

## 교통신호등 제어를 통한 교통망 최적화 알고리즘

# A Algorithm on Optimizing Traffic Network by the Control of Traffic Signal Timing

안영필<sup>1</sup> · 김동춘<sup>1</sup> · 나승권<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국폴리텍대학 영주캠퍼스 스마트전자학과

<sup>2</sup>한국폴리텍대학 강릉캠퍼스 전자통신학과

Yeong-Pil An<sup>1</sup> · Dong-Choon Kim<sup>1</sup> · Seung-kwon Na<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Smart Electronics, Korea Polytechnic College Yeongju Campus, Gyeongsangbuk-do, 36142, Korea

<sup>2</sup>Department of Electronics and Communication, Korea Polytechnic College Gangneung Campus, Gangwon-do, 25605, Korea

### [요 약]

본 논문에서는 네트워크 토폴로지 설계방법들(minimum spanning tree와 Dijkstra algorithm)을 사용하여 교통 격자 가로망을 최적화 하는 방안을 다루며, 최소신장트리(minimum spanning tree)에서 직진 교통신호등간의 연동들을 통해 출발지와 목적지간의 지연 시간을 최소화 하는 것으로 교통격자 가로망을 최적화한다. 또한 컴퓨터 네트워크에서 사용되어지는 Dijkstra algorithm을 통해 구해진 경로에 따라 차량 운전자들이 그 경로를 준수한다고 가정한다면 격자망에서 교통신호등의 연동을 통해 최적화할 수 있음을 보여준다. 격자 가로망에서의 모의실험결과는 직진 교통신호등의 연동을 통해 망을 가로지는 지연시간을 최소화함을 보여준다.

### [Abstract]

In this paper, we deal with optimizing traffic signal timing in grid networks by using a network topology design method. Optimizing traffic signal timing includes minimizing delay time delay between departure and destination by interlocking straight traffic signal in the minimum spanning tree(MST).

On the assumption that users of network abide by the paths provided in this paper, this paper shows optimizing traffic signal timing in grid networks. the paths provided in this paper is gathered by using Dijkstra algorithm used in computer networks.

The results indicate minimizing delay time of passing through the grid network and interlocking traffic signal in the grid network.

**Key words** : Optimizing traffic Signal Timing, Dijkstra Algorithm, Signal Phasing, Off sets time, Mid-Block system, Minimum Spanning Tree.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.5.472>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 26 September 2017; Revised 28 September 2017  
Accepted (Publication) 12 October 2017 (30 October 2017)

\*Corresponding Author ; Seung-kwon Na

Tel: +82-10-4963-7160

E-mail: skna2@hanmail.net

## I. 서론

오늘날 대부분의 차량에 네비게이션이 설치되어 있고 실시간 교통 정보가 제공되는 상황에서 차량의 이용자는 효율적으로 출발지에서 목적지에 도달할 수 있다. 우리나라의 경우 1990년대부터 ITS(intelligent transport system) 사업이 시작되었고, 2000년대 들어 수도권, 광역시, 고속도로 및 주요 도로에 대해 실시간 교통 정보 수집 시스템이 구축되어, 실시간 교통 정보 서비스가 제공되고 있다. 현재 사용되는 대부분의 네비게이션 시스템들은 실시간 교통 정보를 기반으로 최적 경로를 계산하거나, 실시간 교통 정보와 과거의 누적 교통 정보를 기반으로 최적 경로를 계산하는 방법을 사용한다[1][2].

네비게이션이 제공하는 정보를 따라 도심지를 운행 할 때, 운행하는 차량이 많지 않음에도 불구하고 네비게이션에서 보여주는 시간과 실제 주행할 때 시간과 상이할 때가 있으며 이런 경우는 교통신호등의 적색등에 의해 차량 진행이 원활하지 못한 경우가 많다. 이런 경우에는 교통신호등의 신호주기가 연동을 통해 조절된다면 문제를 해결할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 이동 경로에 있는 교통신호등의 모든 직진 신호를 최적화될 수 있게끔 제어하는 하나의 알고리즘을 제시하고자 한다.

우선 교통신호등 설정정책에 대하여 알아보고 MST(minimum spanning tree)구조를 구하고, 구한 MST(minimum spanning tree) 구조의 직진 신호등을 연동시킨 후, 최단 경로 찾기 알고리즘인 Dijkstra를 응용하여 목적지까지 최소소요시간을 갖는 최적교통망을 설계 방안을 제시하고자 한다.

## II. 신호등 연동정책과 신호등 연동

세계 각 국은 교통통제에 가장 중요한 역할을 하는 교통신호 통제문제에 대한 연구를 활발히 진행시켜 왔으며, 그 결과 도시 교차로망에서의 최적 신호등 결정을 위한 모형이 개발되어 널리 쓰여 왔다. 이 모형들은 효과를 측정하기 위하여 통행(또는 지체) 시간이나 통행차량의 멈춤 회수 등의 형태로 된 수행도 함수를 사용하고 있다. 그러나 이 모형들의 결점은 교통신호통제의 변경이 교차로망 이용자의 진로선택에 미치는 영향을 고려하지 않고 있는 점이다. 즉 이 모형들은 교차로망내의 교통량을 변수로 취급하지 않고, 어떤 시점에서 관측된 교통량을 각 도로의 고정된 교통량으로 하고, 이를 토대로 신호등 변수의 함수로서 각 교차로의 통행시간 함수를 규정함으로써 얻어지는 수행도 함수를 최소화함으로써 최적 신호통제문제를 풀고 있다.

최적 교통신호 통제문제는 어떤 교차로망 수행도 함수(총 통행시간)가 최소가 되도록 교차로망내의 신호등이 있는 교차로의 신호시간을 결정하는 것이다. 이때 고려되는 신호 변수는 신호주기, 방향별 녹색시간, 신호 표시방법(signal phasing)과 오

프셋(Off sets)이 있다. 이상적인 최적 해는 모형으로 부터 구해지게 되는데, 그 모형은 교차로망 이용자의 진로선택 형태는 교차로망 교통량이 신호 변수에 따라 좌우되는 복잡한 형태로 나타난다.

### 2-1 신호등 설정 정책

신호등 설정에 포함되는 변수들은 1)신호 주기, 2)녹색 시간, 3)신호등 표시방법(signal phasing) 그리고 4)오프셋 등이 있다 [3]-[5].

#### 1) 신호주기

신호등의 녹색-황색-적색의 신호가 연차적으로 계속될 때 바로 다음 녹색시간이 나타날 때까지의 시간이며 초(second) 단위로 표시한다. 보통 사용되는 신호주기는 30~120초이며, 신호주기의 하한치 영향은 다음과 같다. 즉, 신호주기가 증가할 때 교차로의 총 통과용량은 증가하나 지체시간도 증가하게 된다. 최적 신호주기를 설정하기 위한 몇 가지 방법이 있다.

#### 2) 녹색시간

신호등은 녹색시간과 황색시간(amber period) 그리고 적색시간으로 이루어져 있으며 황색시간은 고정되어 있는 것이 보통이다. 따라서 신호주기가 주어지면 각 상(phase)에서의 녹색시간만이 유일한 변수가 되는 것이다. 녹색시간을 설정할 때가 장 많이 사용되는 법칙중의 하나는 Webster가 제안한 것인데 이 법칙은, 만약 각 신호등 상에서의 실질 녹색시간(effective green time)의 비율이 최고 흐름 비율(highest flow ratio 즉, 교통량/포화흐름비율)과 같다면 그것은 교차로를 이용하는 모든 이용자에게 가장 작은 전체 지체시간을 제공할 수 있다는 것이다.

#### 3) 신호등 표시방법

한 주기 내에 몇 개의 상을 넣을 것인가, 또 이 상들을 어떠한 순서로 배열할 것인가를 결정하는 것이다. 이 신호등 상은 크게 이상(two-phase)과 다상(multi-phase)의 두 가지 형태로 구분된다.

이상 신호등은 한 주기 내에 두개의 상을 갖는 것으로 이들은 각각 두개의 대립되는 교통흐름으로 나타난다. 예를 들어, 하나의 상이 남북방향의 교통흐름이면 나머지 상은 동서방향의 흐름이 된다. 다상 신호등은 하나의 주기 내에 두개 이상의 상을 포함하는 것으로 회전(좌회전 혹은 우회전)진행이 하나 이상 고려된 것이다.

본 논문에서는 네 개의 상을 가진 신호등의 형태만을 다루게 된다.

#### 4) 오프셋

상대적 오프셋(relative offset)은 두 인접 교차로를 같은 방향에서 보았을 때 각 녹색시간의 시작시간 차이로 측정되며, 교차로망에서 교통신호등의 연동을 목적으로 설계하고자 할 때 사

용하게 된다. 최적 오프셋 설계방법은 여러가지 방법들이 제시되었다. 신호체계를 다룸에 있어 중요한 물리적 제약조건이 있다. 일명 루프제약 또는 폐쇄회로 관계라고 하는데 교차로망의 각 루프를 한 바퀴 도는 시간은 신호주기의 정수배를 이루게 된다는 점이다. 따라서 정수변수를 갖고 있는 오프셋 문제를 푸는 것은 효율적인 해법이 개발되어 있지 못한 실정이다. 현실적인 해결방안으로 Branch-and Back track 이나 "Hill-Climbing"이라는 개략적인 방법을 쓰고 있다.

**2-2 교통신호 연동방법**

선형체계에서 연동신호의 운영패턴은 크게 3가지, 즉 동시시스템, 교호시스템 및 연속진행시스템이 있다[5].

**1) 동시연동체계**

모든 신호가 동시에 같은 신호현시를 나타내며 오프셋은 0이며 각 교차로에서의 시간분할은 동일하며 교차로 사이 간격이 가까울 때 많이 사용되어진다. 이때 차량이 녹색신호 때에 시스템 내의 모든 교차로에 도착하는데 필요한 속도는 식(1)과 같다.

$$V = \frac{L}{C} \tag{1}$$

여기서,  $V$ = 속도(m/s),  $C$ = 주기(sec),  $L$ = 교차로 간격(m)

**2) 교호시스템**

인접교차로 또는 인접 교차로 그룹의 신호가 반대로 켜지는 경우로, 하나 건너 신호 또는 하나 건너 신호그룹의 신호가 동시에 켜지며, 양방향 통행도로의 연동시스템에서 차량이 계속적인 주행을 위해서는 주기의 녹색색시간 분할이 50:50이 되어야 하며, 양방향 차량이 계속적인 주행을 하기 위한 속도, 주기 및 교차로 간격의 관계는 식(2)와 같다.

$$V = \frac{2L}{C} \tag{2}$$

**3) 연속진행 연동체계**

어떤 신호등의 녹색표시 직후에 그 교차로를 연속진행방향으로 출발한 차량이 그 다음 교차로에 도착할 때에 맞추어 그 교차로의 신호가 녹색으로 바뀌어 진행방향에서 볼 때 어느 두 교차로 사이의 오프셋은 그 교차로의 두 교차로간의 거리를 계속적으로 주행하는 차량의 속도로 나눈 값과 같으며 식(3)과 같다.

$$O_i = \frac{\text{교차로 유입링크 거리}}{\text{주행속도}} \tag{3}$$

여기서,  $O_i$  = 연동값(초)

앞에서 설명한 연동체계와는 달리 이 시스템에서는 몇 개의 교차로가 각기 독립적인 시간 분할 값을 갖는데 제한을 받지 않으나, 주도로의 최소 녹색시간이 연속진행대폭을 결정하게 되는 것을 유의해야 한다.

연속진행방식의 장점으로는 첫째, 전체차량이 계획된 속도에서 최소의 지체로 계속적인 주행이 가능, 둘째, 각 교차로의 교통조건에 알맞게 시간분할을 할 수 있으므로 최대한의 효율, 셋째, 계획된 속도보다 높은 속도로 주행을 하게 되면 연속진행 신호에 맞지 않아 자주 정지하게 되므로 높은 속도를 내는 것을 억제, 넷째, 교차로간의 간격이 똑같지 않을 때 다른 고정시간 연동시스템에 비해 교통처리가 더욱 효과적이다.

**2-3 교차로의 표현**

교차로는 도로와 이들 도로 간의 교차점으로 구성되며, 이러한 실제의 물리적 교차로(그림 1)를 표시함에 있어서 여러 가지 표현방식이 가능하다.

그림 2와 같은 교차로 표현은 간단한 반면 2가지 단점이 있으며, 첫째 교차로에서의 회전을 나타내기가 용이하지 않고 둘째, 방향에 따르는 회전비용을 구분할 수 없다는 것이다. 다른 교차로 표현은 블록의 중간(mid-block)에 노드를 설정함으로써 그림 3과 같이 교차로를 노드로 표현하는 방식이다.

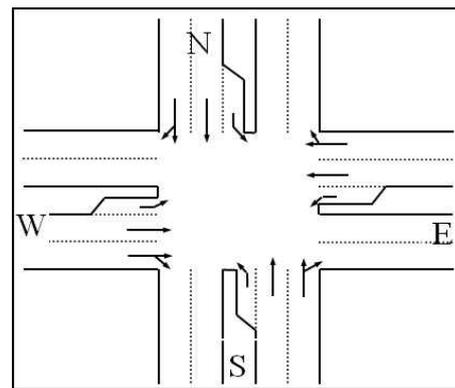


그림 1. 실제 가로망  
Fig. 1. A real cross street.

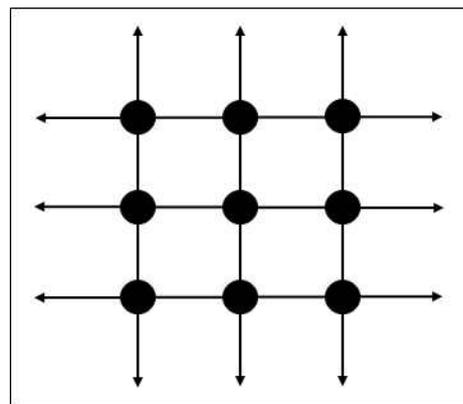


그림 2. 가로망의 모델링  
Fig. 2. Modeling of cross street.

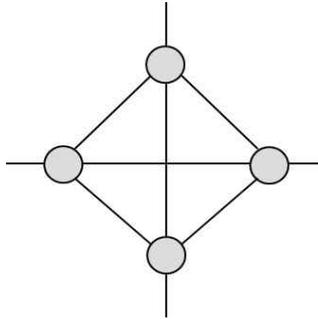


그림 3. 미드블럭시스템  
Fig. 3. Mid-block system.

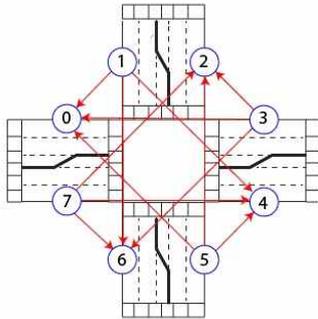


그림 4. 2중 미드 블럭 시스템  
Fig. 4. Double mid-block system.

이는 실제적으로 교차로에 노드나 링크의 수에 있어서의 이득은 없지만 회전교통량의 총량을 방향별로 간파하기 쉬운 장점이 있으나 좀 더 정확한 표현을 위해 본 논문에서는 그림 4와 같이 Double Mid-Block 노드 체계를 선택한다.

그림 4와 같이 전 방향 회전이 가능한 교차로에서는 노드 8개로 표현되며, 우회전, 직진, 좌회전을 포함하면 링크가 기본적으로 12개로 이루어진다. 이와 같은 네트워크 표현방법은 노드와 링크의 개수가 급격히 늘어나기 때문에 탐색속도가 다소 느려질 수 있다는 문제가 있으나, 연결링크들을 직접적으로 표현해주기 때문에 알고리즘의 변형이 되지 않는다는 장점을 가진다.

### 2-4 이용자 경로 선택

도시 교통 모형 구축에 있어서 이용자 평형은 이용 가능한 모든 경로상의 교통류 분포에서, 이용된 경로상의 통행시간은 모두 같으며, 이것은 이용되지 않은 경로상의 통행 시간보다 작거나 같다는 개념이다.

교차로(node)의 집합 N과 방향별 교통망(link)의 집합 L, 그리고 고정된 O/D 교통수요가 주어지면 최적 해 f(방향별 교통류 벡터)를 찾기 위한 목적 함수는 식(4)와 같다.

$$MIN_{f \in F} \sum_{a \in L} \int_0^{f_a} t_a(x) dx \quad (4)$$

이며 이때,  
 $a =$  교통망내의 교차로,  $a \in L$ ,  
 $f_a =$  교통망내의 교차로 “a”상에서의 교통량,  
 $F =$  가능한 교통망 내 교통량의 집합,  
 $t_a(\cdot) =$  자동차가 교차로 상에 있을 때 교차로 “a” 상의 이용자 개개인이 경험하게 될 통행시간

식(4)에서 F는 교통량 보존법칙(conservation of flow law)이며 다음과 같은 제약조건이 따르게 된다.

최소 통행시간, 최단거리, 최소비용, 교통량 정도, 멈춤의 정도, 이용 편리도, 안전도와 같은 기준들을 합리적인 척도들이라 할 수 있지만, 이들 선택기준들 모두를 달성하기는 어려우므로 좀 더 쉽게 적용할 수 있는 척도를 선택하게 되고, 통상 통행시간과 통행비용만을 진로선택기준에 고려하게 된다.

### III. 교차로망의 교통신호 최적화 방안 제시

일반적으로 교통이용자들은 최소지연에 주로 관심이 있으며 본 논문에서는 교통이용자들의 본 논문에서 제시하는 경로를 준수한다는 가정 하에 격자교차로망의 통과시간을 최소화하는 최적화방안을 제시하고자 한다.

본 논문이 잘 적용되어지기 위해서는 아래와 같은 몇 가지의 가정이 필요하다.

- 1) 망의 형태는 격자구조로 가로와 세로의 길이가 일정하다.
- 2) 망내의 교차로는 직진, 우회전, 좌회전이 가능하다.
- 3) 교차로의 전체 녹색신호시간동안 한 차선 당 좌우회전과 직진 모두 동일한 교통처리능력을 갖는다고 가정한다.
- 4) 교차로의 신호등의 표시순서는 바뀔 수 있고 형태 또한 바뀔 수 있다.
- 5) 황색신호는 녹색신호에 포함된 것으로 간주한다.

#### 3-1 교통신호 최적화 단계

앞 절의 가정을 기반으로 다음과 같은 단계에 의거하여 격자교차로망의 최적화를 이룬다.

- 1) 1단계: 모든 노드를 포함하는 MST(minimum spanning tree) 찾기
- 2) 2단계: MST(minimum spanning tree)에 포함된 교통신호등의 직진 신호 연동 구현
- 3) 3단계: 연동 구현된 직진신호에 좌회전 신호를 더하여 신호등의 구현 완료
- 4) 4단계: Dijkstra 알고리즘을 이용하여 최단 경로 찾기

### IV. 모의실험 및 설계 결과

#### 4-1 모의실험 데이터

모의실험은 그림 5와 같은 교차로가 9개인 경우의 격자형 망을 대상으로 실시하였으며, 각 블록의 크기는 동서 및 남북 방향이 560m인 정사각형인 블록을 선택하였으며, 교차로 크기는 가로 세로 길이는 각각 40m로 하였다.

모든 차로는 편도 3차선에 1개의 좌회전 전용차선을 지니고 있으며, 도로의 차량 주행속도는 A avenue 36 km, B avenue 72 km, C avenue 54 km이며, A street 54 km, B street 72k, C street 36 km로 가정하였다. 위의 가정을 통해 신호등을 직진으로 통과하여 다음 신호등까지 도착하는데 걸리는 시간은 다음 신호등까지 거리는 600 m로 동일하므로 A avenue (링크 1-11등)는 60초, B avenue (링크 4-15등)는 30초, C avenue(링크 7-19등)는 40초이며, A street (링크 10-14등)은 40초, B street(링크 12-16 등)은 30초, C street(링크 38-41등)은 60초가 된다. 우회전 및 좌회전으로 통과 할 때는 avenue와 street을 통과하므로 각각 300m를 통과하는 시간을 더하여 결정한다.

예를 들어 링크 1-0은 avenue 30초, street 20초 합하여 50초가 된다.

#### 4-2 설계과정

1) 1단계: 모든 노드를 포함하는 MST(minimum spanning tree) 찾기

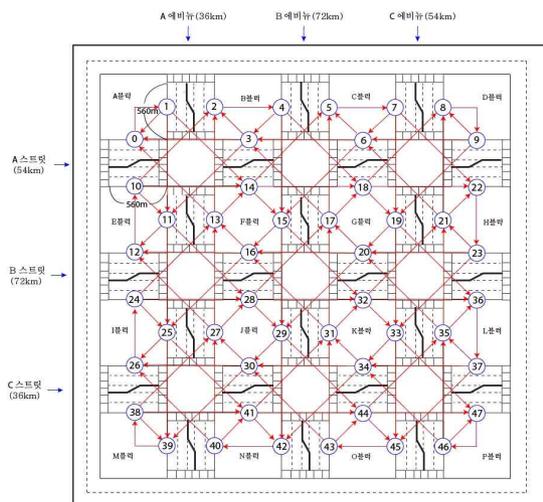


그림 5. 격자 가로망의 모델링  
Fig. 5. Modeling of Cross Streets in Grid.

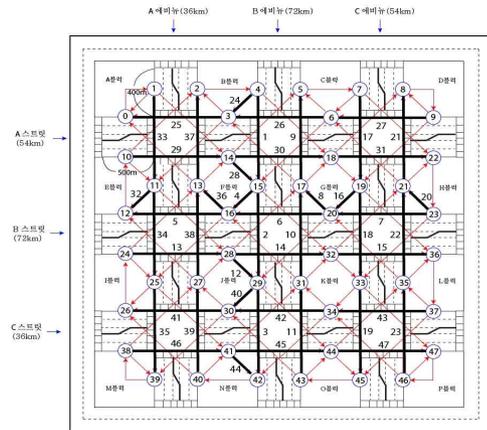


그림 6. MST (최소신장트리)  
Fig. 6. MST (minimum spanning tree).

직진 교통신호등을 연동시켜 격자망을 최적화하기 위해서 우회전 패널티를 소요시간의 1.5배, 좌회전 패널티는 소요시간의 2 배로하고 Kruscal 알고리즘을 이용하여 MST(minimum spanning tree)를 구한다. 그림 6은 설계된 MST를 보여준다. 그림 속에 있는 숫자는 MST에 포함되는 링크의 순서를 보여준다.

2) 2단계: MST에 포함한 교통신호등의 직진 신호 연동 구현  
신호등의 표현 : 그림 7의 (a)의 그림은 교차로에서 신호상태를 나타내며 이신호등은 120초의 신호주기이며, 0~30초는 좌(서)에서우(동)로 이동하는 차량이 직진과 좌회전이 가능하며, 30~60초는 상(북)에서 하(남)로 이동하는 차량이 직진과 좌회전이 가능하며, 60~90초는 우(동)에서 좌(서)로 이동하는 차량이 직진과 좌회전이 가능하며, 마지막 90~120(0)초는 하(남)에서 상(북)으로 이동하는 차량이 직진과 좌회전이 가능함을 나타내고 있다.

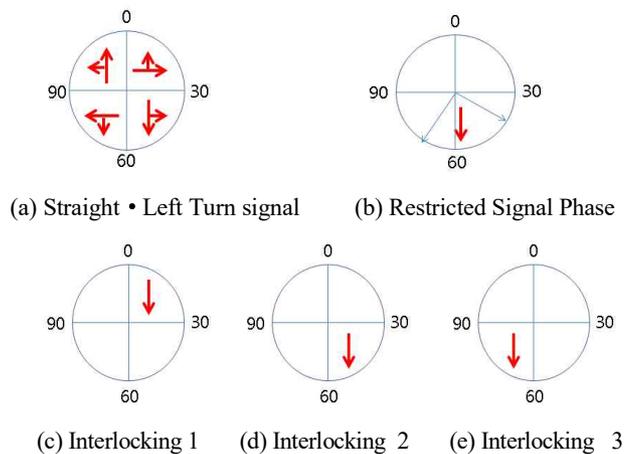


그림 7. 교통신호등 현시  
Fig. 7. Traffic signal phase.

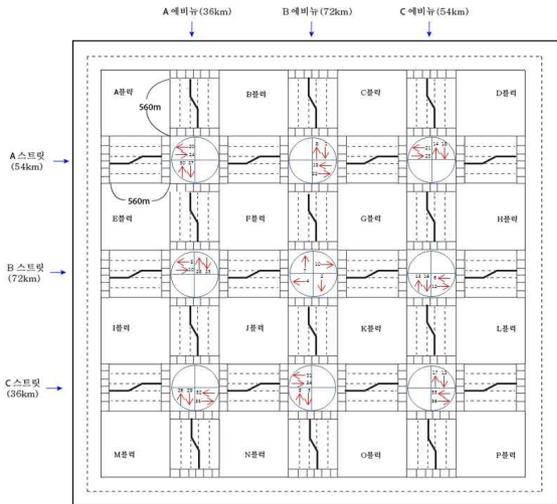


그림 8. MST의 교통신호등 현시  
Fig. 8. Traffic signal phase of MST.

신호등의 연동: 그림6의 MST의 포함링크순서 1(링크4-5), 2(링크17-31), 3(링크31-43)는 B avenue의 직진 차량의 경로이다. 각각의 링크 거리는 600 m(560 m+40 m)이고 시속 72 km(초속 20 m)이면 다음 신호등까지 도착 시간은 30초 신호주기의 1/4과 같으므로 신호등 사이 연동은 그림 7의 (c), (d),(e)처럼 된다.

그림 8에서의 C avenue는 교차로 간격이 600 m이고 속도가 54 km이므로 신호등사이 도착시간은 40초가 된다. 이때 첫 번째 신호등이 그림 7의 (c) 이면 다음 교차로 직진신호가 연동이 되려면 그림 7의 (b)와 같이 되어야 하나 전체 연동을 위해 도착 후 20초 후에 직진신호가 그림 7의 (c)처럼 60초 후에 활성화 되도록 한다.

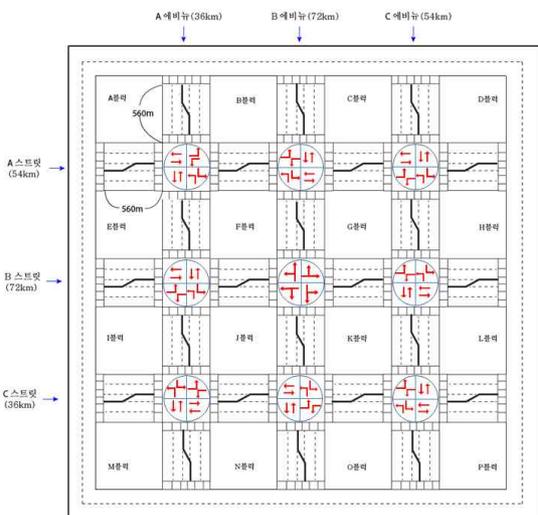


그림 9. 교통신호등 현시 결과  
Fig. 9. The result of traffic signal phase of MST.

3) 3단계: 연동이 구현된 직진신호에 좌회전 신호를 더하여 신호등을 구현하며, 그림 9는 완성된 신호등 현시를 보여주고 있다.

4) 4단계: Dijkstra 알고리즘을 이용하여 최단 경로 찾기

(1) Dijkstra 알고리즘

1) 단계 1 : 초기화

$$M = \{S\} \quad D_n = d_{sn} (s가 n이 아닐 때)을 구함$$

S: 출발노드, n: 목적노드,  $D_n$ : 출발노드와 목적노드의 길이

2) 단계 2: 이웃하는 노드 중에서 최소비용(길이 혹은 소요시간) 경로를 갖는 노드를 집합 M에 포함시키고, 집합M에 포함되지 않은 노드와 출발노드와 비용을 구한다.

3) 단계 3: 최소 비용 경로를 갱신시킨다.

$$D_n = MIN(D_n, D_w + D_{wn}) \quad \text{for all } n \neq M$$

$D_n + D_w$ 이 작으면 출발노드 s에서 목적노드 n까지의 경로는 s노드에서 w노드를 거치고 n노드가 된다. 집합 M이 모든 노드를 포함할 때까지 2, 3 단계를 계속 수행한다[6].

V. 결 론

본 논문에서는 교차로 간격이 가로 600 m 세로 600 m의 길이를 갖는 3x3 격자형 가로망의 직진신호 연동을 통한 교통신호 최적화 방안을 제시하였다. 교통망의 MST를 구하면서 MST에 포함되는 순서대로 직진신호가 연동이 되도록 한다면 많이 교차로가 있을 때도 구현이 용이함을 확인할 수 있었다. 모의 실험에서는 3x3격자형 가로망으로 한정하였으나 NxM로 확대해도 구현이 용이할 것이다. 운전을 하다보면 신호등이 연동이 안 되어 서다 가다를 반복하는 경험을 안해 본 사람이 없을 것이다. 만약 본문의 방법을 적용한다면 그런 경우가 없을 것이라 생각된다.

현재의 논문은 교통량을 고려하지 않고 교통량이 원활한 조건에서 수행되는 방안을 제시하였으며 향후 교통량이 많았을 때에 대한 보완이 필요하다고 생각되어진다.

References

[1] S. L. Sun, C. S. Zhang, and G. Q. Yu, "A Bayesian network approach to traffic flow forecasting," *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*. San Francisco, Vol. 7, No. 1, pp.124-132, 2006.  
[2] Y. J. Yu, and M. G. Cho. "A short-term prediction model for forecasting traffic information using Bayesian

network,” in *Third 2008 International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology*, New York:NY , pp.247-253, 2008.

- [3] X. J. Ban, A. Skabardonis, and J. D. Margulici, “Performance evaluation of travel-time estimation methods for real- time traffic application,” *Journal of Intelligent Transport Systems*, Vol.14, No.2, pp.54-67, 2010.
- [4] G. Q. Yu, J. M. Hu, C. S. Zhang, and J. Song, “Short-term

traffic flow forecasting based on Markov chain model,” in *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Los Angeles, pp.208-212, 2003

- [5] C. O. Do, *Principles of Traffic Engineering*, Cheong MoonGag, pp. 501-503.2001
- [6] A. Kershenbaum, *Telecommunication Network Design Algorithm*, McGraw-Hill, pp.157-164. 1993.



**안 영 필(Yeong-Pil An)**

2005년 2월 : 동양대학교 정보통신공학과(공학사)  
2009년 2월 : 금오공과대학교 전자 및 전기공학과(공학석사)  
2005년 5월~현재 : 한국폴리텍대학 영주캠퍼스 스마트전자학과 교수  
※관심분야 : 컴퓨터네트워크, 마이크로프로세서 응용분야



**김 동 춘(Dong-Choon Kim)**

1993년 2월 : 제주대학교 전자공학과(공학사)  
1995년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
2002년 2월 : 제주대학교 대학원 전자공학과(박사수료)  
1997년 2월~현재 : 한국폴리텍대학 영주캠퍼스 스마트전자학과 교수  
※관심분야 : 컴퓨터네트워크, 네트워크 토폴로지 설계분야



**나 승 권 (Seung Kwon Na)**

1999년 2월 : 세명대학교 전기공학과 (공학사)  
2001년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)  
2008년 2월 : 세명대학교 대학원 전기전자공학과 (공학박사)  
1981년 7월 ~1988년 4월 : 삼육의료원 부산(한방)병원  
1988년 5월 ~1994년 8월 : 한국수자원공사  
1994년 9월 ~2014년 7월 : 한국폴리텍대학 원주캠퍼스 의용공학과 교수  
2014년 8월 ~현재 : 한국폴리텍대학 강릉캠퍼스 전자통신학과 교수  
※관심분야 : 의공학, 신재생에너지 및 대체에너지분야, 에너지변환, 전력전자응용분야