

UTIS를 이용한 긴급차량 우선신호 제어방안

Applicability of Emergency Preemption Signal Control under UTIS

박순용* 김동녕** 김명수*** 이정범****
 (Soon-Yong Park) (Dong-Nyong Kim) (Myung-Soo Kim) (Jung-Beom Lee)

요약

최근 10년간 긴급차량(소방방재청 기준)의 출동 건수 및 출동 시간은 지속적으로 증가하는 추세이며, 혼잡으로 인한 출동여건은 나빠지고 있다. 특히, 일반 승용차의 양보가 힘든 상황에서 신호제어 전략은 출동시간을 줄일 수 있는 중요한 방법 중 하나로서 본 연구에서는 경찰청의 UTIS 사업과 연계하여 신호교차로에서 사용가능한 긴급차량 preemption 알고리즘을 보행자를 고려한 현시전략 및 주기 회복 전략을 고려하여 개발하였다. 또한 이를 평가하기 위한 방안으로 VISSIM을 이용하여 대전에 위치한 비연동축 및 연동축에 대하여 모의실험을 수행하였다. 모의실험의 객관적 평가를 위해 네트워크 정산 및 검증 과정을 수행하였으며, 이를 기반으로 기존 고정식 신호제어와 preemption 신호제어에서 긴급차량과 일반차량의 통행시간 및 평균지체를 검토하였다. 긴급차량의 경우 preemption 이후 주기회복에 “Add 또는 Subtract”을 사용할 경우 36.8~43.3%, “Dwell” 방식을 사용할 경우 30.7~46.0%의 통행시간 감소가 확인되었으며, 일반차량의 경우, 비연동축에서 Dwell 방식을 취할 경우 평균지체가 33.5%까지 증가하였으며, 연동축에서는 0.5% 증가만 확인되었다. 또한 비연동축에서 “Add 또는 Subtract”은 0.7%, 연동축에서는 4.5% 평균지체 증가가 확인되었다. 따라서 preemption 이후 주기회복과정은 연동축에서는 “Dwell”, 비연동축에서는 “Add 또는 Subtract”의 방식이 우수할 것으로 판단된다. 그러나 연동축에 대한 명확한 구분이 어려울 경우, “Dwell” 방식의 사용은 신중히 고려되어야 할 것으로 판단된다.

Abstract

Even though the firefighters have to hurry to the scene to extinguish the blaze, the fire engines could not rush out due to the worst of traffic condition. Traffic signal control is one of the most important methods to minimize the fire engines's travel time. The focus of this paper is to develop a traffic control strategy, which is emergency vehicle preemption algorithm considering pedestrian in order to reduce travel time of emergency vehicle. This algorithm also includes recovering strategy after preemption signal to minimize the other vehicle's delay. In order to estimate the effectiveness of traffic control, traffic simulation was performed using VISSIM micro simulation tool for two different kinds of networks, which were non-coordinated corridor and coordinated corridor. The differences of travel time and average delay between emergency vehicle and ordinary vehicle were respectively estimated under pre-existed pretimed signal and preemption traffic control at two respective networks. The results of the simulation for the emergency vehicle, travel time was reduced to 36.8~43.3% under “Add or Subtract” method whereas it was reduced to 30.7~46.0% under “Dwell” method. In addition, in non-coordinated corridor case of ordinary vehicle, average control delay of “Dwell” method was increased 33.5% whereas it grew 0.5% under coordinated corridor. And “Add or Subtract” method was confirmed that average control delay of ordinary vehicle was increased 0.7% under non-coordinated corridor whereas it swelled 4.5% under coordinated corridor.

key words : Preemption, Emergency Vehicle, Transition, Signal Strategy

† 본 논문은 대전발전연구원의 “소방차 출동체계와 ITS 연계방안(2012)”의 내용을 수정 및 보완한 것임

* 주저자 : 단국대학교 토목환경공학과 박사수료

** 공저자 : 단국대학교 토목환경공학과 교수

*** 공저자 : 국립한밭대학교 도시공학과 교수

**** 공저자 및 교신저자 : 대전발전연구원 연구위원

† 논문접수일 : 2012년 7월 5일

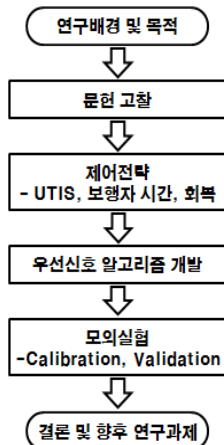
† 논문심사일 : 2012년 9월 10일

† 게재확정일 : 2012년 9월 20일

I. 서 론

소방방재청 구조활동 현황을 살펴보면, 2011년도 기준으로 인구 1만명당 출동건수는 85건(처리건수)으로 하루 평균으로 살펴보면, 출동건수가 1,183회 구조인원은 276명에 달한다. 이는 전년대비 각각 10.8% 및 9.0%가 증가한 것이며, 최근 10년간 지속적으로 증가하는 추세이다. 그러나 늘어나는 출동건수에 비해 출동여건은 나아지지 않고 있다. 2011년도 소방방재청에서 구조활동을 위해 출동해서 현장까지 도착한 평균시간은 11분 01초로 전년 10분 36초보다 25초나 증가하였다[1].

이에 소방방재청에서는 출동여건 개선을 위해 “소방차 길터주기” 캠페인을 실시하고, 소방차량의 진로를 방해하는 차량에 대해서 과태료를 부과하는 도로교통법 개정안을 시행하였으나, 실제 도로에서는 사이렌 소리를 듣고도 긴급차량에게 통행 우선권을 양보하지 않고 무리하게 교차로에 진입하는 차량들이 여전히 존재한다. 또한 교차로 부근의 대기행렬로 인해 긴급차량이 교차로를 통과하는데 많은 어려움을 겪고 있다.



〈그림 1〉 연구수행 절차
〈Fig. 1〉 Research procedure

따라서 긴급차량의 원활하고 안전한 교차로 통과를 위해 우선신호(Emergency Preemption)가 사용될 수 있으며, 최근 경찰청 UTIS 사업에는 ‘우선차

량 신호제어’의 서비스가 제시되어 있다[2]. 그러나 UTIS 사업에서는 Preemption에 대한 서비스만 언급되어있을 뿐 세부적인 전략에 대해서는 기술되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 긴급차량의 통행시간 단축과 안전한 교차로 통과를 위하여 현재 UTIS 사업에서 제시한 통신망의 물리적 특성을 고려하여 preemption 신호제어 전략 및 알고리즘을 제시하고, 대전시 일부 지역을 대상으로 그 효과를 평가하였다.

II. 문헌고찰

1. 국내 관련연구

박현준(2006)은 preemption을 수행함에 있어 긴급차량의 통행시간이 단축된 것을 확인하였으며, preemption이 종료된 후 회복주기를 거쳐 일반차량의 지체를 최소화하기 위한 전략을 사용하였다[3].

이재영(2008)은 대기행렬을 고려한 preemption을 개발하였으며, 이를 기존의 preemption과 비교검증하였다. 그 결과 긴급차량의 지체 감소와 통행속도 향상을 확인할 수 있었으나, preemption에 의한 일반차량의 평가는 수행하지 않았다[4].

양륜호(2008)는 preemption 알고리즘을 개발하여 V/C를 달리하여 평가한 결과 긴급차량의 지체감소 및 통행속도 증가를 확인하였다. 그러나 동시에 일반차량의 지체가 증가하는 문제점을 확인하였다[5].

김상복(2010)은 링크내 대기행렬에 의한 긴급차량의 통행시간을 최소화 할 수 있는 운영방안으로 우회도로선택 기준 방법론을 개발하였다. 이 방법에서 우회기준 포화도는 0.75이었으며, 주도로 및 우회도로 링크길이에 따라 우회기준 포화도를 제시하였다[6].

2. 국외 관련연구

Bullock et al.(1999)은 긴급차량의 통행시간 및 교차로 지체를 CORSIM을 통해 분석하였으며 preemption 제어 이후 회복과정 등에 대하여도 분석을 실시하였다. 그 결과 접근로의 길이 및 포화도 등에 따라

통행시간 및 교차로 지체가 차이가 나는 것을 확인하였다[7].

Nelson and Buollock(2000)은 연동화 신호교차로에서 교차로 간격, 전이알고리즘, 교차로의 포화도, 우선신호 시간, 그리고 주기에서 낭비되는 시간이 통행시간과 지체에 영향을 준다고 하였다. 또한 이를 최소화하기 위해 회복주기에 “Smooth”, “Add”, 그리고 “Dwell”의 전이 방식을 사용하여 분석하였다. 그 결과 “Smooth” 방식이 타 전이 방식에 비해 지체감소 측면에서 우수한 것으로 확인되었다[8].

Yun et al.(2007)은 preemption에 대한 모의실험을 수행하여, 일반차량의 지체와 통행시간이 증가하는 것을 확인하였다. 이를 해결하기 위해 주기 회복시 2~3주기에 걸쳐 “Short Way”를 통해 이를 최소화할 수 있다고 하였다[9].

3. 시사점

국내 및 국외 문헌을 살펴보면, preemption에 대한 많은 연구가 있었다. 국내문헌의 경우 preemption에 대한 알고리즘 위주의 평가가 대부분이었으며, preemption에 의한 일반차량들의 영향을 최소화하는 연구는 많지 않았다. 또한 국외문헌에서는 preemption 이후 회복주기를 통해 일반차량의 지체를 최소화하기 위한 전략으로 전이방법에 의한 비교를 수행하였으나, 3개 이상의 연동 교차로를 갖는 연구는 미미하였다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 연구된 보행자 시간 및 UTIS 차량검지 시스템 등을 고려함과 동시에 preemption 이후 일반차량의 지체를 최소화하기 위한 전략으로 회복주기 적용시 연동현시 연장 “Dwell” 및 “Add 또는 Subtract”을 이용한 전이방식을 사용하여 비연동축(3개 교차로 미만)과 연동축(5개 교차로 이상)에 대해 긴급차량과 일반차량에 대해 평가해 보았다.

Ⅲ. 우선신호 제어전략

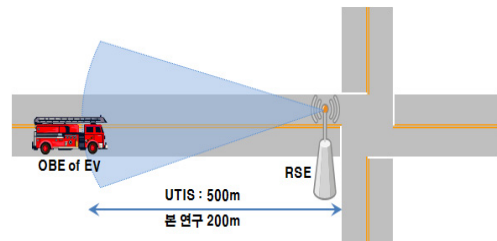
Preemption 제어전략에서는 우선신호 적용을 위한 차량 검지시스템, 보행자와의 상충을 최소화 할

수 있는 최소녹색시간 및 긴급차량의 교차로 통과를 위한 현시전략, 그리고 preemption 제어 이후 일반차량의 지체를 최소화 할 수 있는 회복(Recovery)에 대한 전략에 대해 연구를 수행하였다.

1. 차량검지 시스템

일반적으로 교통 신호제어에서 사용되는 차량 검지기는 루프 검지기(Inductive Loop Detection) 불특정 다수의 차량을 검지하는 방식이다. 그러나 최근 통신체계의 발전과 UTIS(RSE, OBE, CNS) 사업 등을 통해 개별차량에 대한 검지가 가능해 졌다. UTIS 무선 주파수 사용을 살펴보면, OBE용 채널은 5,725~5,825MHz 대역을 사용하여 RSE와 통신할 수 있다. 또한 이는 일반적인 교차로의 경우 통신영역이 약 500m에 달하여 기존 ETC용 DSRC의 통신영역인 30m보다 월등히 넓어졌다. 따라서 교차로 상류부 긴급차량 진입 여부를 기존보다 빨리 파악할 수 있는 장점이 있다[10].

그러나 무선통신의 특성상 가시거리에 가로수, 건물, 그리고 기타 지장물 등이 존재하면 통신제약이 발생할 수 있다. 이에 본 연구에서는 긴급차량의 통신영역을 최대 200m로 설정하여 사용하였다. UTIS에서는 OBE와 RSE는 매초마다 차량의 위치 및 시간 등을 송수신하기 때문에 현장 적용상에 문제는 없을 것으로 판단된다.



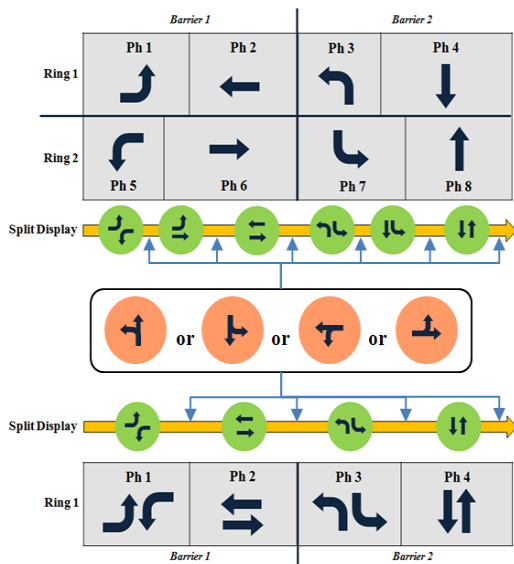
〈그림 2〉 차량 검지시스템

〈Fig. 2〉 Vehicle detecting system at UTIS

2. 현시전략

국내 대부분의 4지 교차로에서는 dual-ring 체계를 이용하여 현시를 표출하고 있다. 그러나 일부 구

도심 등에서는 비정형적인 5지 이상의 교차로가 존재하여 single-ring을 이용한 현시표출이 사용되고 있다. 또한 preemption의 특성상 긴급차량이 교차로를 통과할 수 있도록 대기차량을 소거할 필요성이 요구되며, 이를 위해서는 긴급차량 접근차로의 좌회전 및 직진 이동류의 overlap 현시가 요구된다. 따라서 본 연구에서 사용되는 preemption 현시전략은 single-ring 또는 dual-ring 모두에서 사용가능한 현시삽입(phase insert) 방법을 사용하였다.



<그림 3> Preemption 현시전략(Phase Insert)
(Fig. 3) Preemption phase strategy(Phase Insert)

삽입된 현시는 좌회전과 직진의 overlap 현시로 구성하였다. Preemption 수행모드에서는 RSE를 통해 긴급차량의 접근을 확인하면, 최소녹색시간(보행자 녹색시간) 종료 이전에는 최소녹색시간을 보장하며, 최소녹색시간이 종료되는 시점 이후 preemption 현시를 삽입할 수 있도록 하였다.

3. 회복(Recovery)

일반적으로 긴급차량 preemption 신호제어를 수행하게 되면, 긴급차량의 통행시간 및 지체는 감소하게 되나 일반차량의 통행시간 및 지체는 증가하

게 된다. 따라서 preemption 이후 이를 최소화하기 위한 회복 전략이 필요하다. 기존 국외연구에서는 Smooth 또는 Short Way 방법이 타 전이 방식에 비해 우수하다고 평가 하였다. 이러한 방식은 Add 또는 Subtract 전이를 통해 “평활(smooth)”하게 빠른 시간내에 전이를 마치기 위한 방법이다. 평활화의 함축적 의미는 여러 주기로 전개되는 긴 조정과 Add에 의한 단일 주기를 보정하기 위한 전이 방식이다. 본 연구에서는 “Dwell” 및 “Add 또는 Subtract”을 이용하여 전이에 대해 검토하였다.

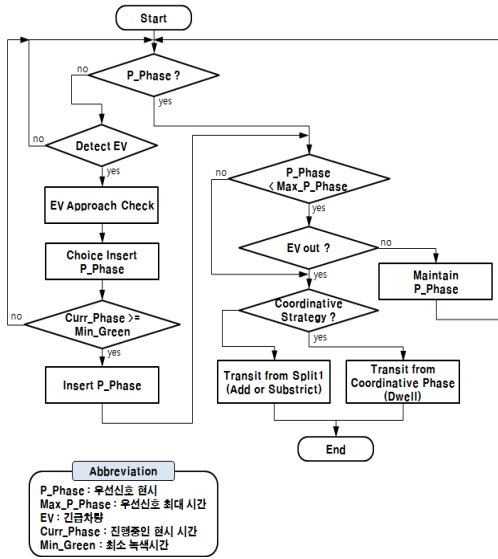
4. Preemption 알고리즘

앞서 제시된 차량 검지시스템, 현시전략, 그리고 회복 등을 고려하여 긴급차량 preemption 알고리즘을 개발하였다. 우선 본 긴급차량 preemption 신호 제어에서는 긴급차량의 검지기 우선되어야 하며, 이를 기반으로 검지된 차량의 접근방향별 긴급차량 현시 삽입을 선택하게 된다.

차량검지 및 삽입 현시가 결정되면, 현재 진행 중인 현시의 최소녹색 여부를 판단하여 보행자와의 상충을 최소화하여 긴급차량 현시를 삽입한다. 이후 차량이 교차로를 통과하거나 삽입현시의 최대녹색시간에 도달하게 되면 회복주기로 전이하게 된다. 이때 삽입현시의 최대 녹색시간을 사용하는 이유는 통신에 의한 차량검지가 원활하지 않거나, 검지영역 내에 긴급차량이 긴급업무를 수행하게 되면, 불필요한 삽입현시 시간의 증가로 교차로 지체를 증가하게 되는 것을 방지하기 위해서이다.

삽입된 긴급차량의 우선현시가 종료되는 시점에서 해당 신호교차로가 연동축선 상에 존재하게 되면, 연동현시를 최대로 증가시켜 연동효과를 극대화 하며 기존 주기로 회복하게 하는 방식을 취하였다. 또한 연동축선 상에 존재하지 않는 교차로인 경우에는 주기의 첫 번째 현시로 돌아가 Add 또는 Subtract을 이용하여 기존 주기로 회복하도록 하였다.

다음 <그림 4>는 이러한 preemption 알고리즘의 흐름도이며, 세부적인 운영 변수는 다음 장의 모의 실험에서 설명하였다.



〈그림 4〉 Preemption 알고리즘
(Fig. 4) Preemption algorithm

IV. 모의실험

본 연구에서 개발된 preemption 알고리즘을 평가하기 위해 대전에 위치한 2개 지역에 대해 모의실험을 수행하였다. 모의실험은 모형구축 및 정산과정을 거쳐 기존 신호시스템과의 비교 평가를 수행하였다.

1. 분석모형 선택 및 평가지표

본 연구의 preemption 알고리즘을 구현 평가하기 위해 가용한 교통류 분석프로그램은 VISSIM, PARAMICS, 그리고 CORSIM 등이 있으나, 알고리즘의 구현 및 적용이 용이하며 다양한 평가지표를 확인할 수 있는 VISSIM을 이용하였다. 개발된 긴급차량의 preemption 알고리즘은 VISSIM의 VAP을 이용하여 구현하였으며, 여기에는 긴급 현시 삽입, 최소녹색시간 판단, 그리고 주기 회복 등이 모두 포함된다.

또한 기존 시스템과의 비교를 위한 평가지표는 긴급차량의 통행시간, 일반차량의 통행시간 및 지체 등이 사용되었다.

2. 대상지 선정 및 모의실험 구축

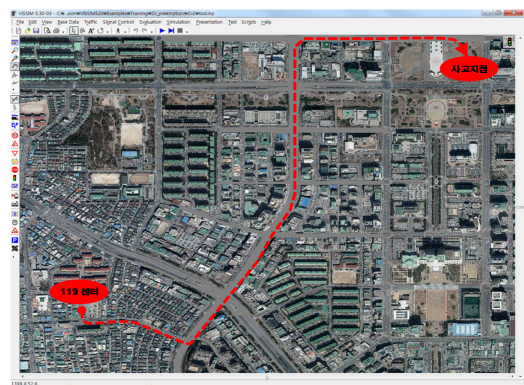
본 연구는 대전시 소방서에서 실제 긴급차량이 출동한 경로와 동일한 지역을 2군데 선정하였다. 또한 동일 출동 경로를 일반차량을 통해 통행시간을 조사하여 모의실험 구축 및 평가에 필요한 정산과정을 수행하였다.

2.1 대상지 선정

긴급차량의 preemption 영향을 검토하기 위해 대전시 삼성 119안전센터에서 삼성동 주변의 실제 출동 경로(Case1: 비연동축)와 갈마 119안전센터에서 둔산2동 출동 경로(Case2: 연동축)를 본 연구의 대상으로 선정하였다.



〈그림 5〉 삼성 119안전센터에서 삼성동 출동 경로
(Fig. 5) The route of fire engine of case 1



〈그림 6〉 갈마 119안전센터에서 둔산2동 출동 경로
(Fig. 6) The route of fire engine of case 2

〈표 1〉 대상지 교차로 교통량
 〈Table 1〉 Traffic volume of case study areas

| 교차로명 | | EB | | | | SEB | | | | SWB | | | | NWB | | | | NEB | | | |
|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | RL | LT | TH | TR | RL | LT | TH | TR | RL | LT | TH | TR | RL | LT | TH | TR | RL | LT | TH | TR |
| 삼성동 | 홍도육교 | 147 | 220 | 293 | 220 | 440 | 150 | 88 | 202 | 128 | 451 | 272 | 620 | 123 | 123 | 861 | 123 | 189 | 503 | 126 | 63 |
| | 삼성네거리 | - | - | - | - | - | 139 | 399 | 95 | - | 280 | 784 | 56 | - | 209 | 861 | 160 | - | 137 | 637 | 137 |
| 교차로명 | | EB | | | WB | | | NB | | | SB | | | | | | | | | | |
| | | LT | TH | TR | LT | TH | TR | LT | TH | TR | LT | TH | TR | | | | | | | | |
| 둔산동 | 큰마을 | 119 | 842 | 30 | 408 | 326 | 286 | 740 | 740 | 370 | 52 | 107 | 20 | | | | | | | | |
| | 은하수 | 61 | 164 | 225 | 134 | 288 | 58 | 6 | 70 | 3 | - | 143 | 8 | | | | | | | | |
| | 파랑새 | - | 123 | 228 | - | 350 | 350 | - | 108 | 7 | 11 | 117 | 8 | | | | | | | | |
| | 방죽 | - | 507 | 143 | 196 | 641 | 53 | 12 | 111 | 22 | - | 115 | 10 | | | | | | | | |
| 정부청사역 | | 297 | 450 | 153 | 253 | 660 | 187 | 10 | 67 | 6 | 117 | 1,658 | 176 | | | | | | | | |

이 두 곳은 대전시 주요 도심지에 위치하여 차량의 통행이 매우 많으며, 신호현시 체계 등이 single 또는 dual-ring으로 운영되고 있으며, 3지, 4지, 그리고 6지 교차로로 구성되어 있어 다양한 형태의 신호교차로의 적용여부를 동시에 검토할 수 있다.

2.2 대상교차로 자료수집

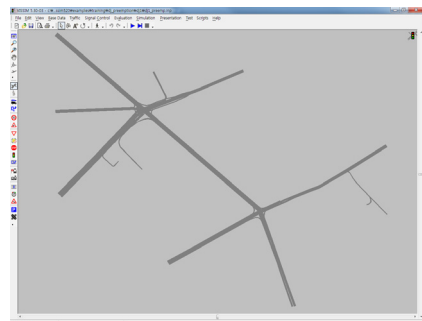
연구대상의 네트워크를 구축하기 위한 신호현시 및 교통량에 대하여 오후 첨두시간에 조사를 수행하였다. 그 결과는 <표 1> 및 <표 2>와 같다.

〈표 2〉 대상지 교차로 신호현시
 〈Table 2〉 Phase sequences & parameters of case study networks

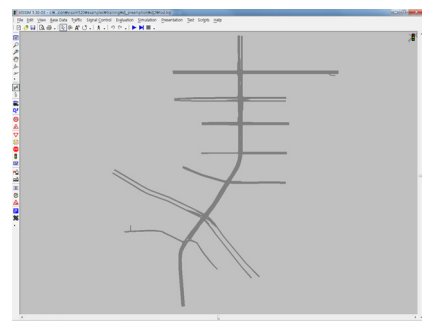
| 구분 | 교차로명 | 현시(초) | | | | | | 주기(초) |
|--------------------|---------|---------|---------|---|---|---|-----|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 삼성119 ~ 삼성동 | 홍도육교 | ↖ ↗ ↘ ↙ | ↘ ↙ ↖ ↗ | - | - | - | 160 | |
| | 삼성네거리 | ↖ ↗ ↘ ↙ | ↘ ↙ ↖ ↗ | - | - | - | 160 | |
| 갈마119 ~ 둔산2동 | 큰마을 | ↖ ↗ ↘ ↙ | ↘ ↙ ↖ ↗ | ↔ | ↔ | - | 160 | |
| | 은하수 | ↖ ↗ ↘ ↙ | ↘ ↙ ↖ ↗ | - | - | - | 160 | |
| | 파랑새 | ↖ ↗ ↘ ↙ | ↘ ↙ ↖ ↗ | - | - | - | 160 | |
| | 방죽 | ↖ ↗ ↘ ↙ | ↘ ↙ ↖ ↗ | ↔ | ↔ | - | 160 | |
| 정부청사역 | ↖ ↗ ↘ ↙ | ↘ ↙ ↖ ↗ | ↔ | ↔ | ↔ | ↔ | 160 | |

2.3 네트워크 구축

연구의 대상지인 비연동축(삼성동) 네트워크와 연동축(둔산동) 네트워크는 VISSIM을 이용하여 <그림 7>과 같이 구축하였다. 구축 네트워크는 실제 긴급차



a) 삼성 119안전센터에서 삼성동 모형구축



b) 갈마 119안전센터에서 둔산2동 모형구축

〈그림 7〉 VISSIM을 이용한 모의실험 모형구축
 〈Fig. 7〉 The layout of the study segment modeled using VISSIM

량이 출동한 경로(1,810m 및 2,870m)를 포함할 수 있도록 구성하였으며, 현장에서 적용되고 있는 회전금지, 차로수, 그리고 도류화 등을 모두 반영하였다.

3. 정산 및 검증

모의실험의 객관적이고 정확한 분석결과를 얻기 위해 구축된 네트워크에 대한 정산(calibration) 과정을 수행하였으며, 모형의 검증(validation)을 진행하였다. 정산 및 검증을 위한 지표로는 통행시간을 사용하였으며, 이는 네트워크가 길고 복잡하여 교차로 지체 등과 같은 현장지표를 측정하는데 제한이 있었기 때문이다.

3.1 네트워크 정산

정산을 위한 지표인 통행시간을 측정하기 위해 두 지역에서 실험차량을 이용하였다. 실험차량은 각각 긴급차량이 운행한 경로와 동일 경로를 10회 반복 주행하여 통행시간을 산출하였다. 그 결과는 다음 <표 3>과 같다.

실험차량을 이용한 통행시간의 표준편차가 큰 이유는 신호제어에 의한 교차로 정체에 의한 것으로 판단된다.

우선 기본 네트워크에 교통량과 기하구조, 그리고 신호운영 변수 등을 입력하여 비연동축(삼성동) 모형을 15회씩 반복 수행하였다. 그 결과 비연동축(삼성동)의 통행시간 평균은 162.6초, 표준편차는 38.5로 분석되었다.

이는 통행시간이 실측값 보다 증가한 것으로 확인되었으나, 실측값과 모의실험 결과를 통계프로그램인 SPSS12.0을 이용하여 독립표본 T검정(95%신뢰수준)을 통해 분석해본 결과 유의확률이 0.375로

<표 3> 실험차량을 이용한 실측 통행시간
<Table 3> Travel time obtained from probe vehicle

| 구분 | 통행시간(초) | |
|------|---------|--------|
| | 삼성동 일대 | 둔산동 일대 |
| 평균 | 149.7 | 390.8 |
| 표준편차 | 26.1 | 42.6 |

<표 4> 정산 전후 VISSIM 변수
<Table 4> Parameters to be calibrated

| 구분 | 변수 조정치(m) | | | |
|---------------------|-----------|-----|--------|-----|
| | 삼성동 일대 | | 둔산동 일대 | |
| | 전 | 후 | 전 | 후 |
| Emergency stop | 5 | 50 | 50 | 40 |
| Lane changing | 200 | 400 | 400 | 300 |
| Look ahead distance | 250 | 500 | 500 | 500 |

<표 5> 정산후 모의실험 통행시간
<Table 5> The results of travel time after calibration

| 구분 | 통행시간(초) | | | |
|------|---------|-------|--------|-------|
| | 삼성동 일대 | | 둔산동 일대 | |
| | 전 | 후 | 전 | 후 |
| 평균 | 162.6 | 152.3 | 314.3 | 331.9 |
| 표준편차 | 38.5 | 33.9 | 79.5 | 95.7 |

통계적인 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다. 그러나 실측치 및 모의실험 결과의 표준편차가 큰 것을 감안하여 정밀도를 높이기 위해 VISSIM의 변수를 조정하였다.

또한 비연동축(삼성동)의 조정된 변수를 이용하여 연동축(둔산동)의 모의실험을 수행한 결과 통행시간은 평균 314.3초, 표준편차는 79.5초로 나타났다. 이는 실측값과의 독립표본 T검정(95%신뢰수준) 결과 유의확률 0.008로 연동축(둔산동)의 통행시간 차이는 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 따라서 이 둘의 차이를 극복하기 위해 VISSIM의 변수 값을 조정하였다.

조정에 사용된 변수 및 정산 후 모의실험 통행시간 결과는 <표 4> 및 <표 5>와 같다.

3.2 네트워크 검증

모형의 검증을 위한 방법으로 본 연구에서는 통계적 검정을 사용하였다. 검증을 위한 지표로 사용된 통행시간은 현장의 실측값을 사용하였으나, 이는 모집단인 해당시간에 해당지역을 통과한 전수 차량을 관측한 값이 아니라 실험차량을 통해 얻어

〈표 6〉 삼성동 독립표본 T검정 결과
(Table 6) The results of independent sample t-test of case1

| | Levene의 등분산 검정 | 평균의 동일성에 대한 t-검정 | | | | | |
|------|-------------------|------------------|----------|-------|--------|--------------|-------------|
| | | F | 유의 확률 | t | 자유도 | 유의확률 (양쪽) | 차이의 표준오차 |
| 통행시간 | 등분산이 가정됨 | 1.467 | .239 | -.204 | 21 | .840 | 12.96325 |
| | 등분산이 가정되지 않음 | | | -.211 | 20.996 | .835 | 12.51860 |

〈표 7〉 둔산동 독립표본 T검정 결과
(Table 7) The results of independent sample t-test of case2

| | Levene의 등분산 검정 | 평균의 동일성에 대한 t-검정 | | | | | |
|------|-------------------|------------------|----------|-------|--------|--------------|-------------|
| | | F | 유의 확률 | t | 자유도 | 유의확률 (양쪽) | 차이의 표준오차 |
| 통행시간 | 등분산이 가정됨 | 10.306 | .004 | 1.808 | 21 | .085 | 32.59601 |
| | 등분산이 가정되지 않음 | | | 1.981 | 17.433 | .064 | 29.75035 |

진 값이다. 따라서 현장에서 수집된 통행시간은 집계치로 사용되기에는 제한적이다. 또한 현장실측치와 모의실험 결과가 동일 모집단이 아니기 때문에 대응표본 T검정의 분석은 제한적이다.

따라서 본 검증에서는 일표본 T검정 및 대응표본 T검정이 아닌 독립표본 T검정을 실시하였다. 조정된 변수를 이용하여 산출된 통행시간과 실측 통행시간의 독립표본 T검정 결과(신뢰수준 95%)는 다음 <표 6> 및 <표 7>과 같이 분석되었다.

이를 살펴보면, 비연동축(삼성동)의 경우 유의확률은 0.840, 연동축(둔산동)은 0.064로 현장 실측값과 모의실험 결과의 통계적 차이는 없는 것으로 분석되었다.

V. 효과분석

모의실험에서 구축된 네트워크를 기반으로 현재 운영되고 있는 신호운영체계 상태에서 긴급차량이 출동한 대안과 본 연구에서 제시한 preemption 신호

제어 상황에서 긴급차량이 출동한 대안에 대해 비교 분석을 수행하였다. 분석 결과는 긴급차량의 통행시간과 일반차량의 네트워크 평균지체에 대해 비교 분석을 수행하였다.

Preemption 신호제어에서는 보행자 시간을 고려한 최소녹색시간을 보장할 수 있도록 하였으며, 주기 회복시 전이방식은 “Dwell” 및 “Add 또는 Subtract”을 이용하였다.

1. 긴급차량 효과분석

긴급차량의 효과척도로는 통행시간을 사용하였다. 현재 대전시에서 사용 중인 고정식 신호제어에서 긴급차량이 출동할 때를 가정한 모의실험과 본 연구에서 제안한 preemption 신호제어를 이용하였을 경우에 대하여 긴급차량의 통행시간 및 평균속도를 산출하였다. 이때 각 모의실험은 랜덤넘버를 달리 바꿔 15회 수행하였으며, 그 결과는 <표 8>과 같다.

그 결과 “Add 또는 Subtract” 방식으로 주기 회복을 수행하였을 경우, 비연동축(삼성동)의 긴급차량 통행시간은 약 37% 감소, 속도는 49%증가 하였으며, 연동축(둔산동)의 통행시간은 약 43% 감소, 속도는 84% 증가한 것을 확인하였다. 또한 “Dwell” 방식으로 기 회복을 수행하였을 경우, 비연동축(삼성동)의 긴급차량 통행시간은 약 31% 감소, 속도는 40%증가 하였으며, 연동축(둔산동)의 통행시간은 약 46% 감소, 속도는 76% 증가한 것으로 나타났다.

〈표 8〉 긴급차량 모의실험 결과
(Table 8) Travel time and average speeds of emergency vehicle

| 구분 | 제어모드 | 기존 고정식 | Preemption | | 고정식 대비 증감률(%) | |
|-----|------------|--------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| | | | Add or Subtract | Dwell | Add or Subtract | Dwell |
| 삼성동 | 통행시간(초) | 152.3 | 96.2 | 105.5 | -36.8 | -30.7 |
| | 평균속도(km/h) | 44.6 | 66.4 | 62.4 | +48.9 | +39.9 |
| 둔산동 | 통행시간(초) | 331.9 | 188.2 | 179.2 | -43.3 | -46.0 |
| | 평균속도(km/h) | 25.7 | 47.3 | 45.3 | +84.0 | +76.1 |

〈표 9〉 삼성동 긴급차량 분산분석 결과
 (Table 9) The results of ANOVA test of emergency vehicle of case1

| (I) Control | (J) Control | 평균차 (I-J) | 표준 오차 | 유의 확률 | 95% 신뢰구간 | |
|-------------|-------------|-----------|--------|-------|----------|---------|
| | | | | | 하한값 | 상한값 |
| TOD | Preem-Add/S | 56.115 | 9.708 | 0.001 | 31.231 | 80.999 |
| | Preem-Dwell | 46.86 | 10.411 | 0.001 | 20.130 | 73.501 |
| Preem-Add/S | TOD | -56.115 | 9.708 | 0.001 | -80.999 | -31.231 |
| | Preem-Dwell | -9.299 | 10.411 | 0.674 | -35.984 | 17.386 |
| Preem-Dwell | TOD | -46.816 | 10.411 | 0.001 | -73.501 | -20.130 |
| | Preem-Add/S | 9.299 | 10.411 | 0.674 | -17.386 | 35.984 |

〈표 10〉 둔산동 긴급차량 분산분석 결과
 (Table 10) The results of ANOVA test of emergency vehicle of case2

| (I) Control | (J) Control | 평균차 (I-J) | 표준 오차 | 유의 확률 | 95% 신뢰구간 | |
|-------------|-------------|-----------|--------|-------|----------|---------|
| | | | | | 하한값 | 상한값 |
| TOD | Preem-Add/S | 143.676 | 25.800 | 0.001 | 77.449 | 209.904 |
| | Preem-Dwell | 152.654 | 28.523 | 0.001 | 79.437 | 255.872 |
| Preem-Add/S | TOD | -143.676 | 25.800 | 0.001 | -209.904 | -77.449 |
| | Preem-Dwell | 8.977 | 28.523 | 0.952 | -64.239 | 82.195 |
| Preem-Dwell | TOD | -152.654 | 28.523 | 0.001 | -255.872 | -79.437 |
| | Preem-Add/S | -8.977 | 28.523 | 0.952 | -82.195 | 64.239 |

모의실험 결과의 통계적 유의성을 검토하기 위하여 제어기법별 통행시간에 대해 일원배치 분산분석을 수행하였다. 그 결과 비연동축(삼성동) 및 연동축(둔산동)에서 기존 고정식 대비 preemption 제어가 긴급차량 통행시간 단축에 95% 신뢰수준에서 효과가 있는 것으로 확인되었으며, preemption의 주기 회복방법 간의 차이는 없는 것으로 나타났다. 이에 대한 통계분석 결과는 다음 <표 9> 및 <표 10>과 같다.

본 연구에서 제시한 preemption 신호제어를 이용할 경우 주기회복 방식과 상관없이 긴급차량의 통행시간 감소에 효과가 있을 것으로 판단된다.

2. 일반차량 효과분석

Preemption 신호제어에서 나타날 수 있는 문제점은 일반차량의 지체가 증가할 수 있다는 것이다. 그러나 본 연구에서 제시한 preemption 신호제어 운영에서는 이를 최소화하기 위한 방안으로 preemption 현시 이후 “Add 또는 Subtract”과 “Dwell” 방법을 이용하여 그 영향을 최소화 하였다. 그에 따른 모의실험 결과는 다음 <표 11>과 같이 나타났다.

〈표 11〉 일반차량 모의실험 결과
 (Table 11) Travel time and average speeds of non-emergency vehicles

| 구분 | 제어모드 | 기존 고정식 | Preemption | | 고정식 대비 증감률(%) | |
|-----|------------|--------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| | | | Add or Subtract | Dwell | Add or Subtract | Dwell |
| 삼성동 | 평균지체(초/대) | 83.5 | 84.1 | 111.4 | +0.7 | +33.5 |
| | 평균속도(km/h) | 28.3 | 28.2 | 23.9 | -0.4 | -15.7 |
| 둔산동 | 평균지체(초/대) | 114.4 | 119.6 | 115.0 | +4.5 | +0.5 |
| | 평균속도(km/h) | 25.0 | 24.3 | 25.0 | -2.8 | -0.2 |

그 결과 기존 고정식 대비 preemption 신호를 사용할 경우 일반차량의 평균지체는 증가하는 것으로 나타났다. 특히 비연동축(삼성동)의 경우 preemption 이후 “Dwell” 방식을 취할 경우 평균지체가 33.5% 까지 증가하기도 하였다. 그러나 연동축(둔산동)의 경우는 0.5%미만의 지체 증가만 확인되었다.

이를 보다 객관적으로 검증하기 위해 평균지체에 대해 분산분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음 <표 12> 및 <표 13>과 같이 나타났다.

〈표 12〉 삼성동 일반차량 분산분석 결과
 (Table 12) The results of ANOVA test of non-emergency vehicle of case1

| (I) Control | (J) Control | 평균차 (I-J) | 표준 오차 | 유의 확률 | 95% 신뢰구간 | |
|-------------|-------------|-----------|-------|-------|----------|---------|
| | | | | | 하한값 | 상한값 |
| TOD | Preem-Add/S | -0.523 | 3.358 | 0.988 | -9.046 | 7.999 |
| | Preem-Dwell | -27.913 | 3.358 | 0.001 | -36.436 | -19.390 |
| Preem-Add/S | TOD | 0.523 | 3.358 | 0.988 | -7.999 | 9.046 |
| | Preem-Dwell | -27.390 | 3.358 | 0.001 | -35.913 | -18.867 |
| Preem-Dwell | TOD | 27.913 | 3.358 | 0.001 | 19.390 | 36.436 |
| | Preem-Add/S | 27.390 | 3.358 | 0.001 | 18.867 | 35.913 |

〈표 13〉 둔산동 일반차량 분산분석 결과
 (Table 13) The results of ANOVA test of non-emergency vehicle of case1

| (I) Control | (J) Control | 평균차 (I-J) | 표준 오차 | 유의 확률 | 95% 신뢰구간 | |
|-------------|-------------|-----------|-------|-------|----------|--------|
| | | | | | 하한값 | 상한값 |
| TOD | Preem-Add/S | -5.215 | 2.100 | 0.056 | -10.54 | 0.115 |
| | Preem-Dwell | -0.642 | 2.100 | 0.954 | -5.97 | 4.689 |
| Preem-Add/S | TOD | 5.215 | 2.100 | 0.056 | -0.115 | 10.546 |
| | Preem-Dwell | 4.573 | 2.100 | 0.106 | -0.757 | 9.904 |
| Preem-Dwell | TOD | 0.642 | 2.100 | 0.954 | -4.689 | 5.973 |
| | Preem-Add/S | -4.573 | 2.100 | 0.106 | -9.904 | 0.757 |

이를 살펴보면, 비연동축(삼성동) 및 연동축(둔산동)에서 preemption을 적용이후 주기 회복시 “Add 또는 Subtract”을 사용할 경우 고정식 대비 일반차량의 지체변화는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 “Dwell”을 사용할 경우 비연동축(삼성동)에서는 통계적으로 유의성을 갖는 지체변화가 존재하는 것으로 분석되었다.

VI. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 UTIS 사업에서 사용되는 통신기술을 이용하여 긴급차량의 통행시간을 감소시킬 수 있는 preemption 알고리즘을 개발하였다. 개발된 preemption에서는 현시삽입 방법을 이용하여, single 및 dual-ring에서 구현할 수 있는 현시전략과 보행자 횡단시간을 보장하기 위한 전략, 그리고 일반차량의 지체를 최소화하기 위한 이전주기 복귀 전략을 사용하였다.

개발된 preemption 알고리즘을 평가하기 위해 대전에 위치한 두개의 네트워크를 대상으로 모의실험을 수행하였으며, 이를 기반으로 기존 고정식 신호 제어 방식과 preemption 제어 방식에 따른 긴급차량 및 일반차량의 효과를 검증해 보았다.

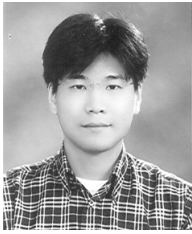
그 결과 긴급차량의 경우 “Add 또는 Subtract”을 사용할 경우 36.8~43.3%, “Dwell” 방식을 사용할 경우 30.7~46.0%의 통행시간 감소가 확인되었으며, 이는 통계적으로 유의미한 차이로 검증되었다. 일반차량의 경우, 연동축(둔산동)에서는 “Dwell” 방식이 긴급차량 통행시간 및 일반차량 지체 감소 측면에서 효과적일 것으로 사료되며, 비연동축(삼성동)에서는 “Add 또는 Subtract”의 방식이 우수할 것으로 판단된다. 그러나 비연동축에서 “Dwell”을 사용할 경우 일반차량의 지체가 고정식 대비 약 30% 정도 증가한 것이 확인되었기 때문에 연동 및 비연동 축에 대한 명확한 구분이 없을 경우 “Dwell” 방식의 사용은 신중히 고려되어야 할 것이다.

향후 비연동 구간에서 “Dwell” 방식 사용상의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 주기 보상(compensation) 및 최대 허용 교통량 등에 대한 보다 세부적인 연구가 추가되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 소방방재청, “2011년도 구조활동 실적분석”, 구조구급과, pp.15, 2012
- [2] 도로교통공단 교통과학연구원, “도시교통정보시스템(UTIS) 표준 S/W 개발 및 활용방안”, 2010
- [3] 박현준, 서울대학교 환경대학원, 석사학위, “주요 교차로의 평균지체를 고려한 긴급차량 우선처리 신호모형 개발 : 회복주기의 신호시간 산정을 중심으로”, 2006
- [4] 이재영, 아주대학교, 석사학위, “대기행렬길이 제약조건을 고려한 Preemption 제어 전략에 관한 연구”, 2008
- [5] 양륜호, 아주대학교, 석사학위, “긴급차량 우선신호(preemption) 제어 적용성 평가에 관한 연구”, 2008
- [6] 김상복, 아주대학교, 석사학위, “과포화 교통축에서의 Preemption 신호제어 우회기준 설정 방법론 개발”, 2010
- [7] Bullock, D., Morales, J. M., and Sanderson, B., “Impact of Signal Preemption on the Operation of the Virginia Route 7 Corridor,” Proceedings of the 1999 ITS America Conference, April 19-22, 1999.
- [8] Nelson, E and Bullock, D., “Impact of Emergency Vehicle Preemption on Signalized Corridor Operation: An Evaluation,” The Journal of the Transportation Research Record, vol. 1727, pp.1-11, 2000
- [9] Yun, I., Best, M., and Park, B., “Evaluation of Emergency Vehicle Preemption Strategies on a Coordinated Actuated Signal System Using Hardware-in-the-Loop Simulation,” The 85th TRB Annual Meeting CD-ROM, 2007
- [10] 도로교통공단, 도시교통정보시스템(UTIS) 규격서, 2010

저자소개



박 순 용 (Park, Soon-Yong)

2010년 9월 ~ 현 재 : 단국대학교 토목환경공학과 연구원
 2010년 8월 : 단국대학교 토목환경공학과 교통공학 박사과정 수료
 2008년 4월 : 한국교통연구원 첨단교통기술연구실 연구원
 2004년 8월 : 단국대학교 토목공학과 교통공학 석사
 2000년 2월 : 단국대학교 토목공학과 졸업



김 동 녕 (Kim, Dong-Nyong)

1984년 9월 ~ 현 재 : 단국대학교 토목환경공학과 교수
 1990년 8월 : 서울대학교 토목공학과 박사
 1982년 2월 : 서울대학교 토목공학과 석사
 1976년 2월 : 서울대학교 토목공학과 졸업



김 명 수 (Kim, Myung-Soo)

1993년 3월 ~ 현 재 : 국립한밭대학교 도시공학과 교수
 1991년 10월 ~ 1993년 2월 : 대전광역시청 전문직연구원
 2008년 3월 ~ 현 재 : 대한교통학회 대전·충청지회장
 1992년 3월 ~ 1999년 2월 : 명지대학교 교통공학과(교통공학박사)
 1989년 3월 ~ 1991년 2월 : 국민대학교 토목공학과(교통공학석사)



이 정 범 (Lee, Jung-Beom)

2009년 4월 ~ 현 재 : 대전발전연구원 도시기반연구실 연구위원
 2009년 3월 ~ 2009년 4월 : 서울시립대학교 연구교수
 2008년 : Rutgers, The State University of New Jersey, 토목공학과(교통공학박사)
 2001년 : 단국대 토목과(교통공학석사)
 1999년 : 단국대 토목과(공학사)