

■ 論 文 ■

## 대기행렬길이 제약조건을 고려한 Preemption 제어 전략에 관한 연구

A Study on the Preemption Control Strategies Considering Queue Length Constraints

**이 재 형**

**이 상 수**

**오 영 태**

(한국교통연구원 첨단교통연구실 연구원) (이주대학교 환경건설교통공학부 부교수) (이주대학교 환경건설교통공학부 교수)

### 목 차

<p>I. 서론</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 연구의 배경 및 목적</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 연구의 내용 및 절차</p> <p>II. 이론적 고찰</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 국내·외 Preemption 관련 연구 고찰</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 시사점</p> <p>III. 대기행렬길이를 고려한 Preemption 제어 전략 수립</p>	<p style="padding-left: 20px;">1. Preemption 제어 절차</p> <p style="padding-left: 20px;">2. Preemption 제어시점 결정</p> <p>IV. 비교 분석 및 평가</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 시뮬레이션 선정</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 시뮬레이션 환경 구성</p> <p style="padding-left: 20px;">3. 시뮬레이션 분석 결과</p> <p>V. 결론</p> <p>참고문헌</p>
---	---

Key Words : 긴급차량 우선신호, 대기행렬길이, 신호제어, 통행속도, 지체도  
Preemption, queue length, signal control, travel speed, delay

### 요 약

현재 신호교차로에서 긴급 상황 시 신호교차로의 혼잡 상황으로 인해 긴급차량이 신호를 무시하거나 차선이탈, 역주행 등 타 이동류 및 보행자의 안전을 위협하는 상황이 발생하고 있다. 일반적인 Preemption 제어는 긴급차량의 검지 즉시 Preemption 제어를 실시하고 있다. 이로 인해 긴급차량의 연속주행 확보는 가능하지만 일반차량의 지체는 증가하게 된다. 본 연구에서는 대기행렬길이 제약조건을 고려한 Preemption 제어 전략을 개발하여 긴급차량의 연속주행 확보와 일반차량의 지체 최소화를 동시에 구현하고자 하였다.

개발된 제어전략에 대한 시뮬레이션 평가결과 9개 CASE 모두 긴급차량의 지체도는 일반신호제어와 비교하여 44.3%~96.1% 감소하였고, 통행속도는 8.8%~42.0% 증가하는 효과를 나타냈다. v/c 1.0 이상인 과포화 상황 이거나 주도로 링크길이가 200m이하인 경우 기존 Preemption 제어가 우수하고, v/c 0.8 이하의 근포화 이하의 상황에서 주도로 링크길이가 500m 이상인 경우 기존 Preemption 제어에 비해 대기행렬길이 제약조건을 고려한 Preemption 제어의 개선효과가 큰 것으로 나타났다.

Currently, the signalized intersections in Korea are operated without providing an emergency vehicle preemption control strategy. Thus, it might threaten the safety of the pedestrians and drivers on highways when an emergency vehicle faces congested traffic conditions. The existing preemption control is activated when an emergency vehicle is detected along a path. This enables emergency vehicles to progress uninterrupted, but it also increases the delay of other vehicles. In this paper, a revised preemption control strategy considering queue length restrictions is proposed to make both a progressive movement of an emergency vehicle and reduce delay of other vehicles simultaneously.

By applying the preemption control strategy through a simulation study, it was shown that delay of an emergency vehicle decreased to 44.3%-96.1% and speed increased to 8.8%-42.0% in all 9 cases as compared with a conventional signal control. The existing preemption control is superior for oversaturated conditions (v/c >1.0) or a link length less than 200m. However, the preemption control considering queue length constraints shows better performance than the existing preemption control when the v/c is less than 0.8 and a link length is longer than 500m.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

긴급 차량 운행 시 신호교차로의 혼잡 상황으로 인해 긴급차량이 신호를 무시하거나 차선이탈, 역주행 등으로 다른 차량 및 보행자의 안전을 위협하는 상황이 발생할 수 있다. 이는 긴급차량의 사고 위험성을 증가시킬 뿐 아니라, 긴급 상황에서 일반신호제어로 운영함에 따라 긴급차량의 대응시간이 증가하여, 인적·물적 피해 등 경제적으로 환산하기 어려운 사회적 비용이 발생할 수 있다. 이러한 교통상황에서 긴급차량에 대한 Preemption 제어 전략이 요구된다.

기존의 Preemption 제어는 긴급차량의 연속주행 확보를 목표로 하여 긴급차량의 감지 즉시 Preemption 제어를 실시하고 있다. 이로 인해 긴급차량의 연속주행 확보는 가능하지만 일반차량의 지체도 크게 증가하게 된다. 따라서 교통상황과 도로 상황에 대응하여 Preemption 제어 시점을 가변적으로 적용할 수 있는 방안이 고려된다면 일반차량의 지체를 감소시키면서, 긴급차량에 대한 우선권을 제공할 수 있다.

본 연구는 이와 같은 동기에 의하여 대기행렬길이 제약 조건을 고려한 Preemption 제어 전략을 개발하여, 긴급차량의 연속주행 확보와 일반차량의 지체 최소화를 동시에 구현하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 국내·외 Preemption 제어 전략에 관한 연구를 분석하고, 개선된 Preemption 제어 전략을 수립한 후 다양한 교통상황에 따른 시뮬레이션 수행을 통한 효과평가를 실시하여 수립된 제어전략을 평가하여 제시한다. 그리고 본 연구에서 제시된 Preemption 제어전략이 기존의 Preemption 제어 전략과 비교하여 효과적인 교통 및 도로 조건을 제시하여 제어의 효율성을 높이고자 한다.

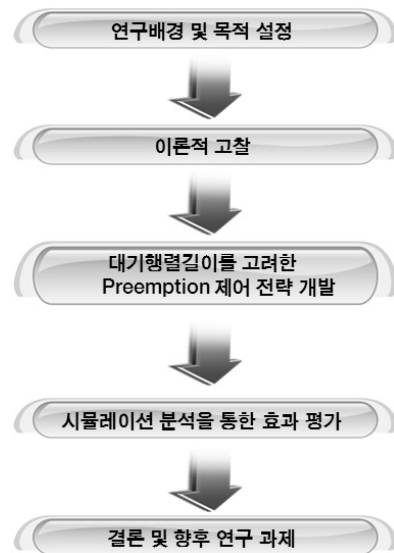
### 2. 연구의 내용 및 절차

본 연구의 주요 연구내용으로는 Preemption 제어에 관한 이론적 검토를 수행하여 이에 대한 문제점을 분석하고, 대기행렬길이를 고려한 Preemption 제어전략을 개발하였다. Preemption 제어전략 개발과정은 긴급차량 감지 후 대기행렬길이를 통한 대기행렬 소거시간을 산출하고, 긴급차량이 대기행렬에 합류하는 데 걸리는 시간을 산출하

여, Preemption 제어 시점을 결정하게 된다. 위의 과정에서 결정된 Preemption 제어 시점 확보 후 Preemption 제어를 실시하게 된다.

대기행렬길이 제약조건을 고려한 Preemption 제어 전략을 시뮬레이션 수행을 통해 일반신호제어 및 기존 Preemption 제어와 비교 분석하여 효과평가를 실시한다. VISSIM이라는 미시적 시뮬레이션 모형을 선정하였으며, 교통상황별, 주도로 링크길이별로 CASE를 나누어 시뮬레이션 결과 분석을 실시한다. 분석된 결과를 통해 본 연구에서 수립한 Preemption 제어 전략의 적용성을 평가하여, CASE에 따른 적용방안을 제시한다.

본 연구는 <그림 1>과 같은 절차로 수행되었다.



<그림 1> 연구수행절차

## II. 이론적 고찰

### 1. 국내·외 Preemption 관련 연구 고찰

#### 1) 국내 Preemption 관련 연구 고찰

국내 연구 중 양윤호(2008)는 긴급차량 Preemption 적용 시 긴급차량 운영효율을 증대할 수 있다는 것을 시뮬레이션 및 현장 적용성 평가를 통해 제시하였다. 긴급차량 Preemption 제어의 국내 적용성 평가를 위하여 시뮬레이션 환경과 유사한 지점에 대해 현장 적용성 평가를 실시하였으며, 평가결과 긴급차량 주행방향인 동→서 방향의

경우 97.23초/대에서 26.47초/대로 72.7% 개선 효과를 나타냈고, 통행속도는 29.1%가 증가하였다. 분석 결과 지체도, 통행속도는 지점별, 링크별로 다소 차이가 있으나 대부분의 구간에서 그 차이가 크게 발생하지 않으므로 국내 적용 시에도 효용성이 있을 것으로 기대된다.

조한선(2006) 등은 철도 건널목에 대한 Signal preemption 적용 시 신호운영의 효율성을 높일 수 있다는 것을 현장조사 및 시뮬레이션을 통해 제시하였고, 연구대상지점을 선정하여 실제 열차, 차량 및 보행자 교통량을 조사하여 Signal preemption의 효과를 검증하였다. Signal preemption을 적용하였을 경우 차량당 지체시간을 약 9초가량 감소한 것으로 나타났으며, 총지체 절감시간은 약 17시간의 결과를 나타내고 있다. 이 연구에서는 다양한 시나리오에서의 효과분석 및 일반신호운영 중 Signal preemption으로 자연스런 전환을 유도하는 부분의 연구가 더 필요하다고 제시하고 있다.

2) 국외 Preemption 관련 연구 고찰

Kwon(2003) 등은 실시간 긴급차량을 위한 교통신호의 효율적인 preemption을 위해 경로기반 동적 전략을 제안하였다. 제안된 방법은 긴급차량의 경로에 놓인 교차로에서 대기행렬이 긴급차량이 도착하기 전에 미리 소거될 수 있도록 온라인 경로선택 모듈과 연속적인 동적 preemption 전략을 결합한 것이다. 표본 네트워크로부터 수집된 긴급차량 통행시간 데이터와 함께 calibration 된다. 시뮬레이션 결과 전체 네트워크 전반의 교통상황을 무리 없이 유지하면서 명확하게 현재의 실행되는 방법보다는 상당한 편익을 보여준다.

Yun(2007) 등은 EVP 효과를 VISSIM 기반의 HILS를 이용하여 평가하였다. 전이방법은 Short Way와 Dwell을 사용하였으며, 평가결과 긴급차량 preemption은 지체와 통행시간에 상당한 증가를 야기하며, 네트워크 전체 그리고 교차로 특정 수행은 선택된 EVP 전략에 따라 상당한 차이가 나고 있음을 제시하고 있다. EVP 전략 시 Short Way 전이방법은 2~3주기에 수행될 때 최적으로 나타났다. 뿐만 아니라, 연구를 통해 전이를 위한 주기 수는 주요 요소가 아니지만 연동회복을 위한 부적절한 요인이 되기 때문에 주의를 기울일 필요가 있으며, 전이를 위한 최대 주기길이 사이는 주요 차이점이 될 수 있음을 연구를 통해 제시하고 있다.

Holdridge(2007)는 시애틀에서 긴급차량 preemption 시스템을 위한 독창적인 설계 전략에 대해 연구하였다. 시

애틀은 전통적인 hard-wired한 시스템을 쓰고 있으며, 이 시스템은 버튼을 누름으로써 긴급차량이 신호 지체 없이 교차로를 통과하도록 더 많은 현시를 주는 것이다. 이 시스템은 긴급차량에게는 높은 정시성을 제공하지만 보행자나 다른 차량들에게 지체를 유발할 수 있다고 제시하고 있다. 또한 도시환경에서 나무나 빌딩, 언덕, 짧은 블록, 주차차량, 트럭 등으로부터 시야가 가려져 도로 위 차량을 검지하는 것이 어렵기 때문에 CBD 환경에서 도로 위 검지시스템의 작동은 수행하는 것이 어려울 수 있다고 제시하고 있다.

Chiou(2003) 등은 신호교차로에서 총 개인지체를 최소화 할 수 있는 GFLC(Genetic Fuzzy Logic Controller) 버스 preemption 전략을 제안하였다. 침두·비침두 중간 시간에 버스 preemption이 없을 시와 계속 주어졌을 시 GFLC 전략의 효과를 비교분석하였다. preemption 제어가 없는 경우와 비교하면 GFLC 전략은 13.5~34.4%까지 총 개별지체를 단축할 수 있다. 반면에 무제한 preemption은 오직 1.2~32.3%까지만 총 지체를 줄일 수 있다. GFLC와 무제한 preemption 제어 모두 교통량이 많을 때보다 적을 때 더욱 나은 효과를 보인다.

Shelby(2006) 등은 전이를 하나의 신호계획으로부터 바뀌는 진행과정으로서 정의한다. 그래서 전이가 행해지는 동안에는 다양한 교통류가 봉쇄될 수 있다고 제시하고 있다. 이 연구에서는 몇 개의 혼잡수준에서 각각 가장 적은 차량의 지체를 나타내는 방법을 결정하기 위해 몇 개의 전이방법을 비교하였다. CORSIM 시뮬레이션을 통해 Eagle, Econolite, NextPhase, and Naztec의 제어기의 현재 전이 기능에 기반된 시뮬레이션을 수행하였다. "Shortway transition"은 일반적으로 가장 효율적으로 보이지만 혼잡상황에서는 "Add transition"이 더 낫다고 제시하였다.

Ngan(2004) 등은 대중교통 신호 우선권(Transit Signal Priority : TSP 이하 TSP)은 대중교통의 경쟁력을 향상시키기 위한 방법의 하나로 세계 여러 도시에서 사용하고 있으며, TSP의 효과는 크게 주변 환경에 영향을 받고 있다고 제시하였고, 이에 대해 TSP 방법과 관련된 교통 파라메타들의 효과 및 그 영향을 연구하였다. TSP 운영 시뮬레이션을 위해 VISSIM을 사용하였으며, 분석을 위한 교통 파라메타로 버스도착 교통량, 교차로 교통량/용량 비율, 버스 차두시간, 버스 정류장 위치, 버스 도착확인 검지기 위치, 좌회전 조건, 신호연동을 고려하여 평가하였다.

Liu(2004) 등은 버스 검지 위치와 대중교통 신호 우

선(TSP) 시스템간의 효과에 대한 관계를 정량적으로 설명하는 이론적 모델을 제시하고, 실제 간선축을 대상으로 동일한 모델과 시뮬레이션 실험을 추가하였다. 시뮬레이션의 결과는 이론적 모델에 의해 도출된 결과와 매우 유사했으며, 보다 나은 TSP를 설계하고 실행할 수 있는 TSP 시스템의 여러 요소들 간의 상호작용에 대한 관계를 제시하고 있음

2. 시사점

기존연구는 대중교통 우선신호에 치우쳐져 있으며, 긴급차량에 대한 연구는 국내에서는 사례가 드물며, 국외의 경우 대중교통 우선신호와 철도 Preemption에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 긴급차량 Preemption 제어에 관한 연구는 활발히 이루어지고 있지 않고 있다.

Preemption 제어가 긴급차량의 연속적인 이동성 확보에 목표를 두고 있기 때문에 대부분의 연구가 이에 관해서 이루어지고 있으나, Preemption 제어로 인한 일반차량의 지체도 증가 및 통행속도 감소 부분에 관한 연구는 부족하다. 따라서 대기행렬길이 제약조건을 고려한 Preemption 제어에 관한 연구를 통해 긴급차량의 연속 주행 확보를 보장하고, 일반차량의 지체 최소화 및 통행속도 개선을 이룰 수 있도록 해야 한다.

III. 대기행렬길이를 고려한 Preemption 제어전략 수립

1. Preemption 제어 절차

Preemption 제어란 일반 신호모드에서 Preemption 제어모드로, 다시 일반 신호모드로 전환하는 일련의 과정을 의미하는 것으로, 본 연구에서는 Preemption의 운영절차를 크게 5단계로 나누었다.

1) 1단계 : 긴급차량 검지(Local)

교차로에 설치된 긴급차량 검지기(센서)로부터 긴급차량을 검지한 후 신호제어기로 Preemption 신호를 전달하여 Preemption 제어가 시작되는 단계로 긴급차량 검지 후 긴급차량을 우선적으로 처리하여야 하기 때문에 긴급차량의 검지와 동시에 시작되어야 한다.



〈그림 2〉 Preemption 운영절차

2) 2단계 : 현시종료

Preemption 제어가 시작되면 대기행렬 소거시간 및 긴급차량 합류시간을 산출하여 Preemption 제어시점을 계산하게 된다. Preemption 제어시점을 확보한 후 운영 중인 현시를 파악하게 되고 긴급차량의 주행방향과 다른 방향의 현시가 운영 중인 경우에는 운영 중인 현시를 바로 종료 한 후, 신호교차로 소거 현시(황색시간)가 제공된다. 운영 중인 현시의 최소 녹색시간(5초)이 끝나지 않았을 경우에는 최소녹색시간을 확보한 후 신호교차로 소거를 위한 현시가 제공되고 긴급차량의 주행방향과 동일한 현시의 경우에는 동일한 현시를 유지하게 된다.

3) 3단계 : Preemption Hold Interval

신호교차로 소거 현시가 종료된 후, Preemption Hold Interval이 시작된다. 이 시간은 긴급차량이 완전히 교차로를 지나갈 때까지 되며 교차로 신호운영은 긴급차량 주행방향과 동일한 신호현시를 제외한 나머지 교차로의 진입 및 진출현시의 신호운영은 이루어지지 않게 된다.

4) 4단계 : 긴급차량 통과 확인

긴급차량이 교차로를 완전하게 통과하는 것을 확인하는 단계이다. 이 경우 긴급차량이 신호교차로를 완전하게 통과하더라도 즉시 신호시간을 다른 이동류에 부여하는 것이 아니라 교통상황에 따른 최소 우선신호 소거시간(7초)을 제공하여 상충을 최소화하고 안전성을 증대시키도록 한다.

5) 5단계 : 일반 신호 모드로 복귀

긴급차량이 신호교차로를 완전히 통과한 후 신호는

Preemption전의 일반 신호운영 상태로 돌아온다. 이 때 첫 현시는 일반신호제어 시 긴급차량 주행 현시의 다음 현시를 제공하여 일반차량 운전자의 혼란을 막게 한다.

## 2. Preemption 제어시점 결정

### 1) 대기행렬길이를 고려한 Preemption 제어 CASE 선정

대기행렬길이를 고려한 Preemption 제어를 위하여 교통상황별, 주도로 링크길이별로 구분하여 Preemption 제어를 실시한다.

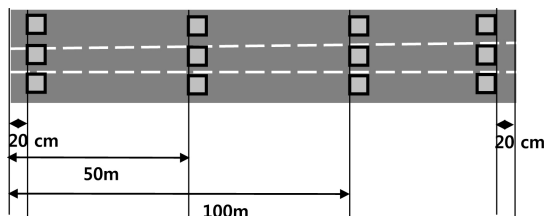
교통상황은 비포화, 근포화, 과포화로 나누어 CASE를 선정하고, 비포화는  $v/c$  0.6, 근포화는  $v/c$  0.8, 과포화는  $v/c$  1.0으로 구성한다. 일반적으로 교차로 간격이 200~800m이므로 주도로 링크길이는 200m, 500m, 800m로 선정하여 구성하였다. 교통상황별, 주도로 링크길이별로 제시된 기준에 의해 선정된 CASE는 <표 1>과 같다.

<표 1> Preemption 제어 CASE 선정결과

구분	교통상황		주도로 링크길이	
CASE 1	비포화	$v/c$ 0.6	Short	200 m
CASE 2	비포화	$v/c$ 0.6	Medium	500 m
CASE 3	비포화	$v/c$ 0.6	Long	800 m
CASE 4	근포화	$v/c$ 0.8	Short	200 m
CASE 5	근포화	$v/c$ 0.8	Medium	500 m
CASE 6	근포화	$v/c$ 0.8	Long	800 m
CASE 7	과포화	$v/c$ 1.0	Short	200 m
CASE 8	과포화	$v/c$ 1.0	Medium	500 m
CASE 9	과포화	$v/c$ 1.0	Long	800 m

### 2) 일반차량 및 긴급차량 검지

검지기 설치를 통해 일반차량 및 긴급차량의 검지를 하며, 일반차량의 검지를 위하여 정지선으로부터 20cm, 50m, 100m 떨어진 곳에 검지기를 차선별로 설치한다. 본 연구에서는 긴급차량이 간선축을 중심으로 직진으로



<그림 3> 검지기 구성방안

이동하는 것을 전제하였고, 좌회전 차선에는 검지기를 설치하지 않았다. 설치된 검지기로부터 교통량, 속도, 점유율 등의 정보를 수집하게 되고, 단일 검지기를 설치할 경우 차량의 평균길이를 입력하여 속도를 산출하며, 복수 검지기를 설치할 경우 검지기간 거리를 이용하여 속도를 산출한다.

긴급차량의 연속적인 주행을 확보하고, 정확한 대기행렬 소거시간 및 긴급차량 합류시간의 산출을 위해 상류부 교차로로부터 20cm 떨어진 곳에 검지기를 설치한다. 설치된 검지기로부터 긴급차량의 속도를 산출하게 되고, Preemption 제어 알고리즘을 통해 Preemption 제어시점 산출하게 된다. 긴급차량이 교차로를 통과하여 하류부 교차로에 검지가 되면 일반신호제어로 복귀하게 된다.

### 3) 대기행렬 소거시간 산출

대기행렬길이는 실시간으로 측정되어 이를 반영한 제어가 이루어지는 것이 타당하나, 본 연구에서는 일반검지기로부터 수집되는 점유율 정보를 이용하여 대기행렬길이를 측정하고, 이를 통해 대기행렬 소거시간을 산출하였다. 대기행렬길이의 산출지점은 정지선으로부터 20cm, 50m, 100m지점에 설치된 검지기의 점유시간을 수집하여 대기행렬이 발생하였음을 판단하였으며, 이를 근거로 대기행렬길이를 10m, 50m, 100m로 산출한다. 3개 차선 중 최대대기행렬을 기준으로 대기행렬길이를 산출하였다. 대기행렬 소거시간 산출을 위해 Queue clearance time을 사용하였으며, 대기행렬 소거시간 산출 방법은 아래와 같다.

○ Queue clearance time

$$- Gq = [q(C-g) / (s-q)] + l$$

Gq : average queue clearance time (s)

C : average cycle length (s)

g : effective green of the subject phase (s)

q : critical lane flow rate (vps)

s : saturation flow rate (= 1900vps)

l : start-up lost time (= 2.0s)

$$q(C-g) = Nr$$

$$Nr = ql / (vl + vs)$$

Nr : 적색 및 황색 신호시간에 도착한 차량대수 (veh)

ql : 일반검지기에서 수집되는 대기행렬길이 (m)

vl : 일반차량의 평균 길이 (= 4.5m)

vs : 일반차량의 평균 차간간격 (= 1.8m)

- 대기행렬 소거시간 산출  
 $- Gq = [ql / (6.3*(1900-q))] + 2.0$

이를 통해 산출된 CASE별 대기행렬 소거시간은 <표 2>와 같다.

<표 2> CASE별 대기행렬소거시간

구분	대기행렬길이 (m)	대기행렬 소거시간 (초)
v/c 0.6	CASE 1	10
	CASE 2	50
	CASE 3	100
v/c 0.8	CASE 4	10
	CASE 5	50
	CASE 6	100
v/c 1.0	CASE 7	10
	CASE 8	50
	CASE 9	100

4) 긴급차량 합류시간 산출

긴급차량 합류시간 산출방법은 긴급차량 순행속도를 60 km/h로 설정하고 링크길이에서 대기행렬길이를 뺀 값을 긴급차량 순행속도로 나누면 긴급차량이 대기행렬에 합류하는 시간이 된다. 이를 통해 산출된 CASE별 긴급차량 합류시간은 <표 3>과 같다.

<표 3> CASE별 긴급차량 합류시간

구분	대기행렬길이 (m)	긴급차량 합류시간 (초)
주도로 링크길이 200 m	CASE 1	10
	CASE 4	50
	CASE 7	100
주도로 링크길이 500 m	CASE 2	10
	CASE 5	50
	CASE 8	100
주도로 링크길이 800 m	CASE 3	10
	CASE 6	50
	CASE 9	100

5) Preemption 제어시점 산출

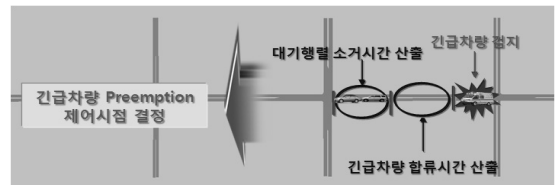
Preemption 제어시점 산출은 대기행렬 소거시간과 긴급차량 합류시간의 차이를 계산하여 산출한다. 대기행렬 소거시간이 긴급차량 합류시간보다 크면, 긴급차량 검지 즉시 긴급차량 주행방향의 현시시간을 배분하더라도 대기행렬이 해소되기 전에 긴급차량이 도착하게 된다. 따라서 위와 같은 경우 긴급차량 검지 즉시 Preemption 제어를 시행해야 한다.

대기행렬 소거시간이 긴급차량 합류시간보다 작으면

긴급차량 합류시간과 대기행렬 소거시간의 차이만큼 지난 후, 신호교차로 소거 현시(황색시간)를 제공한 다음 긴급차량 주행방향의 현시를 시작하여 Preemption 제어에 의한 부도로의 지체를 최소화한다.

- 대기행렬 소거시간 = t1  
 긴급차량 합류시간 = t2
- t1 ≥ t2 : 긴급차량 검지 즉시 Preemption 제어 시행  
 t1 < t2 : t2 - t1 시간 경과 후 Preemption 제어 시행

Preemption 제어시점 결정은 <그림 4>와 같다.



<그림 4> Preemption 제어시점 결정방안

CASE별 Preemption 제어시점 산출결과는 <표 4>와 같다.

<표 4> CASE별 Preemption 제어시점 산출결과

(단위 : 초)

	10 m	50 m	100m
CASE 1	3	0	0
CASE 2	21	4	0
CASE 3	39	22	0
CASE 4	2	0	0
CASE 5	20	2	0
CASE 6	38	19	0
CASE 7	1	0	0
CASE 8	19	0	0
CASE 9	37	16	0

IV. 비교 분석 및 평가

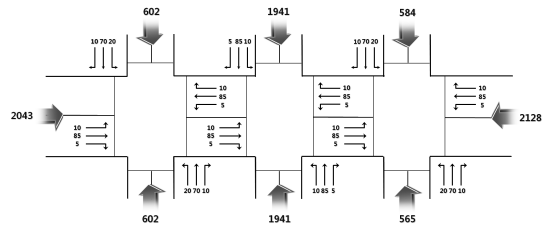
1. 시뮬레이션 선정

본 연구에서는 각 시뮬레이션의 주요 특징을 검토한 후 VAP(Vehicle Actuated Programming) 모듈의 지원이 가능한 VISSIM을 미시적 시뮬레이션 모형으로 선정하였다.

VISSIM은 긴급차량과 일반차량과의 시뮬레이션이 가능하고 Preemption signal logic을 구현하기 위한

VAP모듈의 지원이 가능하여 Preemption 신호제어 모드를 구성할 수 있는 장점이 있다.

또한 Preemption 제어 전략 적용 시 최적화된 신호 주기 및 현시시간을 분석하기 위해서 교통상황에 따른 적정신호시간 산정 및 최적화가 가능한 TRANSYT-7F 모형을 이용하여 신호시간 및 주기, 옵셋값을 최적화 하여 VISSIM 신호시간 자료에 적용하였다.



〈그림 6〉 v/c 0.8에서의 교통량 및 회전비율

## 2. 시뮬레이션 환경 구성

본 연구의 시뮬레이션을 위한 환경 구성은 대기행렬을 고려한 Preemption 제어 적용 시 객관적 효과발생을 위한 시나리오 작성을 목표로 한다.

시뮬레이션 분석시간은 900~2700초로 1800초(30분)에 걸쳐 분석을 실시하였고, 효과측도는 지체도와 통행속도로 선정하였다.

기하구조는 주도로의 링크길이를 200m, 500m, 800m로 나누어 구성하였으며, 주도로는 양방향 6차로에 50m 길이의 좌회전 전용 베이를 설치하였다. 2번 교차로의 부도로는 주도로와 동일한 환경으로 구성하였고, 1, 3번 교차로의 부도로는 양방향 4차로에 좌회전 전용 베이를 설치하지 않았다.

교통조건은 비포화, 근포화, 과포화로 나누어 v/c가 0.6, 0.8, 1.0이 되도록 구성하였으며, 직진:좌회전 비

〈표 5〉 2번 교차로 신호조건 구성

CASE	phase(초)				off set
	Φ1	Φ2	Φ3	Φ4	
1	22(3)	49(3)	24(3)	43(3)	86
2	23(3)	48(3)	24(3)	43(3)	97
3	22(3)	49(3)	24(3)	43(3)	87
4	24(3)	42(3)	26(3)	46(3)	72
5	24(3)	42(3)	26(3)	46(3)	72
6	24(3)	42(3)	26(3)	46(3)	72
7	22(3)	49(3)	24(3)	43(3)	54
8	22(3)	49(3)	24(3)	43(3)	54
9	22(3)	49(3)	24(3)	43(3)	60

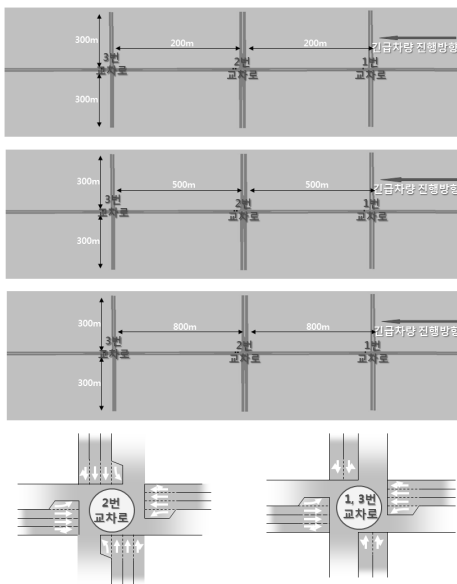
율은 80:20 또는 90:10이 되도록 구성하였다.

신호조건은 TRANSYT-7F 모형을 이용하여 150초 주기로 최적화된 현시 및 offset 값을 산출하였다.

## 3. 시뮬레이션 분석 결과

일반신호제어 대비 지체도 및 통행속도 증감율을 비교/분석해보면 〈표 6~9〉와 같다. 〈표 6, 7〉은 주도로와 부도로의 지체도 평균값을 가중평균하여 일반신호제어와 비교한 것이며, 〈표 8, 9〉는 주도로와 부도로의 통행속도 평균값을 가중평균하여 일반신호제어와 비교한 것이다.

음영으로 표시된 부분(CASE 2, 3, 5, 6)은 일반차량의 일반신호제어 대비 기존 Preemption 제어 효과 보다 개선 Preemption 제어 효과가 높게 나타난 CASE이다. 해당 CASE의 일반차량 지체도는 0.60%~3.23%, 통행속도는 1.65%~2.39%의 개선효과가 나타난 것으로 분석되었다. 시뮬레이션 분석시간 1800초이며, 이 중 긴급차량 발생횟수가 2회임을 감안한다면, 본 논문에서 제시하고 있는 대기행렬길이를 고려한 Preemption 제어가 해당 CASE에서 효과가 있다고 판단할 수 있다. 개선 효과가 발생한 CASE는 v/c가 0.6, 0.8 이며, 주도로 링크길이가 500, 800m인 경우에 해당한다.



〈그림 5〉 시뮬레이션 기하구조 구성

〈표 6〉 일반신호제어 대비 일반차량 지체도 증감율  
(단위 : %)

구분	일반차량	
	기존 Preemption 제어	개선 Preemption 제어
CASE 1	-1.64	-0.12
CASE 2	-12.22	-12.82
CASE 3	-25.51	-26.26
CASE 4	-2.96	1.09
CASE 5	-16.63	-19.86
CASE 6	-12.65	-16.55
CASE 7	-3.15	-0.23
CASE 8	-7.19	-2.89
CASE 9	14.09	31.88

〈표 7〉 일반신호제어 대비 긴급차량 지체도 증감율  
(단위 : %)

구분	긴급차량	
	기존 Preemption 제어	개선 Preemption 제어
CASE 1	-98.88	-96.13
CASE 2	-92.01	-91.36
CASE 3	-95.94	-93.03
CASE 4	-61.44	-64.60
CASE 5	-70.90	-70.70
CASE 6	-64.31	-64.74
CASE 7	-19.32	-66.12
CASE 8	-59.34	-59.25
CASE 9	-61.87	-44.28

〈표 8〉 일반신호제어 대비 일반차량 통행속도 증감율  
(단위 : %)

구분	일반차량	
	기존 Preemption 제어	개선 Preemption 제어
CASE 1	-4.08	-3.84
CASE 2	3.20	5.59
CASE 3	7.40	9.17
CASE 4	-1.91	-3.18
CASE 5	0.87	3.18
CASE 6	4.14	5.79
CASE 7	-0.71	-2.19
CASE 8	3.39	2.66
CASE 9	0.68	-3.57

〈표 9〉 일반신호제어 대비 긴급차량 통행속도 증감율  
(단위 : %)

구분	긴급차량	
	기존 Preemption 제어	개선 Preemption 제어
CASE 1	47.78	41.96
CASE 2	47.20	45.57
CASE 3	46.43	41.35
CASE 4	4.75	8.77
CASE 5	30.44	25.12
CASE 6	26.43	21.78
CASE 7	21.01	10.81
CASE 8	21.44	23.52
CASE 9	37.68	26.20

그리고 일부 CASE(CASE 4, 9)를 제외하고 기존 Preemption 제어와 개선 Preemption 제어 모두 일반신호제어 대비 일반차량의 지체도가 향상되었다. 이는 긴급차량이 통과하는 주방향의 교통량이 부방향의 교통량에 비하여 많으므로, preemption 제어를 주방향의 신호현시를 길게 해줌으로써 주방향의 지체가 감소하고, 전체 네트워크 측면에서 지체가 감소된 결과로 나타났다.

v/c 1.0의 경우 해당 링크 및 하류부 링크의 극심한 정체현상으로 인해 본 연구에서 제안한 Preemption 제어 방식이 기존 Preemption 제어방식과 같아지게 되어 개선효과가 미비하였다. 일반신호제어와 비교해보면 대기행렬 소거시간의 증가와 좌회전 이동류가 직진 이동류에 영향을 미치는 현상에 따라 긴급차량의 연속주행의 확보가 어려웠으며, 또한 긴급차량 진행방향 현시 시간이 길어지게 되어 부도로의 일반차량의 지체가 증가하게 되었다.

주도로 링크길이가 200m인 경우 다른 신호제어 CASE에 비해 개선효과가 낮게 나타나는 현상은 링크길이가 짧아짐에 따라 offset 효과가 크게 나타나 일반차량이 platoon을 이루며 이동하는 현상을 발견할 수 있었다. 따라서 Preemption 제어로 인한 효과가 offset 효과로 인해 상쇄되었다고 분석 가능하다.

따라서 본 연구에서 제시하고 있는 대기행렬길이를 고려한 Preemption 제어 전략은 근포화 이하의 상황에서 주도로 링크길이가 500m 이상인 경우에 보다 높은 효과가 기대된다고 할 수 있다.

## V. 결론

본 연구는 대기행렬길이 제약조건을 고려한 Preemption 제어 전략을 개발하여 제시하였고, 적용 시 긴급차량 운영 효율이 높아지고, Preemption 제어로 인해 발생하는 일반차량의 지체를 감소할 수 있다는 것을 시뮬레이션을 통해 평가하였다.

시뮬레이션 분석결과 Preemption 제어로 인해 긴급차량에 미치는 긍정적인 영향이 있는 것으로 분석되었으며, v/c가 1.0인 과포화 상황이나 주도로의 링크길이가 200m 이하인 경우에 긴급차량의 지체도 및 통행속도의 개선효과가 감소하는 것으로 나타났다.

시뮬레이션 평가결과 9개 CASE 모두 긴급차량의 지체도는 일반신호제어와 비교하여 44.3%~96.1% 감소하였고, 통행속도는 8.8%~42.0% 증가하는 효과를 나타냈다. v/c 1.0 이상인 과포화 상황이거나 주도로 링크



길이가 200m이하인 경우 기존 Preemption 제어가 보다 우수한 것으로 분석되었고, v/c 0.8 이하의 근포화 이하의 상황에서 주도로 링크길이가 500m 이상인 경우 기존 Preemption 제어에 비해 본 연구에서 개발한 Preemption 제어가 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 이 경우 일반차량 지체도는 기존 Preemption 제어에 비해 0.6%~3.2%, 통행속도는 1.7%~2.4%의 개선 효과가 나타난 것으로 분석되었다.

그리고 Preemption 제어 수행 전/후의 v/c와 주도로 링크길이에 따라 지체도, 통행속도는 다소 차이가 발생하나 대부분의 CASE에서 그 차이가 적게 파악되었다.

따라서 본 연구에서 제시된 대기행렬길이 제약조건을 고려한 Preemption 제어 전략으로 인해 긴급차량의 연속 주행 확보 및 일반차량의 지체 감소 등 운영자와 이용자의 시간비용 절감 및 안전증대 효과를 기대할 수 있으며, 궁극적으로는 사회적 편익을 창출할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 실용화시 현재 구축되어 있는 검지체계로는 긴급차량의 검지가 어려우므로, 향후 u-Transportation 기반의 긴급차량 검지가 필요하다고 판단된다.

또한 현재 신호교차로에서의 불법 주·정차, 유턴, 버스정차 등으로 인한 대기행렬길이 추정이 어려우므로, 향후에는 이와 같은 요인들을 고려한 대기행렬 소거시간을 산출을 해야 한다.

그리고 긴급차량의 순행속도를 일정한 속도로 가정하였으나, 대기행렬과의 거리에 따라 긴급차량의 속도가 감소하는 모형을 적용해야할 것으로 판단된다.

현재 신호교차로 환경을 반영한 대기행렬길이 및 긴급차량의 순행속도 산출방법에 관한 지속적인 연구를 통해 대기행렬 소거시간 및 긴급차량 합류시간 산출 알고리즘을 개선하여 대기행렬길이 제약조건을 고려한 Preemption 제어 전략의 효율을 높이는 노력이 필요하다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제59회 학술발표회(2008. 10.24)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

**참고문헌**

1. 건설교통부(2006), 차세대 무선통신 신호제어시스템(3차년도).
2. 양륜호(2008), "긴급차량 우선신호(preemption) 제어 적용성 평가에 관한 연구", 아주대학교.

3. 조한선·오주택·이재명·박동주(2006), "VISSIM을 이용한 Signal Preemption 전략도입 및 효과분석", 대한교통학회지, 제24권 제4호, 대한교통학회, pp.93~101.
4. 건설교통부(2004), 도로용량편람.
5. Kwon E., S. Kim, and R. Betts(2003), "oute-based Dynamic Preemption of Traffic Signals for Emergency Vehicle Operations", TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM.
6. Yun I., M. Best, and B. Park(2007), "valuation of Emergency Vehicle Preemption Strategies on a Coordinated Actuated Signal System Using Hardware-in-the-Loop Simulation", The 85th TRB Annual Meeting CD-ROM.
7. Holdridge J.(2007), "Unique Strategies used to Successfully Implement Emergency Vehicle Preemption Operation within the Seattle CBD", 2007 ITE District 6 Annual Meeting.
8. Chiou Y., M. T. Wang and L. W. Lan(2003), "daptive bus-preemption Signal Control System Application of Genetic Fuzzy Logic Controller (GFLC)", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol.5, October.
9. Steven S. G., B. Darcy, M. Gettman, and Douglas(2006), "Transition Methods in Traffic Signal Control", Traffic Signal Systems and Regional Systems Management, pp.130~140.
10. Ngan V., T. Sayed, and A. Abdelfatah(2004), "valuation of Transit Signal Priority Strategy using VISSIM", The 83th TRB Annual Meeting CD-ROM, TRB.
11. Liu H., A. Skabardonis, M. Li(2004), Optimal Detector Location for Bus Signal Priority, The 83th Annual Meeting CD-ROM, TRB.

- ♣ 주 작성자 : 이재형
- ♣ 교신저자 : 이상수
- ♣ 논문투고일 : 2008. 10. 24
- ♣ 논문심사일 : 2008. 12. 20 (1차)  
2009. 3. 27 (2차)
- ♣ 심사판정일 : 2009. 3. 27
- ♣ 반론접수기한 : 2009. 8. 31
- ♣ 3인 익명 심사필
- ♣ 1인 abstract 교정필