  
 $R\_CL(t) = R\_CL_1(t) + R\_CL_2(t)$
- ⑤ 적색, 황색시간을 더하여 요구 주기시간 산출  
 $R\_CL(t) = R\_CL(t) + intergreen\_time$   
 ( $intergreen\_time = yellow + red$ )
- ⑥ 현재 주기값과 비교하여 주기증감 결정  
 if  $\Delta C \leq (R\_CL(t) - CL(t)) \leq \Delta C$  then  
 $CL(t+1) = CL(t)$   
 else  
 $CL(t+1) = R\_CL(t)$   
 end if  
 여기서,  $\Delta C$ 는 관리자가 결정
- ⑦ 최소, 최대주기 조건을 만족하는지 확인

2) 녹색시간산정 알고리즘

주기시간이 결정된 이후에는 주기시간에서 소모 시간(황색, 적색시간의 합)을 뺀 나머지 시간을 녹색시간으로 사용할 수 있다. 이 전체 녹색시간 중 각 현시에 사용될 녹색시간 비율을 구하는 공식은 다음과 같다.

$$GT_D = \frac{V_D / C_D}{\sum_{D=1}^N V_D / C_D} \times GT_T \tag{3}$$

- 여기서:
- $GT_D$ : 차선별 녹색시간
  - $V_D/C_D$ : 차선별 유량
  - $N$ : 차선개수 (본 논문에서는  $N=8$ )
  - $GT_T$ : 총 녹색시간

전체 녹색시간 산정 방법은 다음과 같다.

- ① 배리어1, 배리어2의 녹색시간 비율에 주기를 곱하여 배리어 요구시간을 산출한다.  
 $GT_{Barrier1} = \frac{R\_CL_1}{(R\_CL_1 + R\_CL_2)} \times CL(t+1)$   
 $GT_{Barrier2} = \frac{R\_CL_2}{(R\_CL_1 + R\_CL_2)} \times CL(t+1)$
- ② 각 차선별 녹색시간 비를 산출한 후, 아래 <그림 8>을 참고하여 현시 조합을 선택한다.
- ③ 차선별 녹색시간 비에 따라 현시시간을 결정
- ④ ①~③ 과정을 반복한다.

구분	조건(강제제어)	현시조합				
		EF/WF	WL/EL	NF/SF	SL/NL	SL/NL
1	EF>WF, WL<EL NF>SF, SL<NL	→	↗	↕	↘	↘
2	EF>WF, WL<EL NF>SF, SL<NL	→	↗	↕	↘	↘
3	EF<WF, WL<EL NF>SF, SL<NL	→	↗	↕	↘	↘
4	EF>WF, WL<EL NF>SF, SL<NL	→	↗	↕	↘	↘
5	EF>WF, WL<EL NF<SF, SL<NL	→	↗	↕	↘	↘
6	EF>WF, WL<EL NF>SF, SL<NL	→	↗	↕	↘	↘
7	EF<WF, WL<EL NF<SF, SL<NL	→	↗	↕	↘	↘
8	EF>WF, WL<EL NF<SF, SL<NL	→	↗	↕	↘	↘
9	EF>WF, WL<EL NF>SF, SL<NL	→	↗	↕	↘	↘

〈그림 8〉 선형직진의 이중링 현시구성으로 가능한 현시 조합 방법

〈Fig. 8〉 Green split combination in lead forward dual-ring

#### IV. 실험 환경

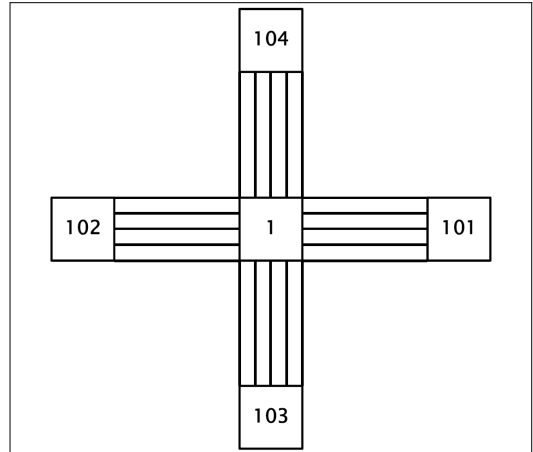
본 논문의 알고리즘을 테스트하기 위해서 Green Light District Simulator(GLD)를 이용했다[11]. GLD 시뮬레이터는 자바(Java) 기반의 소프트웨어로 개발되어있으며 오픈소스이기 때문에 교통신호제어를 위한 새로운 알고리즘의 추가가 용이하다. 본 논문에서는 새로운 맵을 생성하였고, 실험 환경에 맞도록 도로와 교차로를 설계하였으며 제안하는 알고리즘을 위해서 소스를 확장하였다. 차량 간 통신을 위해서는 패킷단위의 시뮬레이션이 가능한 NS-2 와 같은 시뮬레이터를 사용해야 하나, 본 논문에서는 VANETs 환경에서 차량간 통신 기능만을 이용하므로 GLD시뮬레이터에 VANETs의 차량 간 통신 기능을 추가하는 것으로 실험하였다.

##### 1) 분석대상 교차로 구조

본 논문에서는 인접교차로의 영향을 고려하지 않은 상태에서 해당 단일교차로의 차량 대기길이를 최적화하는 목적으로 시뮬레이션 하였다.

##### 2) 입력 교통량

단일 교차로에서 각 차선의 차량 도착 간 시간은 무작위(Random)이고 서비스 시간은 지수적 분포를



〈그림 9〉 단일교차로 모델

〈Fig. 9〉 Single intersection model for simulation

따르는 단일 큐잉 모델 M/M/1을 사용했고, 차량 도착은 포아송 분포를 따랐다. 실험에 사용된 시나리오의 출퇴근시간의 혼잡한 교통상황을 가정하였고, 교차로의 4방향 접근로에 대한 진입 차량 수는 아래 <표 1> 과 같다.

〈표 1〉 교차로에서 접근로별 진입차량수  
〈Table 1〉 Input flows for a single intersection

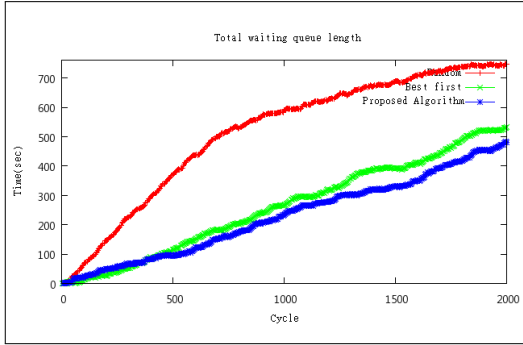
접근로	종류	차량수/sec
101	승용차	1.00
	버스	0.25
102	승용차	1.00
	버스	0.25
103	승용차	0.25
	버스	0.05
104	승용차	0.25
	버스	0.05

#### V. 실험 결과

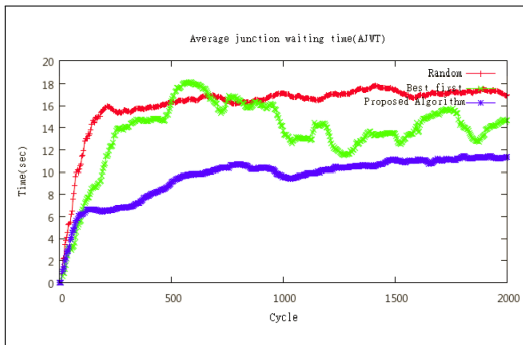
실험은 교차로의 혼잡상황을 분석할 수 있도록 충분한 시간동안(2000cycle) 진행되었고 제안한 알고리즘의 성능분석을 위해서 다음의 2가지 다른 알고리즘과 비교하였다. 첫 번째는 무작위 제어방법(Random control)으로 교차로에 접근하는 차량의 대수나 변화량에 관계없이 무작위로 제어하는 방식이



다. 두 번째는 차량숫자가 가장 많은 차선의 신호를 녹색으로 점등하는 최상우선 제어 방법(Best-first control)이다.



〈그림 10〉 전체 대기열 길이  
(Fig. 10) Total waiting queue length



〈그림 11〉 교차로에서의 평균 대기 시간  
(Fig. 11) Average junction waiting time

무작위 제어방식(Random control)은 교차로에서 늘어나는 차량에 대한 고려를 하지 못 하므로 평균 교차로 대기시간 및 전체 대기열 길이가 나머지 두 제어방법에 비해서 높게 나타났다. 최상우선 제어 방식(Best-first control)은 차량의 숫자가 많은 도로에 우선권을 주기 때문에 본 실험에서와 같이 특정 접근로(101, 102 접근로)에서 차량유입이 많은 경우 반대로 차량수가 적은 진입로에서의 대기시간이 매우 길어지게 된다. <그림 10>를 살펴보면 전체 대기열 길이는 본 논문의 알고리즘과 비교하여 다소 높게 나타나지만, 크게 대기열 길이가 길어졌다고 볼 수는 없다. 그 이유는 차량수가 적은 접근로의 차량 대기열 증가가 크지 않고, 최상의 대기열을 갖

는 접근로의 대기열을 우선 처리하여 두 접근로의 대기열 변화가 서로 상쇄되기 때문이다.

반면에 <그림 11>의 교차로내 평균 대기 시간에 대한 그래프를 보면, 차량수가 적은 진입로의 차량이 차량수가 많은 진입로의 차량에게 신호를 계속 양보함으로써 본 논문의 알고리즘과 비교하여 대기시간의 차이가 크게 나는 것을 볼 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 VANETs 환경에서 실시간 교통신호 제어시스템을 제안했다. 제안하는 시스템은 진행방향별 대기차량수를 산정하여 교통신호제어기의 주기 및 녹색시간을 결정하였고, 시뮬레이션을 통해서 기존의 방식과 비교·평가하였다. 검증을 위한 시뮬레이터로는 자바기반의 GLD 시뮬레이터를 사용하였다.

본 논문의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 차량 간 통신을 이용하여 진행방향별 대기 차량수를 산정하는 알고리즘을 제안하였다. 교통신호제어기의 주기에 따라 같은 방향의 차량들은 그룹리더를 선출하여 그룹을 생성하며 그룹리더는 주기적으로 그룹의 대기길이를 교통신호제어기에 전달한다. 교통신호제어기는 현재 주기와 이전 두 주기의 대기길이를 가중평균하여 최종 대기길이를 산정한다.

둘째, 주기 및 녹색시간 산정 알고리즘을 제안하였다. 산정된 대기차량수를 이용하여 최소지연시간 주기를 산출한다. 주기산출 이후에는 진출로 방향별 요구시간을 구하여 배리어의 시간을 책정한다. 배리어시간이 책정된 이후에 각 방향별 요구시간 비에 따라 녹색시간을 할당하게 된다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 무작위 제어방식(Random control) 및 최상우선 제어방식(Best-first control)과 비교하였다. 전체 대기열 길이가 무작위 제어 방식과 비교해 향상되었음을 알 수 있다. 교차로에서의 평균 대기 시간은 무작위 제어방식과 비교하여 절반 정도의 감소를 보였고, 최상우선 제어 방식의 경우와 비교할 때 교통량에 따라서 각 방향

의 녹색시간을 배분함으로써 개별 차량의 대기시간을 최소화 하였으며, 큰 폭의 변화 없이 안정적인 제어가 가능함을 보였다.

### 참 고 문 헌

- [1] 조한선, 박인기, 이동민, 박준석, “교통혼잡비용 추정방법 개선,” 연구보고서, Dec 2007.
- [2] 경찰청, “교통신호제어기 표준규격서,” 표준규격서, 경찰청, Aug 2010.
- [3] M. Artimy, “Local Density Estimation and Dynamic Transmission-Range Assignment in Vehicular Ad Hoc Networks,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 8, Issue 3, pp.400-412, Sep 2007.
- [4] 장정아, 장병태, 박종현, “USN 기반 교통수집기술에 관한 연구,” *한국ITS학회 추계학술대회*, pp.208-213, Oct 2007.
- [5] 서강도, “교차로의 대기 차량수 예측 모델을 이용한 분산 교통신호 제어,” *박사학위논문*, 경북대학교 2010.
- [6] Malik Tubaishat, Yi Shang and Hongchi Shi, “Adaptive Traffic Light Control with Wireless Sensor Networks,” *4th Annual IEEE CCNC*, pp.187-191, Jan 2007.
- [7] KM Yousef, JN Al-karaki and AM Shatnawi, “Intelligent Traffic Light Flow Control System Using Wireless Sensors Networks,” *Journal of Information Science and Engineering.*, vol. 26, no. 3, pp.753-768, May 2010.
- [8] 문학룡, “차량점유시간을 이용한 실시간 신호제어시스템 대기행렬길이 추정모형,” *건설기술정보*, pp15-18, May 2007.
- [9] 정영제, 김영찬, 백현수, “구간검지체계의 통행시간정보를 이용한 신호제어 알고리즘 개발,” *대한교통학회지*, pp.181-191, Dec 2005.
- [10] 이철기, 오영태, “대기길이 기반의 최적 신호제어 알고리즘 개발,” *대한교통학회지*, pp.135-148, Apr. 2002.
- [11] M. Wiering and A. Koopman, “Simulation and optimization of traffic in a city,” *IEEE Intelligent Vehicles symposium (IV'04)*, June 2004.

### 저자소개



장 형 준 (Chang, Hyeong-Jun)

2008년 : 고려대학교 박사과정 수료(메카트로닉스전공)  
 2004년 9월 ~ 2005년 7월 : 현대정보기술 중앙연구소 연구원



박 귀 태 (Park, Gwi-Tae)

1981년 9월 ~ 현재 : 고려대학교 전기전자전파공학부 정교수  
 1981년 2월 : 고려대학교 공학박사(전기공학전공)  
 1978년 3월 ~ 1981년 8월 : 광운대학교 조교수  
 1975년 1월 ~ 1978년 2월 : 한국원자력연구소 연구원