

16TLRP-C  
105654-02

V  
2  
X  
통신 인프라를 활용한 네트워크 신호운영 알고리즘 개발 및 성능검증 최종보고서

2018

국토교통과학기술진흥원

국토교통과학기술진흥원

국토교통과학기술진흥원 R&D Report

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

## 교통물류연구사업 제2차 연도 최종 보고서

R&D /  
16TLRP-C105654-02

### V2X 통신 인프라를 활용한 네트워크 신호운영 알고리즘 개발 및 성능검증 최종보고서

2018. 09 . 16.

주관연구기관 / 한국교통연구원  
공동연구기관 / 아주대학교  
한국과학기술원  
University of Virginia  
한국건설기술연구원  
한양대학교  
(주) 트라콤

국토교통부  
국토교통과학기술진흥원



## 제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

‘V2X 통신 인프라를 활용한 네트워크 신호운영 알고리즘 개발 및 성능검증’(연구개발 기간 : 2016.11.17 ~ 2018 .9.16) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2018 . 09 . 16 .

|          |                        |     |
|----------|------------------------|-----|
| 주관연구기관 / | 한 국 교 통 연 구 원          | (인) |
| 공동연구기관 / | 아 주 대 학 교              | (인) |
|          | 한 국 과 학 기 술 원          | (인) |
|          | University of Virginia | (인) |
|          | 한국건설기술연구원              | (인) |
|          | 한 양 대 학 교              | (인) |
|          | (주) 트 라 콤              | (인) |

|           |       |     |
|-----------|-------|-----|
| 주관연구기관    | 문 영 준 | (인) |
| 공동연구기관책임자 | 이 상 수 | (인) |
|           | 장 기 태 | (인) |
|           | 박 병 규 | (인) |
|           | 장 진 환 | (인) |
|           | 이 상 선 | (인) |
|           | 박 경 국 | (인) |

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.



## <보고서 요약서>

|                                                                                                                                                                                                      |                                                                        |                                          |                             |               |                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|---------------|-------------------------------------------------------|
| 과제 고유 번호                                                                                                                                                                                             | 16TLPP-C105654-02                                                      | 해당 단계<br>연구 기간                           | 2016.11.17.~<br>2018.09.16  | 단계구분          | 2/2                                                   |
| 연구사업명                                                                                                                                                                                                | 중사업명                                                                   | 교통물류연구사업                                 |                             |               |                                                       |
|                                                                                                                                                                                                      | 세부사업명                                                                  |                                          |                             |               |                                                       |
| 연구과제명                                                                                                                                                                                                | 대과제명                                                                   |                                          |                             |               |                                                       |
|                                                                                                                                                                                                      | 세부과제명                                                                  | V2X 통신 인프라를 활용한 네트워크 신호운영 알고리즘 개발 및 성능검증 |                             |               |                                                       |
| 연구책임자                                                                                                                                                                                                | 문 영 준                                                                  | 해당단계<br>참여<br>연구원 수                      | 총:83명<br>내부:83명<br>외부:00명   | 해당단계<br>연구개발비 | 정부 : 780,000 천원<br>기업: 260,000 천원<br>계: 1,040,000 천원  |
|                                                                                                                                                                                                      |                                                                        | 총 연구기간<br>참여<br>연구원 수                    | 총:104명<br>내부:104명<br>외부:00명 | 총 연구개발비       | 정부: 1,500,000 천원<br>기업: 500,000 천원<br>계: 2,000,000 천원 |
| 연구기관명 및<br>소속 부서명                                                                                                                                                                                    | 한국교통연구원<br>아주대학교, 한국과학기술원, University of Virginia,<br>한국건설기술연구원, 한양대학교 |                                          |                             | 참여기업명         | (주)트라콤                                                |
| 위탁연구                                                                                                                                                                                                 | 연구기관명 : 메타빌드(주)                                                        |                                          |                             | 연구책임자 : 이 진 기 |                                                       |
| 요약                                                                                                                                                                                                   |                                                                        |                                          |                             | 보고서 면수        |                                                       |
| 도심지 교차로 네트워크 혼잡을 해결하고자 기존 신호제어 및 운영체계를 획기적으로 개선하기 위한 알고리즘 및 시스템 개발을 하였다. V2X 통신 기반의 네트워크 신호운영 알고리즘 개발과 V2X 통신 사양 및 차량 측위 정확도 요구사항 도출 및 비매설 검지시스템 설계를 하고 이를 통해 HILS 기반의 4세대 신호제어시스템(CoVASS) 설계·구축하였다. |                                                                        |                                          |                             |               |                                                       |



## <국문 요약문>

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |              |               |             |                     |  |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|-------------|---------------------|--|
| 연구의<br>목적 및 내용            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 본 연구는 도심지 교차로 네트워크의 교통류 변화로 발생하는 반복·비반복 상충에 따른 혼잡을 해결하고자 기존 신호제어(Signal Control) 및 운영체계를 획기적으로 개선하기 위해 신호주기(Cycle) 및 현시(Phase) 배정을 실시간 교통류(Traffic flow) 및 차량 맞춤형 데이터를 이용하여 전환하는 기술개발을 목적으로 함</li> <li>- 교차로 네트워크에 최적화된 V2X-i 통신기술과 비매설 검지기 데이터와의 융합을 통한 복합검지체계를 기반으로 nxm 교차로 (2x3 이상) 네트워크 단위 신호제어로 특화된 CoVASS(차세대 신호제어시스템)의 운영·제어 알고리즘 개발 및 시스템 상세 설계</li> <li>- 지점 또는 경로 중심의 신호운영체계 상 한계를 극복하기 위해 도시 내 상습·비상습 교통혼잡을 완화하고 돌발상황에 능동적으로 대응할 수 있는 ‘스마트 신호운영 시스템 개발·구축’을 본 과제의 범위로 설정</li> </ul>                                                                           |              |               |             |                     |  |
| 연구개발성과                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실시간 차량 주행정보 기반 네트워크 신호제어 알고리즘 개발 및 논문, 특허</li> <li>- 교차로 네트워크 지능형 신호제어시스템(H/W, S/W) 시작품</li> <li>- 신호제어시스템 성능시험서, 설계서, 제작사양서 등 기술문서</li> <li>- 교차로 네트워크 신호시스템 요소별 검증기준 및 시험표준(안)</li> <li>- 교차로 네트워크 신호시스템 시험평가 및 검증</li> <li>- 교차로 네트워크 신호운영 시스템 구축 타당성 및 효과분석</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                               |              |               |             |                     |  |
| 연구개발성과의<br>활용계획<br>(기대효과) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 교차로 네트워크 진입차량들의 실제적인 주행 데이터를 반영한 정형 및 비정형 신호제어 알고리즘 및 관련 소프트웨어 라이브러리를 개발함으로써 향후 다음 단계에서 실도로 현장에도 적용할 수 있음</li> <li>- V2X 단말기 보급에 대한 현실적인 기간을 고려하여 영역 검지가 가능한 비매설 검지기 데이터와 융합한 복합검지체계를 통해 V2X 기반 신호교차로 네트워크의 교통류를 실시간으로 검지하도록 알고리즘을 구성함<br/>(특히 3세대 신호제어기와 연계활용 가능)</li> <li>- 새롭게 개발 제시되는 4세대신호제어시스템의 운영제어 알고리즘은 기존 신호제어기의 TOD, 감응/반감응제어 등 모든 기능을 수용함과 동시에 nxm 교차로 단위의 네트워크 제어로 특화하여 V2X-i 및 비매설식 복합검지체계와의 연결을 통해 향후 C-ITS 사업이 보급되는 일부 특정 구간에 실용화가 가능함</li> <li>- 또한 주변의 또 다른 단위 네트워크와의 연계제어가 가능토록 네트워크의 범위를 확장하는 방안을 제시하여 중장기적 R&amp;D로의 단계별 기술개발 및 실용화가 가능함</li> </ul> |              |               |             |                     |  |
| 핵심어<br>(5개 이내)            | 교차로 네트워크                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 교차로 무선통신 시스템 | V2X 기반 복합검지체계 | 4세대 신호제어시스템 | 차량기반 네트워크 신호제어 알고리즘 |  |



## 〈 SUMMARY 〉

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                   |                                                 |                                                                |                           |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Purpose & Contents    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- This research aims to develop the technology on traffic signal control systems for mitigating congestions in the traffic signal intersection networks in accordance with various traffic patterns being regularly or irregularly, which takes into consideration of dynamic assignments of green phase and cycle time with respect to real time vehicle adaptive data in traffic flows</li> <li>- The new signal control algorithms are developed for designing the 4th generation traffic signal control system so called, “Cooperative Vehicle Adaptive Signal Control System (CoVASS)” in order to implement the n x m traffic signal intersections based on the cooperative data from the vehicle utilizing V2X communication for intersections (V2X-i) incorporated with unpaved type of vehicle detection systems, e.g. radar and/or image detectors</li> </ul> |                                                                                   |                                                 |                                                                |                           |
| Results               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Traffic signal control algorithms utilizing vehicle trip trajectory data, including research articles published and intellectual property rights, e.g. patents, etc.</li> <li>- Prototype of CoVASS (H/W &amp; S/W)</li> <li>- CoVASS draft technical documents including performance test requirements, basic design guideline, development specifications, etc.</li> <li>- CoVASS draft test &amp; evaluation documents including standardization, technical regulations, etc.</li> <li>- CoVASS draft documents for implementation feasibility and effectiveness</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                   |                                                 |                                                                |                           |
| Expected Contribution | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Being ready not only for implementation of CoVASS algorithms in the real urban traffic signal intersection networks but also for expanding the size of networks to be implemented in the next step of R&amp;D</li> <li>- Providing a realistic methodology for detecting vehicle adaptive trajectory data utilizing convergence way to V2X communications with unpaved-type of conventional vehicle detection systems, by taking into consideration of V2X market penetrations.</li> <li>- Providing policy issues for implementing CoVASS algorithms into the on-going projects and/or to be planned, for example the modification of COSMOS system led by National Police Agency (NPA), C-ITS Pilot led by Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MoLIT), and K-City Testbed by MoLIT, etc.</li> </ul>                                                     |                                                                                   |                                                 |                                                                |                           |
| Keywords              | Traffic Signal Intersection Networks                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | V 2 X<br>Communication for<br>S i g n a l<br>I n t e r s e c t i o n s<br>(V2X-i) | V2X Convergence<br>Traffic Detection<br>Systems | 4th Generation<br>Traffic Signal<br>Control System<br>(CoVASS) | C o V A S S<br>Algorithms |



# 〈목 차〉

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| 제1장 연구개발과제의 개요 .....                                | 13  |
| 제1절 연구개발 목적 .....                                   | 13  |
| 제2절 연구개발의 필요성 .....                                 | 13  |
| 제3절 연구개발 범위 .....                                   | 14  |
| 제2장 국내외 기술 개발 현황 .....                              | 15  |
| 제1절 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 .....                         | 15  |
| 제2절 국내외 특허 및 기술 개발 동향 .....                         | 16  |
| 제3장 연구 수행 내용 및 성과 .....                             | 18  |
| 제1절 V2X 통신 인프라를 활용한 네트워크 신호제어시스템 개발 .....           | 18  |
| 제2절 HILS 기반 V2X 통신 인프라를 활용한 네트워크 신호제어시스템 성능평가 ..... | 86  |
| 제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....                        | 102 |
| 제1절 목표 달성도 .....                                    | 102 |
| 제2절 관련 분야 기여도 .....                                 | 105 |
| 제5장 연구개발성과의 활용 계획 .....                             | 106 |
| 제6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 .....                    | 107 |
| 제7장 연구개발성과의 보안등급 .....                              | 108 |
| 제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황 .....             | 109 |
| 제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 .....          | 110 |
| 제10장 연구개발과제의 대표적 연구 실적 .....                        | 111 |
| 제11장 기타 사항 .....                                    | 114 |
| 제12장 참고 문헌 .....                                    | 115 |



## 제1장 연구개발과제의 개요

### 제1절 연구개발 목적

- 본 과제는 도심지 교차로 네트워크의 교통류 변화로 발생하는 반복·비반복 상충에 따른 혼잡을 해결하는 데 있어 기존의 신호제어 및 운영체계를 획기적으로 개선하기 위해 신호주기와 현시 배정을 실시간 교통류 및 차량 맞춤형 데이터를 이용하도록 전환하는 기술개발임
- 교차로 네트워크에 최적화된 V2X-i 통신기술과 비매설 검지기 데이터와의 융합을 통한 복합검지체계를 기반으로 nxm 교차로 (2x3 이상) 네트워크 단위 신호제어를 위한 차세대(4G) 신호제어시스템의 운영·제어 알고리즘 개발하고 및 시스템 상세 설계를 제시함

### 제2절 연구개발의 필요성

#### 가. 교통혼잡의 확산

- 교통 혼잡에 따른 사회적 비용은 지속적 증가하여, 2005년 26.9조원이었던 교통혼잡 비용은 2012년 30.3조원으로 증가하였음
- 국내 대도시 도로의 처리용량이 한계에 다다르고 교통혼잡이 일상화되어 막대한 규모의 경제적 손실 발생하고 있으며, 국내 7대 대도시 교통혼잡비용은 2012년 기준 19조원으로 전체의 63.3%에 달함

#### 나. 공급위주 교통정책의 한계 및 교통 SOC 투자 패러다임 변화

- 교통혼잡 해결을 위해 도로의 신설·확장 등 용량증대가 필요하나 막대한 투자재원이 소요되어 단기적 해결에 한계가 있으며 신설 도로건설 공사는 점차 감소하는 추세이나 기존 도로의 유지보수 예산은 늘어날 것으로 전망됨
- 지속적인 도로건설을 통해 도로 용량을 확보해 왔음에도 불구하고 도로 용량의 확보가 차량 수의 증가를 충당하지 못하여 도로 당 교통량은 오히려 더 증가하고 있는 추세를 보이므로, 도심지 교통혼잡 개선을 위해 기존 교통운영 및 관리 시스템의 획기적 대책 마련이 필요함
- 원활한 교통소통을 위한 도로 인프라 개선 및 효율적 운영은 공공부문의 책임이자 주요 역할로써, 현재 복잡하게 연결되어 있는 도로네트워크에서 발생하는 다양한 요구사항을 처리하기 위해 정부차원의 연구개발이 필요함

#### 다. 첨단기술의 등장

- 무선통신, 센서 등 각종 첨단기술이 발전함에 따라 교통관리전략도 과거의 방식에서 탈피하고 첨단기술을 유연하게 수용할 수 있는 새로운 개념의 교통관리 전략 개발이 요구됨

- 수준 높은 도심부 도로 이동성(mobility)을 제공하기 위하여 지능형 신호시스템에 대한 정부주도 연구개발을 통해 지능형 신호시스템 표준모델, H/W 및 S/W 등을 개발함으로써 지능형 신호시스템의 성공적 개발과 원활한 도입을 도모할 수 있음

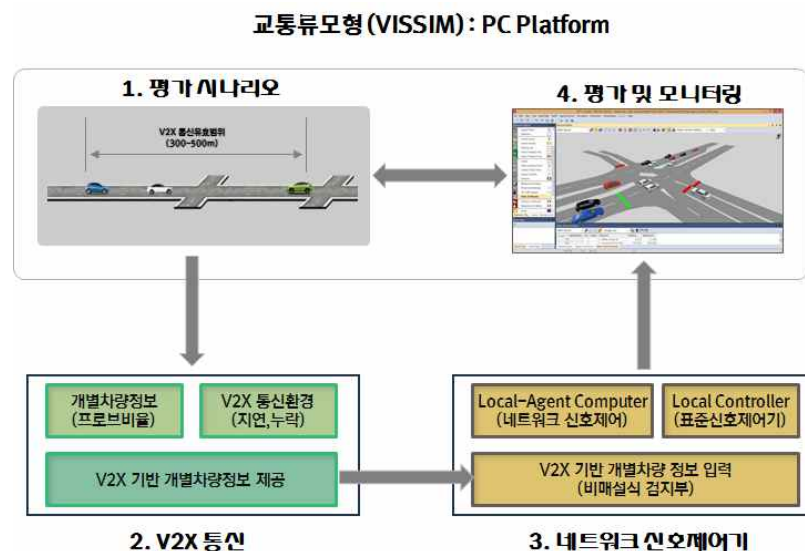
### 제3절 연구개발 범위

#### 가. V2X 통신 인프라를 활용한 네트워크 신호운영 알고리즘 개발

- V2X 통신을 활용한 네트워크 신호운영 알고리즘을 개발하였으며 실시간으로 검지된 교통정보를 바탕으로 신호제어를 위하여 신호주기, 녹색신호시간, 현시 순서를 계산
- 2x3 이상의 네트워크 단위로 확장하여 운영될 때, 다른 지역의 교통상황에 미치는 영향을 고려하여 교통정체가 유발되지 않도록 최적화된 알고리즘 개발
- 미시교통시뮬레이션모형(Microscopic Traffic Simulation Model)을 이용한 신호제어 알고리즘 성능 평가

#### 나. 교차로 네트워크 신호시스템 검증기준 및 시험평가 기술 개발

- 네트워크 기반 개별 차량 소통정보 기반 교차로 신호제어를 위한 검지, 통신 등의 시스템 상세설계 및 요구사항(기능, 성능 등) 도출
- 교차로 네트워크 신호시스템 검증 기준, 평가 항목 및 방법 개발
- 교차로 네트워크 신호시스템 성능 시험·평가
- 도심부 교통혼잡 완화를 위한 개별차량 정보 기반의 단위 교차로 네트워크(2x3이상) 신호교차로 운영방안 도출



[그림 1] 연구내용 개념도

## 제2장 국내외 기술 개발 현황

### 제1절 국내외 연구동향 및 학술적 흐름

- 국내외 연구동향은 크게 신호제어 알고리즘, WAVE, GPS 측위 분야로 나누어 살펴 보았으며, 그 내용은 아래와 같음

<표 1> 국내외 연구 동향

| 구분        | 국내                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 국외                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 신호제어 알고리즘 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2000년대 초 실시간 신호제어시스템인 COSMOS 연구 개발 이후 국가 주도 신호제어 기법 연구 개발이 없었으나 최근 3세대신호제어로 불리는 경찰철의 SMART SIGNAL 신호제어 연구가 진행 중임</li> <li>· 대기행렬 길이를 추정하고 신호를 최적화하는 것을 목표로 돌발 상황 및 능동형 긴급차량에 대한 우선 신호 전략을 포함하여 기존 신호제어를 개선하고 있음</li> <li>- SMART SIGNAL 연구는 실시간 V2X통신을 기반으로 하는 것이 아닌 기존의 신호운영 체계의 고도화기법이며, V2X통신을 기반으로 한 차세대 신호제어 연구는 거의 전무함</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Connected vehicle 자료를 기반으로 신호 제어를 하게 되면 검지기 유지보수 비용이 줄어 전체적인 비용이 감소하고, 한 대 이상의 차량에 소통 실패가 발생하더라도 전체 시스템 성능에는 큰 영향을 주지 않는 장점으로 인해 2000년대 후반부터 V2X통신을 기반으로 한 신호제어 알고리즘 연구가 활발히 진행 중임</li> </ul>                                                     |
| WAVE 통신   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- TTA(한국정보통신협회)에서 5.8GHz 대역 노변기지국과 차량 단말기 간의 근거리 전용 무선 통신 표준에 따라 개발된 제품에 대하여 링크 계층과 애플리케이션 계층 규격과의 일치 여부를 검증하기 위해 시험규격 표준을 제정함</li> </ul>                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 미국 IEEE에서는 최근 V2X 통신모듈과 기존 제정 표준들과의 상호운용성을 평가하고 있으며, 이를 통해 V2V 모듈간의 호환성 및 상호운용성과 기술 검증이나 표준 개발을 지속적으로 수행해 오고 있음</li> <li>- ISO TC204에서 CALM이라 지칭하는 차량용 무선 통신 규격을 제안하였고, 2016년도에 IEEE WAVE 표준과 Harmonization을 이루어서 표준화 과정이 이루어지고 있음</li> </ul>     |
| GPS 측위    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국제민간항공기구(ICAO)는 회원국들에게 위성 기반보강시스템(Satellite Based Augmentation Satellite System: SBAS)의 도입을 2025년까지 추진할 것으로 권고</li> <li>- 국토부에서는 2014년부터 한국형 위성항법보강시스템인 Korea Augmentation Satellite System (KASS) 개발/구축 사업을 진행 중이며 2017년까</li> </ul>                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 현재 SBAS 구축이 완료된 미국의 WAAS (Wide Area Augmentation System), 유럽의 EGNOS(European Geostationary Navigation Overlay Service), 일본의 MSAS(MTSAT satellite based augmentation system), 인도의 GAGAN(GPS aided GEO Augmented Navigation)는 현재 운영되고 있음</li> </ul> |

|  |                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                  |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>지 시스템 설계 및 제작 완료, 2018년 시스템 구축, 2019년 공개서비스를 목표로 하고 있음</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 위치정밀도 향상과 함께 제공정보에 대한 신뢰도 및 무결성이 보장될 수 있는 위성기반보강시스템의 개발이 이루어져 자율주행차량, 무인기를 이용한 다양한 분야에서 정밀한 측위 가능해짐</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 미국의 WAAS는 북미 전역에 안정적인 CAT-1급 GPS 보강 정보 및 거리측정을 위한 신호를 제공하고 있음</li> <li>- 유럽의 EGNOS 수신기가 제공하는 위치 정확도는 3m 이내이고, GPS 위성궤도를 모니터링하고 GPS 위성의 결함을 감지하여 사용자에게 신뢰성을 단계별로 구분하여 제공하고 있음</li> </ul> |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 제2절 국내외 특허 및 기술 개발 동향

○ 신호제어 알고리즘 관련한 특허 동향은 아래와 같음

<표 2> 신호제어 알고리즘 특허 동향

| 특허명                                       | 출원번호            | 출원인           | 내용                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 차량-도로간 통신기반의 차량감지시스템을 이용한교차로에서의 교통신호 제어방법 | 10-2007-0038527 | 학교법인 영광학원     | 주행차량과 도로 변에 설치된 센서 노드 간 통신을 통해 교통정보를 획득하고, 교차로 차로별 차량밀도에 따른 교통신호제어시스템을 이용한 교차로에서의 교통신호 제어방법                                         |
| 유비쿼터스 기반의 교통신호 제어 시스템 및 방법                | 10-2009-0035257 | 서울시립대학교 산학협력단 | 특정구간 내 진입 차량의 정보를 수집하고 상기 정보를 이용하여 교통신호의 초기녹색시간 및 단위연장시간을 연산하고, 이를 통해 교통 현시시간을 가변 제어                                                |
| 교통신호 제어 시스템 및 방법                          | 10-2009-0067507 | 한국과학기술원       | 교통신호제어시스템이 도로상의 특정 구간을 지나는 차량과 통신하며 차로별 일정 시간동안 지나는 차량 수를 카운트하여 획득한 정보에 따라 녹색신호 점등 시간을 제어                                           |
| 독립교차로의 통행시간 기반 신호제어 알고리즘                  | 10-2012-0092731 | 서울시립대학교 산학협력단 | 독립교차로의 통행시간 기반 신호제어 방법 및 장치에 관한 것으로, 무선감지체계에서 얻어지는 개별차량의 구간통행시간 정보를 수집하고 지체 변화량을 산정하여 실시간 신호제어                                      |
| 감응식 교통 신호 제어 방법 및 장치                      | 10-2015-0034007 | 아주대학교 산학협력단   | 차량 감지기로부터 수신된 감지 데이터로부터 교통량을 파악하고, 한 접근로에서 신호현시 초기 종료가 기 설정된 횡수만큼 연속 발생 시, 상기 접근로의 신호 현시 최대녹색시간을 감소시간만큼 줄이는 방식의 감응식 교통 신호 제어 방법이 제공 |

- V2X 통신 관련하여 IEEE 1609.2 보안 칩을 제외한 WAVE 통신 핵심 칩은 수입에 의존하고 있으며, 국내에서는 수입 칩을 이용하여 통신 모듈 개발에 국한되어 있음

<표 3> V2X 통신 관련 국내외 기술

| 기관명                 | 기술 내용                                                                   |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| [국내] 전자통신연구원        | · 정보통신부에 VMC과제 및 국토해양부에 스마트 하이웨이 과제를 통해 WAVE 차량 단말기 기술 개발               |
| [국내] 전자부품연구원        | · 산업통상자원부의 차량통신 핵심 부품 기술 개발 지원 및 국토해양부의 스마트 하이웨이 과제를 통한 WAVE 노변장치 기술 개발 |
| [국외] ARADA          | · Locomate 라는 제품군을 가지고 OBU, RSU 개발<br>· Multi-channel 동기화 서비스를 제공       |
| [국외] Cohda Wireless | · MK-X 라는 제품군을 가지고 OBU, RSU 개발<br>· Dual Radio & Antenna 를 지원           |

- GPS 국가별 특허 출원 현황을 보면 미국이 가장 많은 특허를 출원하였으며, 또한 국내 외 다른 선진국에서도 수많은 특허들이 출원되고 있음
- 보행자 검지 관련하여 국내외에서 여러 기술들이 개발되었음
  - (영국 AGD 226) 도플러 레이더 기술을 활용한 양방향 보행자 검지기는 높이 3-5m 사이에 설치되어 폭 6m, 길이 8-6m 영역 검지 가능하고, 횡단보도 내 보행자 검지 및 자전거 이용자 검지 등에 특화
  - (벨기에 C-Walk) CMOS 센서와 영상 감지의 장점을 결합한 보행자 검지기는 스테레오 비전 비디오 영상 처리 기술을 이용하여 지정 구역(약 6m) 내의 보행자 검지 및 모니터링이 가능하고, 설정된 구역 내에서 횡단 보행자를 검지하여 보행자 녹색신호 시간 자동 연장
  - (미국 J-5) CMOS 센서와 영상 감지의 장점을 결합한 보행자 검지기는 횡단보도에서 대기하는 보행자와 지나가는 보행자를 구분하여 감지하고, 횡단보도를 건너는 보행자 속도를 측정하여 보행신호 시간 조정
  - (한국 대경이앤씨) 영상을 분석해 대기 중인 보행자와 지나가는 사람을 구분하고, 검지 구역 내 횡단 보행자를 인식하여 음성으로 안내하고, 적색신호에 보행자가 차도에 진입하면 위험 안내방송하며 적외선 IR조명으로 야간 시인성을 향상시킴

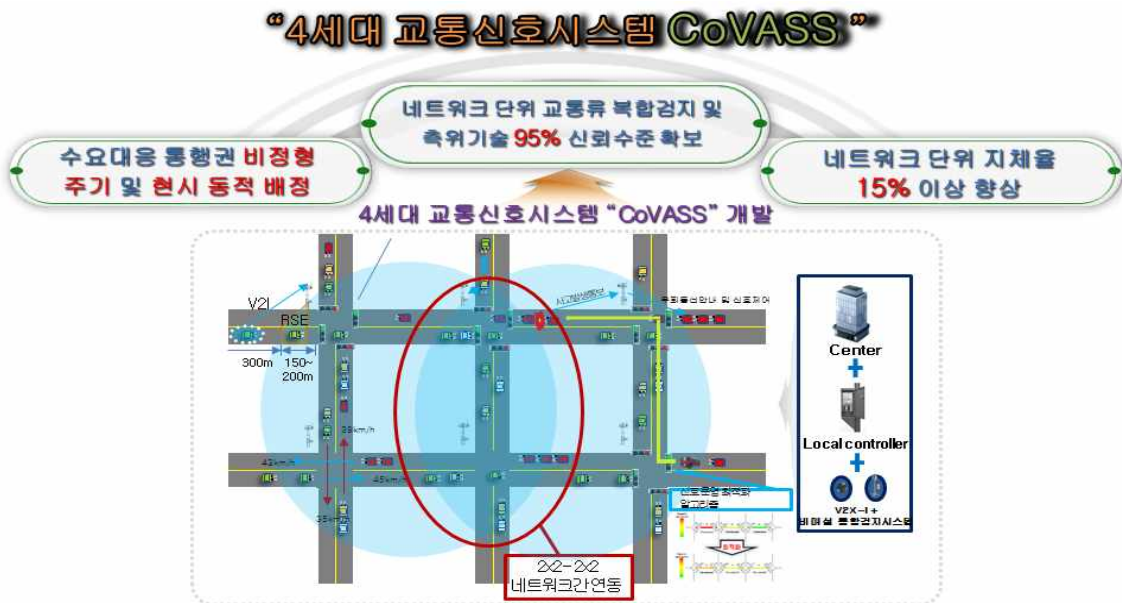
## 제3장 연구 수행 내용 및 성과

### 제1절 V2X 통신 인프라를 활용한 네트워크 신호제어시스템 개발

#### 1. 4세대 신호제어시스템(CoVASS) 개념 및 요구기능 설정

##### 가. CoVASS 시스템 개요

- CoVASS는 신호주기 및 현시 배정을 실시간 교통류와 차량 맞춤형 데이터를 이용하여 전화하여 교차로 네트워크에 최적화된 신호운행을 하도록 함



[그림 2] CoVASS 시스템 개요

- 교차로에 최적화된 V2X-i 통신과 비매설식 검지체계를 기반으로 한 CoVASS의 전략개념 및 요구기능을 아래와 같이 설정함

##### 나. CoVASS 핵심기능

###### (1) V2X 기반 실시간 신호제어 및 운영

###### (가) 신호교차로 효율성 최적화 신호제어 및 운영

###### ① V2X 기반 신호제어를 위한 데이터 수집 및 전송 방식

- V2X 기술을 통해 교차로의 제어영역 내에 들어오는 전 차로 모든 차량을 실시간 추적 검지하는 방식으로 새로운 신호제어 전략 수립함
- V2I 통신으로 실시간 교통류 및 차량데이터를 송수신하고 이를 지역제어기로 전송함

- V2X 통신 및 레이더 검지 기술을 융합하여 교통류 및 개별 차량 데이터 100% 수집함
- ② V2X 기반 실시간 신호제어
  - 실시간 차량 추적데이터와 교차로 내 교통류 특성이 수집·전송됨에 따라 새로운 신호제어 알고리즘 개발함
  - 특히 교차로 전체의 개별차량 통행시간 균등배분 기법을 적용한 알고리즘을 구성함
  - 네트워크(nxm) 단위의 운영효율을 극대화하는 전략 제시함
- ③ CoVASS 지역제어기(LC) 제어 전략
  - 중앙제어기의 역할을 분담할 수 있도록 기능을 부여하여 실시간 차량 교통상황에 따라 제어범위를 가변적으로 구성할 수 있도록 전략 수립함
  - 오프라인/온라인 제어, 네트워크 제어, 정보수집 및 가능처리, 실시간 통신 인터페이스 등 기본기능과 데이터 저장 및 가공, 네트워크 신호시간 배정 등의 기능 구축함
- ④ 신호교차로 충돌 및 충돌사고 방지 제어 및 운영
  - 차내 경고 및 차량제어 수행 가능을 갖추고, 향후 CV 및 AV 개발과 병행 필요함
  - 신호위반 단속시스템과 연계하여 위반 내용을 차량에 실시간 전달 가능하도록 함

## (2) 정보제공 플랫폼

### (가) V2X 데이터를 이용한 정보 가공

- 지역제어기에 실시간 교통류 및 차량 관련 데이터 가공 기능을 포함하고, 이를 관련 네트워크 혹은 각종 센터로 전송할 수 있어야 함
  - 개별차량 정보 : 속도, 가감속도, 위치, 차간 간격, 차종, 이동방향 등
  - 교통정보 : 각 링크별 차량 유입률, 대기행렬 길이, 차량주행패턴 등

### (나) 교차로 네트워크 교통 정보 제공

- 차량 관련 가공정보는 지역제어기 간 정보연계를 통해 네트워크 신호제어 및 운영 최적화를 위해 송수신 되어야 함
- 차량과 제어기 간 데이터 송수신을 통해 신호정보 뿐 아니라 교차로 상태정보, 최적 경로 정보 등도 제공토록 함

**<표 4> 교차로 네트워크 제공 정보**

| 구분           | 제공 정보                                                                                                                                                                        |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 네트워크 지역제어기 간 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 교통정보 : 링크 속도, 교통량, 대기 차량, 통행시간 등</li> <li>- 신호 정보 : 신호 주기, 녹색시간, 오프셋, 현시정보 등</li> <li>- 교차로 상태정보 : 혼잡도, 교통사고 유무, 공사 구간 등</li> </ul> |
| 지역제어기->개별차량  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 신호 정보 : 신호 주기, 녹색시간, 오프셋, 현시정보 등</li> <li>- 교차로 상태정보 : 혼잡도, 교통사고 유무, 공사 구간 등</li> <li>- 최적경로 안내정보</li> </ul>                        |

## 다. 요구기능 및 요구사항 정의

### (1) 네트워크 신호제어시스템 기능 구성

- 네트워크 신호제어기 시스템
  - V2X 검지장치와 연계하여 단위 네트워크내 교통정보 수집 및 연계
  - 4세대 신호제어 알고리즘 수행 및 단위 네트워크간 신호운영 정보 연계
- 네트워크 신호관제시스템
  - 전체 신호교차로 네트워크 운영상태 모니터링
  - 단위 네트워크간 지체 최소화를 위한 네트워크간 연계제어
- V2X 통신/비매설 검지기
  - V2X 통신기반 신호교차로 내 Prove 차량 검지 및 개별차량 정보생성/연계
  - 레이더기반의 교차로 교통정보 수집 및 연계

### (2) 네트워크 신호제어기 요구사항 정의

#### (가) 신호제어기 및 교차로 신호등

- 경찰청 표준 규격 기반 신호제어기 H/W, S/W 설치하고 CoVASS 추가기능 구현을 위한 별도의 H/W, S/W 추가
- 표준신호제어기 규격(안)에 따라 교차로에 설치된 신호등을 제어 및 구동 가능
- 신호등 운영 시 신호제어기 운영모순(GG Conflict, RED-Fail) 검지

#### (나) 교통정보 수집 및 가공

- V2X 검지기로부터 실시간으로 Prove 차량 검지정보를 수집하고, 레이더 검지기로부터 실시간으로 교통정보들을 수집
- 수집된 정보 기반으로 신호제어 알고리즘에 적용되는 교통정보 생성 가능

#### (다) 신호제어 알고리즘

- 교차로 단위 TOD 신호제어를 기본 운영모드로 하고, 실시간 교통상황에 따라 CoVASS 알고리즘 수행 가능
- TOD 및 CoVASS 신호제어 알고리즘 간 병행운행을 위한 파라미터 정보들을 관리하고 신호제어 알고리즘 수행결과에 따라 실시간 신호등제어를 수행

#### (라) 교차로 간 정보연계 및 신호운영정보 제공

- 단위 네트워크 내 인접 신호제어기와 실시간 정보연계
- 전용 무선통신장치로 전용 통신규약에 의하여 신호제어기간 정보연계
- 외부시스템들에서 필요로 하는 신호운영 정보 생성하고 외부시스템과 정보연계 가능하도록 인터페이스 구비

### (3) 네트워크 신호관제시스템 요구사항 정의

#### (가) 교차로 운영관리

- 개별 교차로 등록 및 삭제 용이
- 전체 교차로를 축 또는 네트워크 단위로 그룹화
- 허가된 운영자가 교차로/그룹 등록 및 데이터베이스 구성 가능토록 인터페이스 제공

#### (나) 교차로 모니터링

- 지도 기반의 인터페이스 제공
- 단위지역 내 전체 신호교차로 운영상태 및 특정 신호교차로 선택하여 감시 가능
- 축 또는 네트워크 단위로 그룹화하여 그룹별 운영 상태 실시간 감시
- 수집된 교통정보 기반으로 교차로 교통흐름을 파악하고, 네트워크 지체정도를 파악할 수 있는 MOE 생성 및 변동상황 감시
- 운영이상 발생 시 운영자가 이를 인지할 수 있도록 인터페이스 제공

#### (다) 교차로 신호제어

- 개별 교차로를 선택하여 점멸, 소등, 감응 등 센터개입 제어 실행 가능
- 개별교차로 혹은 그룹을 선택하여 온라인 제어 실행 가능
- TOD 제어 및 신호알고리즘 기반 실시간 제어 각각 실행하고 병행 운영 가능
- 네트워크 단위 신호제어를 위해 별도 Local HOST 구비

#### (라) 교차로 운영이력

- 개별 교차로 및 그룹 운영이력 생성·관리
- 3개월 이상의 운영이력 관리, 운영이력 백업, 운영이력 조회 및 출력할 수 있는 인터페이스 제공

### (4) V2X 통신/비매설 검지기 요구사항 정의

#### (가) V2X 통신 교통 정보 수집 및 가공

- V2X 검지기는 교차로마다 설치되어야 하며, 통신 반경은 0.5km 이상 제공
- 실시간으로 차량 검지정보를 초당 최소 1회 이상 수집
  - V2X 통신 혼잡 제어 알고리즘 개선
- 수집된 정보 기반으로 신호제어 알고리즘에 적용되는 프로브 차량 정보(PVD, Probe Vehicle Data) 생성

(나) 비매설 검지기

- 개별차량 운행정보 수집 : 1초 단위로 GPS좌표 기반의 위치, 속도 정보
- 검지율 90%이상
- 교차로 접근 방향별 개별차량 정보획득
- 회전차량과 직진차량을 차로별로 구분
- 200m 이상의 검지영역 확보

## 2. 4세대 신호제어시스템(CoVASS) 상세설계

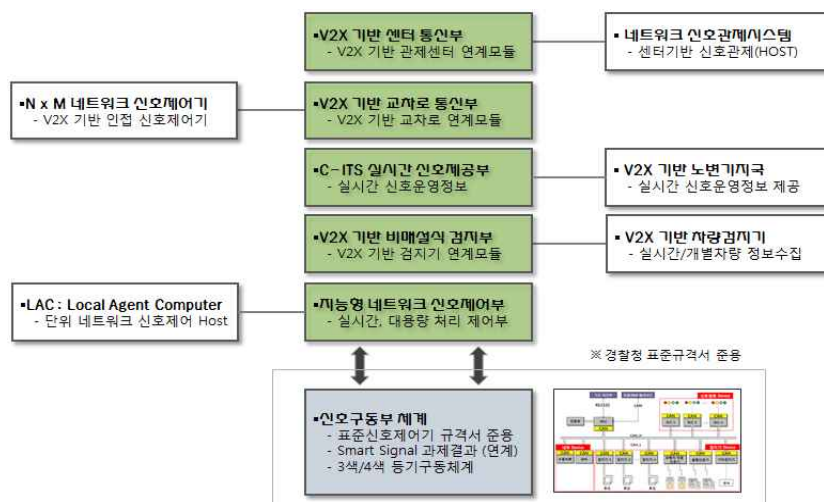
### 가. 네트워크 신호제어기 개요

(1) 시스템 기능 및 설계 개요

- 네트워크 신호제어기(이하 신호제어기)는 4세대 신호제어시스템인 CoVASS 신호제어시스템에서 현장의 신호 교차로를 제어하는 현장 제어기로 V2X 기반 검지시스템, CoVASS 관제시스템 및 외부시스템과 연계하여 교차로의 교통흐름을 효율적으로 제어하는 기능을 담당함
- 개발되는 네트워크 신호제어기는 기본적으로 표준 신호제어기 규격 범위 내에서 설계되며 4세대 신호제어시스템 요구사항을 수용할 수 있도록 설계함

(2) 시스템 구성

- 네트워크 신호제어기는 표준신호제어기를 기반으로 V2X 통신환경에서 요구되어지는 C-ITS 서비스 요구사항을 수용하고 4세대 신호제어 알고리즘 수행을 위한 Local HOST 기능을 담당하는 LAC (Local Agent Computer)를 장착할 수 있도록 구성됨



[그림 3] 네트워크 신호제어기 기능구성도

<표 5> 네트워크 신호제어기 부문별 기능 설명

| 구 분                 | 부문별 상세설명                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| V2X 기반<br>센터 통신부    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 신호제어기와 센터기반 신호관제 시스템간의 정보연계를 위한 전용 통신부로 유선/무선 통신이 가능하며 전용 통신규약에 따라 정보연계를 수행</li> <li>· TCP/IP 기반 네트워크 통신 인터페이스 제공</li> <li>· CoVASS 센터연계 프로토콜 기반 실시간 정보 연계</li> </ul>                                                                                  |
| V2X 기반<br>교차로 통신부   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 단위 신호교차로 네트워크에서 인접 신호제어기간 실시간 정보연계를 위한 무선 통신 기반의 통신부로 실시간으로 정보연계를 수행하며 전용 통신규약에 따라 정보연계를 수행</li> <li>· 2x3 네트워크 내 신호제어기간 신호운영 정보 및 교통류 정보 연계</li> <li>· 무선기반 UDP 혹은 TCP/IP 기반 네트워크 통신 인터페이스 제공</li> <li>· 네트워크 신호제어기 간 연계 프로토콜 기반 실시간 정보 연계</li> </ul> |
| C-ITS 실시간<br>신호 제공부 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 네트워크 신호제어기 신호운영 정보를 필요한 C-ITS 서비스 구현을 위하여 외부 시스템으로 실시간 신호운영 정보를 제공하는 기능을 수행</li> <li>· TCP/IP 기반 네트워크 통신 인터페이스 제공</li> <li>· C-ITS 서비스 요구정보 생성 및 제공기능</li> </ul>                                                                                       |
| V2X 기반<br>비매설식 검지부  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- V2X 통신과 비매설 검지방식을 이용하여 V2X Prove 차량과 전체 교차로 교통정보를 수집하는 V2X 차량검지기과 연동하여 실시간 교차로 교통정보들을 수집</li> <li>· TCP/IP 기반 네트워크 통신 인터페이스 제공</li> <li>· 개별차량 검지 이벤트, 접근로별 교통정보 등 실시간 교통정보 연계</li> <li>· 검지부-신호제어기간 연계 프로토콜 기반 실시간 정보 연계</li> </ul>                   |
| 지능형 네트워크<br>신호제어부   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 교차로 신호제어를 수행하기 위한 신호제어부로 기본적인 신호제어를 수행하며, 교차로 교통 상황에 따라 4세대 신호제어 알고리즘을 수행하기 위한 Local HOST 기능을 수행</li> <li>· 신호제어부와 독립되어 교통상황에 따른 CoVASS 알고리즘 수행</li> <li>· 알고리즘 수행을 위한 교통정보 수집 및 정보가공 기능</li> <li>· 신호제어부와와의 연계 프로토콜 기반 실시간 정보 연계</li> </ul>           |
| 표준기반<br>신호등 구동부     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 교차로 신호등기 제어를 위한 신호 구동부로 표준 신호제어기 규격에 따른 실시간 신호등기 제어, 실시간 교차로 신호 모순 검지 등 신호등기 제어에 대한 기능을 수행</li> <li>· 표준신호제어기 규격을 준용한 신호구동부 정보연계</li> <li>· 실시간 신호등기 구동, 모순검지 등 안정적인 신호등기 구동</li> </ul>                                                                |

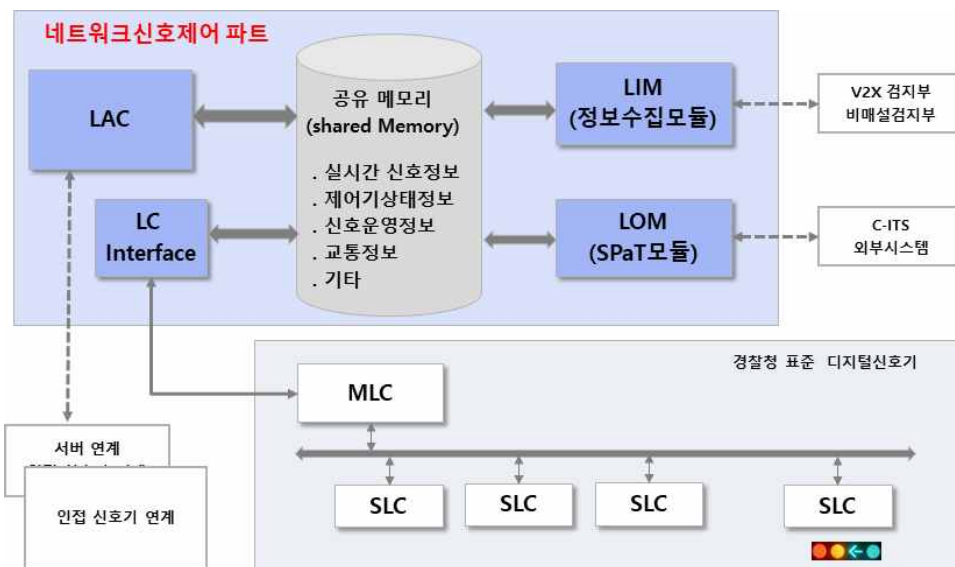
## 나. 네트워크 신호제어기 시스템 설계

### (1) 외부시스템 연계구성

- 네트워크 신호제어시스템에서 신호제어기와 연계되는 외부 시스템들은 다음과 같음
  - 네트워크 전체 교차로 신호운영을 위한 네트워크 신호관제시스템
  - 접근로별 V2X 기반 비매설 검지기(V2X 노변기지국, 레이더 검지기 등)
  - 교통정보제공(SPAT)을 위한 C-ITS 서비스 시스템 (WAVE-RSE)
  - 인접교차로 신호제어기

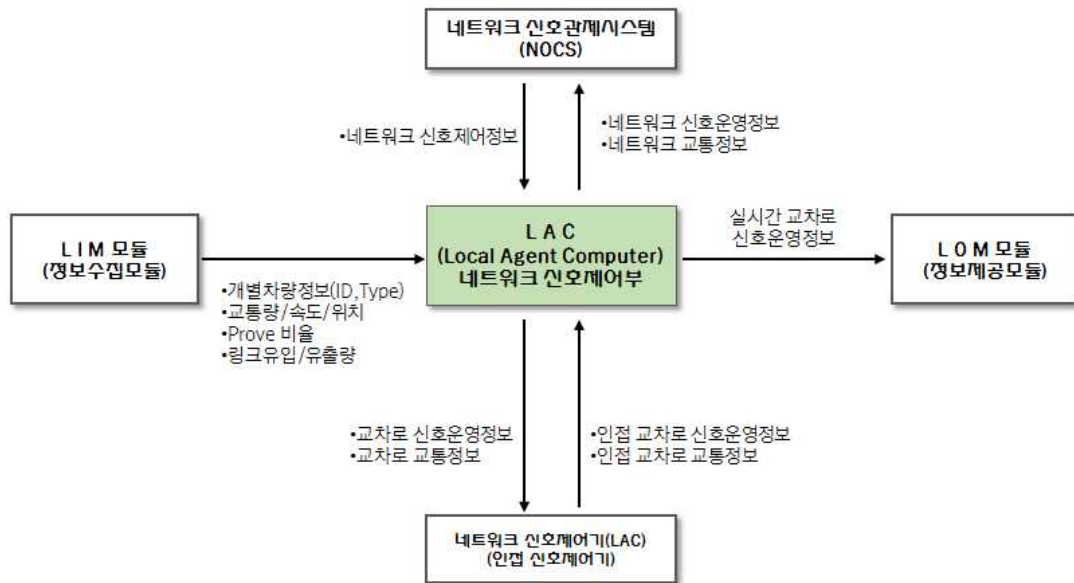
### (2) 시스템 H/W 기능 구성

- 네트워크 신호제어기는 이러한 표준신호제어기의 구조를 기반으로 CoVASS 요구사항을 충족하기 위하여 LAC, LIM, LOM 등의 추가 기능모듈들을 탑재함
- 네트워크 신호제어기의 시스템 구성도는 다음 [그림 4]와 같음



[그림 4] 네트워크 신호제어 시스템 구성도

- LAC 모듈 : 네트워크 신호제어모듈
  - 실시간 교통상황에 따른 4세대 신호제어 알고리즘 수행
  - 통합신호관제시스템 연계, 인접 교차로 실시간 정보 연계 수행
- LIM 모듈 : 정보수집모듈
  - 실시간 교통정보 수집기능을 수행함. V2X 차량정보 및 교통량 정보 수집
- LOM 모듈 : 정보제공(SPAT) 기능
  - 실시간 외부시스템 정보기능을 수행함. C-ITS 시스템 연계

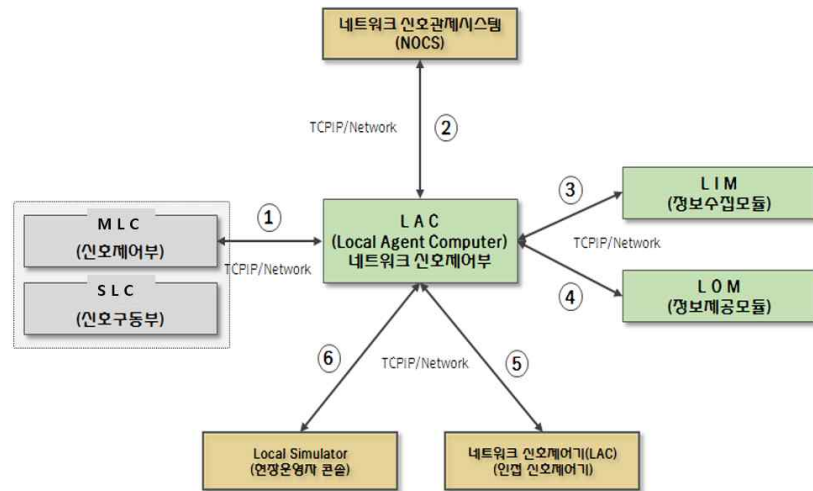


[그림 5] LAC 모듈 개요

<표 6> LAC 시스템 요구기능 및 설계사양

| 구 분  | 상세 내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 요구기능 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유/무선 통신 인터페이스 및 프로토콜 변환기능               <ul style="list-style-type: none"> <li>· V2X 노변장치와의 통신 연계</li> <li>· 레이더기반 비매설 검지기와의 통신연계</li> </ul> </li> <li>- 실시간 신호교차로 신호운영 정보 관리</li> <li>- 실시간 단위 네트워크내 신호제어기 정보연계 기능</li> <li>- 교통상황에 따른 4세대 신호제어 알고리즘 수행</li> <li>- 교통상황 및 통합관제센터에 의한 Local HOST 기능 수행</li> <li>- 내부 WDT에 의한 자기진단 Check 및 오류 시 자동복구 기능</li> <li>- 산업용 Operating System (LINUX) 탑재</li> <li>- Multi-Tasking, Multi-Processing</li> <li>- Data Base 관리, 보관 및 처리기능</li> </ul> |
| 설계사양 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- CPU : 32 Bit 마이크로프로세서, 1Ghz 이상</li> <li>- O/S : Embedded Linux</li> <li>- Memory : DDR Memory 2GB이상, SSD 32GB 이상</li> <li>- Network : 10/100/1000 BaseT 2 Port 이상</li> <li>- ASYNC : RS232 2 Port 이상</li> <li>- 보드 크기 : 6U x 12HP, 233.3 X 160.0 mm 규격준수</li> <li>- 소비전력 : +5VDC, typical 1.5A, 최대 2.4 A 이내</li> <li>- 동작온도 : -34 ℃ ~ 74 ℃</li> </ul>                                                                                                                                      |

### (3) 시스템 인터페이스 설계



[그림 6] LAC 인터페이스 설계

<표 7 > 네트워크 신호제어기 연계내용 및 인터페이스 사양

| 구분 | 연계주체       | 시스템 간 연계내용                                                                         | 인터페이스 설계사양     |
|----|------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 1  | 신호제어부와 LAC | LAC 수행결과 → 신호제어부<br>- 신호등기 구동정보, Cycle/Split/Offset                                | TCP/IP Network |
| 2  | LAC와 신호관제  | LAC 수행상태정보 → 신호관제시스템<br>- 신호제어기 운영상태, Cycle/Split/Offset<br>- 주기별 교통정보, LAC 운영정보 등 | TCP/IP Network |
| 3  | LAC와 LIM   | V2X 검지부 → LAC : 실시간 교통정보<br>- V2X Prove 차량 검지정보<br>- 접근로별 교통정보 (교통량, 속도 등)         | TCP/IP Network |
| 4  | LAC와 LOM   | LAC → 외부시스템으로 : 신호운영정보<br>- 실시간 신호운영정보, 신호제어기 상태<br>- 실시간 등기구동정보, 잔여시간 등           | TCP/IP Network |
| 5  | LAC와 신호제어기 | LAC ↔ 인접신호제어기(LAC)<br>- 신호제어기 운영상태, Cycle/Split/Offset<br>- 주기별 교통정보, LAC 운영정보 등   | TCP/IP Network |
| 6  | LAC와 시뮬레이터 | LAC ↔ 현장 운영자용 시뮬레이터<br>- 실시간 신호운영정보, 신호제어기 상태<br>- 운영자 지원정보 등                      | TCP/IP Network |

## 다. 네트워크 신호제어기 S/W 기능 설계

### (1) 네트워크 신호제어기 연계 정보

- 네트워크 신호제어기를 중심으로 외부 시스템들과 연계되는 정보들을 정의함
- 정의된 연계정보들은 각 시스템들 간 통신규약에 따라 연계 인터페이스를 통하여 연계됨
- 네트워크 신호제어기 연계정보는 수집 교통정보, 신호제어 정보, 신호 운영 및 제공 정보 등으로 구성됨



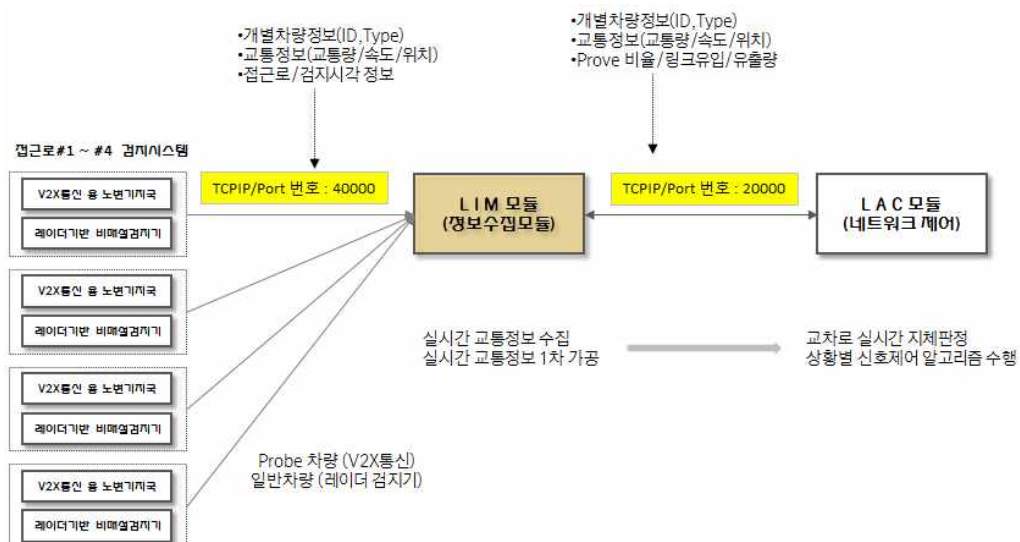
[그림 7] 네트워크 신호제어기 연계정보

### ○ LAC, LIM, LOC 프로세서 구성 및 인터페이스

- LAC/LIM/LOC 모듈의 운영 S/W는 LAC장치 내 구현되며 Embedded O/S 기반위에 기능별 프로세스로 구성함
- 내부 Shared Memory(공유메모리)를 적용하여 각 프로세스 간 정보연계를 수행함

### (2) LIM(정보수집모듈) S/W 설계

- 실시간 교통정보 수집 기능을 통해 V2X 차량정보 및 교통량 정보 수집함

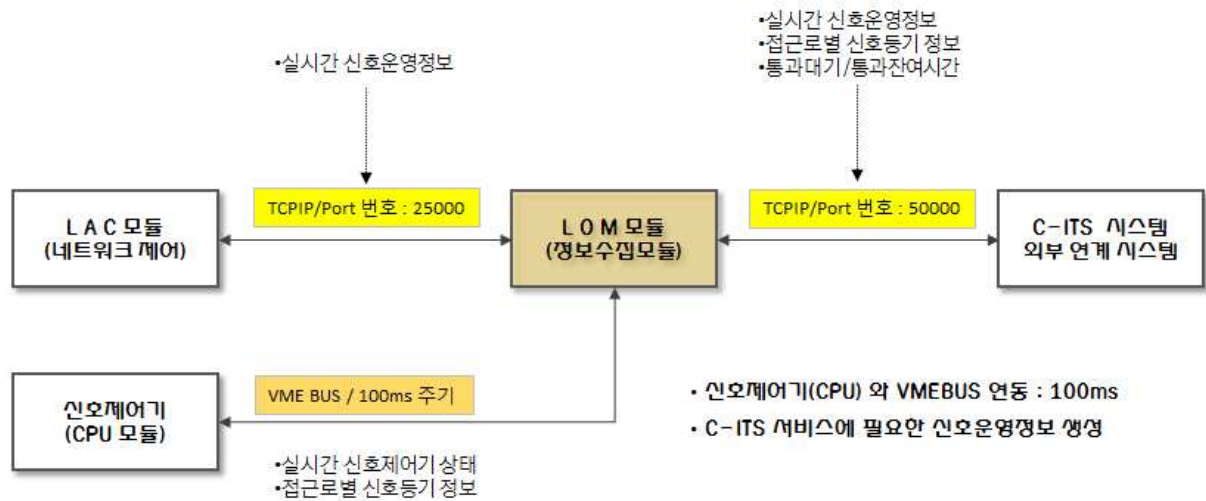


[그림 8] LIM 모듈 장치 개요

### (3) LOM(정보제공모듈) S/W 설계

#### ○ 정보제공(SPaT) 기능

- 실시간 외부시스템 정보기능을 수행함. C-ITS 시스템 연계

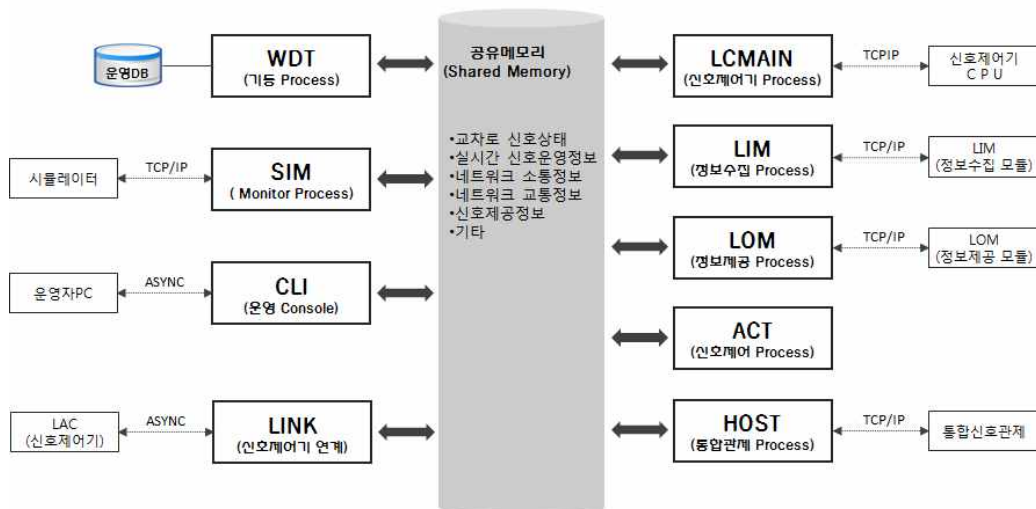


[그림 9] LOM 모듈 장치 개요

### (4) LAC(네트워크 신호제어) S/W 설계

- 실시간 교통상황에 따른 4세대 신호제어 알고리즘 수행
- 통합신호관제시스템 연계, 인접 교차로 실시간 정보 연계 수행

- 공유메모리/Message 기반 Multi-Process 구조 (Window/Linux)
- LAC 보드내 Network/ASYNC 정보연계 기반의 운영 Process 구축



[그림 10] LAC 모듈 - 소프트웨어 구조

○ LAC 모듈을 구성하는 세부 Process 별 기능사양은 다음음

<표 8> LAC S/W Process 별 기능정의

| 프로세스 명 | 역할 및 기능                                                                                                                                            | 비고         |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| WDT    | LOM 모듈 내 내부 프로세스 실행 및 감시기능 수행 Process<br>- Shared Memory 생성 및 초기화<br>- Process 호출, WDT 감시, 데이터베이스 초기화                                              | 기동 Process |
| CLI    | Console 기반 LOM 동작상태 모니터링 Process<br>- 상용 통신 에뮬레이터 S/W 활용<br>- ASYNC/Network 운영 콘솔 기능 제공                                                            | 운영자        |
| SIM    | 네트워크 신호제어기 연계전용 Simulator 수행 Process<br>- LOM 모듈 구성정보, 외부연계시스템 구성정보 초기화<br>- 교통정보 제공을 위한 Config 정보 초기화                                             |            |
| LINK   | 인접 신호제어기 LAC로부터 신호운영정보를 연계하는 통신 Process<br>- 신호제어기간 연계 프로토콜 기반 송수신 메시지 처리                                                                          |            |
| LCMAIN | 교차로 신호제어부(CPU)와 실시간 신호제어를 위한 연계 Process                                                                                                            |            |
| LIM    | 실시간 교통정보들을 LIM에서 연계하기 위한 통신 Process<br>- LIM 연계 프로토콜 기반 송수신 메시지 처리                                                                                 |            |
| LOM    | 실시간 신호운영정보들을 LOM으로 연계하기 위한 통신 Process<br>- LOM 연계 프로토콜 기반 송수신 메시지 처리                                                                               |            |
| ACT    | 실시간 교통상황에 따라 4세대 신호제어 알고리즘을 수행하는 신호제어 Process<br>- 연동교차로 신호제어 알고리즘 수행 (개별 교차로)<br>- 단위 네트워크 신호연동을 위한 네트워크 신호제어 알고리즘 수행<br>- 개별차량 기반 감응신호제어 알고리즘 수행 |            |
| HOST   | 네트워크 신호관제시스템과 실시간 신호운영정보를 제공하는 통신 Process<br>- 센터기반 연계 프로토콜 기반 송수신 메시지 처리                                                                          |            |

### 3. 4세대 신호제어시스템(CoVASS) 신호제어알고리즘 개발

#### 가. 실시간 교통상황을 반영한 독립 및 연동교차로 교통신호제어 알고리즘

##### (1) 알고리즘 개요

- 기존의 신호주기 및 녹색시간 분할 등의 변수결정에 필요했던 연산처리 과정에서부터 궁극적인 신호제어 목표에 이르기까지 많은 변화가 예상됨
- 기존의 유출교통량의 극대화, 대기행렬 길이의 극소화 등의 제어에서 개별차량인식 정보 기술을 활용한 응급차량 우선 제어, 교차로내의 통행시간 최소화 제어 등으로 제어 목표를 확대할 뿐만 아니라 고정식 주기에 의한 제어에서 cycle-free 제어 등으로 전환 가능함
- 신호제어 알고리즘 및 전략을 개발할 때 다음과 같은 요소를 고려해야 함
  - 신호제어 방향
  - 신호제어 변수
  - 신호 현시체계 및 신호시간
  - 신호제어 목표
  - 신호제어 단위
  - 우선 신호 부여 여부 등



[그림 11] 교통신호 알고리즘 제어도

- V2X란 차량과 도로 간 통신(Vehicle-to-Infrastructure) 및 차량과 차량 간 통신(Vehicle-to-Vehicle)을 의미하며, 차량이 주행하면서 도로인프라 및 다른 차량과 지속적으로 정보를 주고받는 기술임
- V2X는 차량 내 장치인 OBU와 도로에 설치된 RSE가 DSRC 통신을 통해 BSM 메시지 셋을 주고받음

- PVD 메시지 셋에서는 차량의 시간에 따른 위치, 속도, 방향 등의 정보 등이 포함되어 있음
- 미국에서는 V2X 가능차량이 95% 까지 도달하는데 최소 25년이 소요될 것이고 예측
- 따라서 본 연구에서는 V2X 기능차량이 증가되는 상황을 고려하여 신호교차로에서 발생하는 지체를 최소화하기 위해 V2X 환경 하에서 개별차량 기반 수집 데이터를 활용하여 실시간 교통상황대응 최적화 알고리즘을 개발함

## (2) V2X 기반 교통신호제어 알고리즘 개발을 위한 최대 녹색시간 및 최소 녹색시간 산정 방법

- 최적주기란 지체를 최소화시키는 주기를 말하며 녹색신호 때 통과시켜야 할 차량 대수는 적색신호에서 기다리는 차량뿐만 아니라 녹색 및 황색시간 때에 도착하는 차량도 통과 시켜야 함(한음 외, 2016)
- 따라서 최적주기를 산출하기 위하여 각 Group의 지체를 최소로 하는 최대 녹색시간 값을 구하기 위해 Webster 방법을 이용하였음
  - 하지만 Webster 방법의 경우 V2X 통신 인프라를 기반으로 하여 개별차량의 정보를 이용하는 신호제어에 적용하는 데 한계가 있을 수 있음
  - 따라서 향후에는 Webster 방법을 대체하여 V2X 통신 인프라의 특성을 반영할 수 있는 식 또는 모형을 개발하여 적용하는 것이 필요함
- 각 접근로의 최소 녹색시간과 Webster 방법을 이용하여 Group의 최대 녹색시간을 식 [1]과 같이 나타낼 수 있음

$$Group1_{Maxgreen} = \text{Max}(\text{phase2}_{Ming} + \text{phase6}_{Ming}, \frac{1.5*(L)+5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i}) \quad [1]$$

$$Group2_{Maxgreen} = \text{Max}(\text{phase4}_{Ming} + \text{phase8}_{Ming}, \frac{1.5*(L)+5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i})$$

$L$  : 주기당 총 손실시간으로 주기에서 총 유해녹색시간을 뺀 값

$y_i$  :  $i$  phase 때 임계차로군의 교통량비, 즉 교통수요/포화교통량

- Group 1의 최대 녹색시간은 phase 2의 최소 녹색시간과 phase 6의 최소 녹색시간을 더한 값과 Webster 방법을 통해 계산되어진 녹색시간 값 중 큰 값을 사용함
- Webster 방법에서 사용된  $y_i$ 는 조사된 교통량을 이용하여 산출하게 됨. 하지만 본 연구에서 사용된 V2X 통신환경에서는 매 주기의 교통량을 산출할 수 있기 때문에 식을 수정하면 다음 식 [2]와 같이 나타낼 수 있음

- 식 [2]를 살펴보면 최대 녹색시간 산출을 위하여 Group 1의 교통량 비를 산출하는 과정임

$$Group1 \sum_{i=1}^n y_i = \frac{Max_{30sec\ flow}(phase(1+2), phase(5+6), phase(1+6), phase(2+5)) \times 120}{L \times S} \quad [2]$$

$$Group2 \sum_{i=1}^n y_i = \frac{Max_{30sec\ flow}(phase(3+4), phase(7+8), phase(3+8), phase(7+4)) \times 120}{L \times S}$$

$L$  : Nmber of lane  
 $S$  : Saturated traffic

- Group 1의 30초 후에 정지하고 있는 차량이 가장 큰 phase 조합을 찾고 1시간 교통량으로 변환하는 과정과 phase 조합의 차선 수와 포화교통량으로 나누어 교통량 비를 산출하게 됨
- 여기서 산출된 교통량 비는 식 [1]에 대입하여 Group의 최대 녹색시간을 계산하며, 앞서 계산된 Group의 최대 녹색시간을 이용하여 각 phase별 최대 녹색시간을 산출할 수 있음
- 차량도착 테이블과 30초 동안 도착할 교통량을 이용하여 좌회전과 직진의 녹색시간 비율을 결정함
- 따라서 직진 현시의 최대 녹색시간을 계산하고 Group의 최대 녹색시간에서 직진 현시의 최대 녹색시간을 빼면 좌회전의 최대 녹색시간이 계산됨
- 각 phase의 최대 녹색시간은 다음 식 [3]를 이용하여 계산함

$$phase_T = \frac{Max(phase_{Min\ g(T)}, Group_{Max\ g} \times \frac{flow_{30sec} T}{\frac{flow_{30sec} T}{L_T} + \frac{flow_{30sec} L}{L_L}})} \quad [3]$$

$$Group_{Max\ g} - pahse_T = phase_L$$

$flow_{30sec} T$  : predicted 30seconds Staight vehicle

$flow_{30sec} L$  : predicted 30seconds left vehicle

$L_{T,L}$  : Nber of lane Staight and Left

- 각 phase의 최소 녹색시간은 직진 phase인 2, 4, 6, 8의 경우 분석자가 도로의 기하구조와 보행자 안전을 위한 횡단보도 시간에 맞게 설정한 시간을 부여하였으며, 좌회전 phase인 1, 3, 5, 7의 경우 선행좌회전 현시일 경우, 대기차량의 수  $\times$  2초를 부여하였음
- 이러한 방식은 신호시간을 계산함에 있어서 각 주기마다의 접근 교통량 변동을 반영하여 최대녹색신호시간을 계산한 것임
- 따라서 V2X 환경에서 수집되는 예측 교통량을 이용하여 지체를 최소화 하는 현시별 최대 녹색시간과 주기의 최대 녹색시간을 계산 할 수 있음

(3) V2X 기반 교통신호제어 알고리즘 개발을 위한 현시 순서 결정 방법

- 산출된 주기와 현시의 최대 녹색시간을 이용하여 현시 순서에 따라 정지지체를 예상할 수 있음
- 이는 V2X 환경에서 각 차량의 도착시간과 대기행렬 길이를 산출할 수 있기 때문
- 따라서 각 현시의 최대 녹색시간 동안의 정지지체를 이용하여 다음과 같이 현시 순서를 결정하게 됨(한음 외, 2016)
- 각 phase의 순서는 다음 식 [4]을 이용하여 계산함
- phase의 순서는 그룹번호와 링 번호에 귀속되기 때문에 phase(1, 2), phase(5, 6), phase(3, 4), phase(7, 8)끼리 계산함
- 예를 들어 직진인 phase 2가 먼저 점등되었을 동안 정지하고 있는 좌회전 차선의 정지지체의 합과 phase 1이 켜졌을 때부터 쌓이는 phase 2의 정지지체의 합 그리고 출발손실시간을 더하기 위해 신호가 점등 되었을 때의 차량 대 수로 계산하게 됨

$$firstphase_T = \quad [4]$$

$$\sum_{j=0}^{phase_{Mxg}(T)} phase_LSD + \sum_{Group_{Mxg} - phase_{Mxg}(T)}^{Group_{Mxg}} phase_TSD + (1.63 \times (flow_{(T)} + flow_{(L)}))$$

$$firstphase_L =$$

$$\sum_{j=0}^{phase_{Mxg}(L)} phase_LSD + \sum_{Group_{Mxg} - phase_{Mxg}(L)}^{Group_{Mxg}} phase_LSD + (1.63 \times (flow_{(T)} + flow_{(L)}))$$

$$Min(firstphase_T, firstphase_L)$$

$phase_LSD$  : stop de lay for left lane

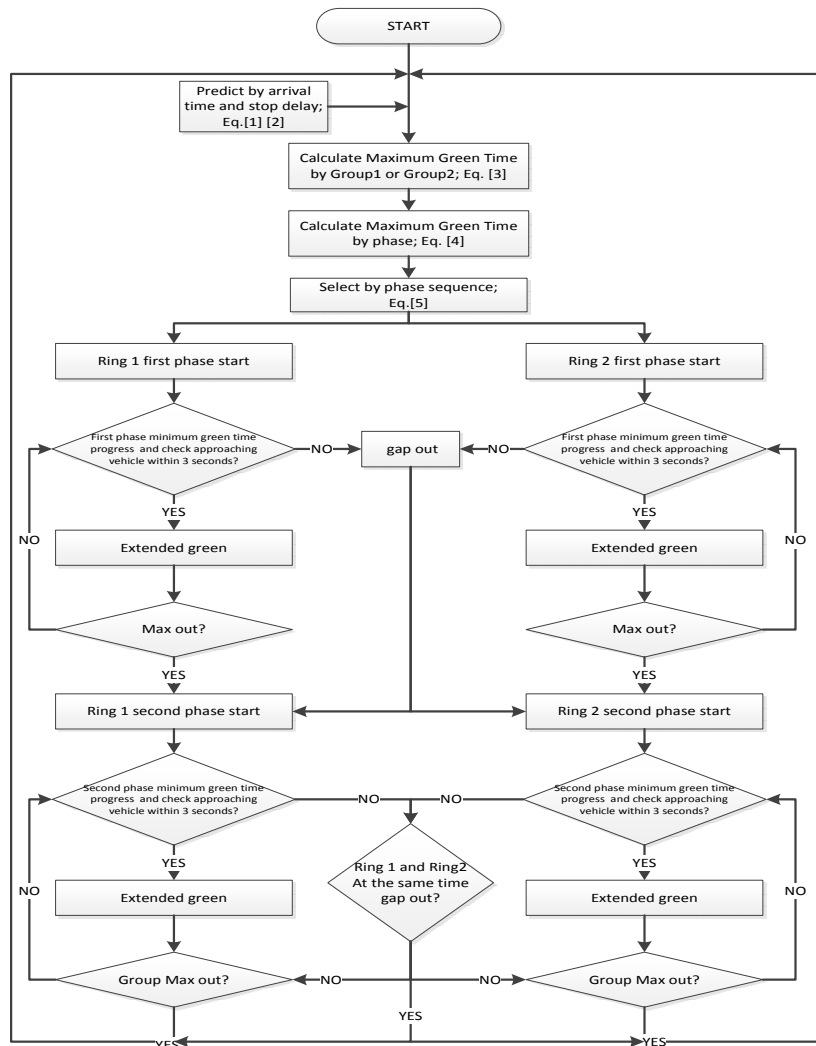
$phase_TSD$  : stop de lay for straight lane

- 이렇게 계산된 값 중 낮은 값을 가진 방법이 현시 순서가 먼저 제공할 수 있도록 운영됨
- 이러한 방식 또한 앞으로 차량이 언제 도착하는지 알 수 있기 때문에 정지지체를 최소화 하는 신호현시순서 결정을 할 수 있음

#### (4) V2X 기반 독립신호교차로 최적 교통신호제어 알고리즘

##### (가) 알고리즘 개요

- 산정된 Group의 최대 녹색시간과 phase의 최대 녹색시간, 최소 녹색시간, 그리고 현시의 순서를 이용하여 독립 신호교차로의 최적 교통신호제어 알고리즘을 적용함(한음 외, 2016)
- 본 연구에서 제안하는 최적 교통신호제어 알고리즘은 V2X 환경에서 수집된 차량의 위치 정보를 이용하여 최대 녹색시간을 계산하고 그 시간 안에서 실시간 감응신호로 제어함
- 따라서 Group의 최대 녹색시간을 결정하고, phase의 최대 녹색시간, phase의 순서를 결정하게 되면 각 phase 별로 gap out과 max out이 발생함에 따라 신호가 진행됨
- 이러한 방식은 기존의 루프검지기를 이용한 감응신호 제어방법과 유사하지만, 주기가 교통량의 변동을 반영하기 때문에 지속적으로 달라지는 차이점을 나타내고 있음
- 또한 루프검지기를 이용한 감응신호 제어방식은 검지기에 차량이 검지가 되면 신호를 연장시켜 주었으나 V2X 환경에서는 차량의 도착 예정시간을 알 수 있기 때문에 바로 판단하여 현시 축소(gap out)를 적용 할 수 있는 장점이 존재함
- 아래 그림은 전체적인 독립 신호교차로 최적 교통신호제어 알고리즘의 절차를 설명함

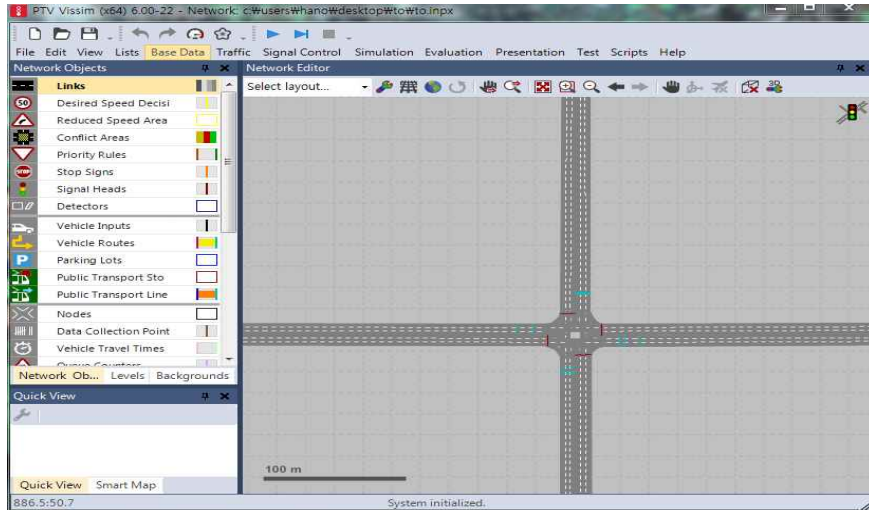


[그림 12] 독립 신호교차로 최적 교통신호제어 절차

## (나) 알고리즘 성능 평가

### ① 미시교통시물레이션모형을 이용한 성능 평가 개요

- 본 연구에서 개발된 알고리즘을 평가하기 위하여 국내에서 많이 사용되는 미시교통시물레이션모형인 Vissim ver 6.0을 이용하여 편도 3차로인 독립 신호교차로의 토이 네트워크(toy network)를 구성하였음(한음 외, 2016)



[그림 13] 독립 신호교차로 평가를 위한 Vissim 네트워크

- 개발된 알고리즘을 적용하기 위하여 Vissim에서 제공하는 외부 모듈인 Com interface 모듈을 이용하였으며 visual basic을 이용하여 코드를 작성하였음
  - 네트워크 구성 시나리오는 각 접근로 교통량을 500, 1000, 1500(대/시)로 구분하였으며, 모든 시나리오의 회전비율은 직진, 좌회전, 우회전 6:3:1의 비율을 적용하였고, 구성된 네트워크의 평가는 기존 신호알고리즘의 경우 신호최적화 프로그램인 Synchro 6.0을 이용하여 각 시나리오의 최적 신호를 적용하였음
  - 시장점유율에 따른 개발된 알고리즘이 어떻게 변화하는지를 알아보기 위하여 V2X 통신환경이 가능한 차량이 100%, 75%, 50%, 25%로 구분하여 평가하였음
  - 평가를 위한 MOE는 개별차량의 평균 지체, 평균정지지체, 평균 정지횟수, 평균 속도를 이용하였으며 random seed를 변화하여 시나리오 당 5번의 분석 결과를 평균 내어 산출하였음
- ### ② 시장점유율에 따른 예측교통량 보정
- 본 연구에서 개발된 알고리즘에서 최대주기 산출 시 예측교통량을 이용하게 됨
    - 시장점유율에 따라서 V2X 통신환경 차량이 감소하게 됨에 따라 주기 산정에 오차가 발생할 수밖에 없음

### ③ 시뮬레이션 분석 결과

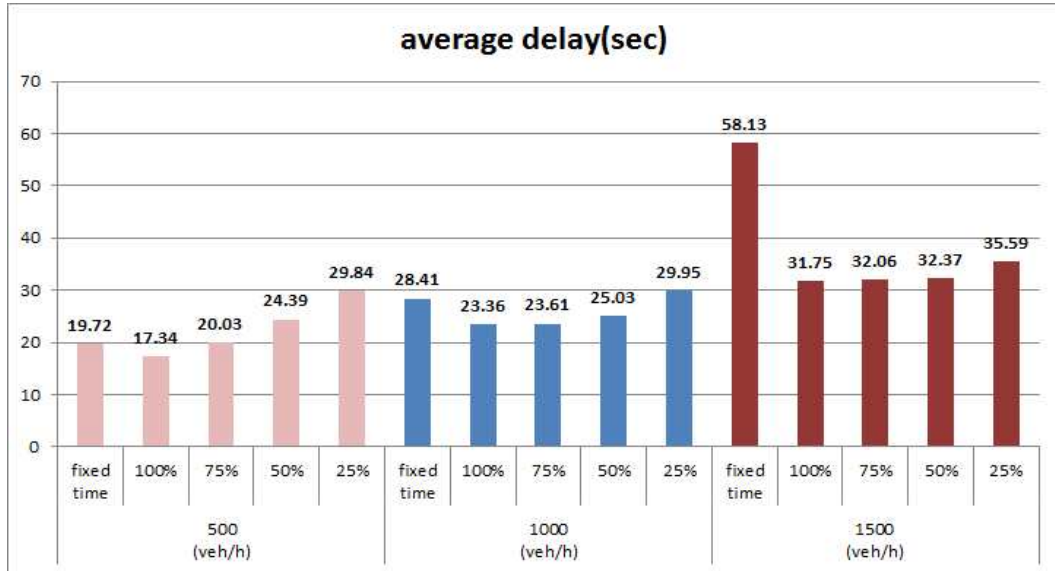
- 접근로 교통량에 따른 기존 신호알고리즘과 개발된 신호 최적 제어알고리즘의 결과를 살펴보면 다음 <표 9>와 같이 나타났음
- Synchro에서 산출된 신호현시와 본 연구에서 개발된 알고리즘을 비교하면 전체적으로 평균 지체, 평균 정지지체, 정지횟수, 평균속도가 개선되었음을 나타나고 있으며, 교통량이 많아질수록 개선 폭이 커지는 것으로 분석되었음
  - 이는 개발된 알고리즘이 교통량의 변동에 맞게 최적 주기를 산출하고 더불어 감응신호 운영을 하였기 때문인 것으로 판단됨
  - 1,500대/시의 교통량의 경우 Synchro에서 산출된 최적 주기는 180초로 나타났으나 개발된 알고리즘에서는 최대 140초에서 최소 80초 사이에서 주기가 운영되었음을 파악할 수 있음

<표 9> 정주기식과 개발 알고리즘 성능 비교

| 교통량<br>(대/시) | 시나리오              | LOS | 평균 지체<br>(초/대) | 평균 정지지체<br>(초/대) | 평균 정지회수<br>(회) | 평균 속도<br>(km/시) |
|--------------|-------------------|-----|----------------|------------------|----------------|-----------------|
| 500          | 정주기식              | A   | 19.72          | 14.34            | 0.62           | 36.43           |
|              | V2X 기반<br>알고리즘    | -   | 17.34          | 11.81            | 0.6            | 37.84           |
| 1,000        | 정주기식              | E   | 28.41          | 20.92            | 0.73           | 31.92           |
|              | V2X 기반<br>개발 알고리즘 | -   | 23.36          | 16.24            | 0.68           | 34.37           |
| 1,500        | 정주기식              | F   | 58.13          | 46.65            | 0.92           | 22.56           |
|              | V2X 기반<br>개발 알고리즘 | -   | 31.75          | 21.49            | 0.83           | 30.49           |

- 개발된 알고리즘이 V2X 시장점유율에 따라 도입 시기를 판단하기 위하여 시장점유율 변화를 적용하여 결과를 살펴보면 다음과 같이 나타났음
  - [그림 14]에서 보인 바와 같이 평균 지체의 경우 교통량이 500대/시의 경우 시장점유율이 50%이하로 내려가면 기존 신호알고리즘보다 지체가 높아지는 것으로 나타났으나 교통량이 1,000대/시일 경우 시장점유율 25%이하에서 지체가 높아짐
  - 하지만 1,500대/시일 경우 시장점유율에 25%에 불과해도 기존의 신호제어 알고리즘보다 지체가 낮아지는 것으로 분석됨
  - 이는 알고리즘의 도입 시기가 시장점유율 50%이상일 때 도입이 원활하게 가능할 것으로도 판단될 수 있으며, 다른 측면에서는 V2X 통신이 가능한 차량의 규모가 증가할수록 본 연구에서 개발된 알고리즘이 잘 작동하는 것으로 보여주고 확인됨
- 또한 <표 10>을 살펴보면 평균 지체와 비슷하게 결과가 나타나고 있는 것을 알 수 있는데 교통량이 많아질수록 시장점유율에 따른 변화가 낮아지는 것으로 판단됨
  - 이는 500대/시의 25%의 V2X 통신환경의 차량과 1,500대/시의 25%의 V2X 통신환경의 차량의 숫자로 인한 것으로 판단됨

- 앞서 알고리즘에서 주기판단시 예측 교통량을 이용하였는데 차량보정 알고리즘이 적용되어진 결과로 판단됨
- 이는 교통량이 많은 대형교차로의 경우 V2X 통신차량의 시장점유율이 50%보다 낮더라도 충분히 보정이 가능한 것으로 판단할 수 있음



[그림 14] 시장점유율별 및 교통수준별 지체 비교

<표 10> 시장점유율별 및 교통수준별 지체 비교

| 교통량<br>(대/시) | 시나리오              |      | LOS   | 평균 지체<br>(초/대) | 평균 정지지체<br>(초/대) | 평균 정지회수<br>(회) |
|--------------|-------------------|------|-------|----------------|------------------|----------------|
| 500          | 정주기식              |      | 19.72 | 14.34          | 0.62             | 36.43          |
|              | V2X<br>기반<br>알고리즘 | 100% | 17.34 | 11.81          | 0.6              | 37.84          |
|              |                   | 75%  | 20.03 | 14.7           | 0.61             | 36.23          |
|              |                   | 50%  | 24.39 | 18.55          | 0.67             | 33.92          |
|              |                   | 25%  | 29.84 | 23.37          | 0.75             | 31.34          |
| 1,000        | 정주기식              |      | 28.41 | 20.92          | 0.73             | 31.92          |
|              | V2X<br>기반<br>알고리즘 | 100% | 23.36 | 16.24          | 0.68             | 34.37          |
|              |                   | 75%  | 23.61 | 16.56          | 0.68             | 34.24          |
|              |                   | 50%  | 25.03 | 17.88          | 0.7              | 33.52          |
|              |                   | 25%  | 29.95 | 22.09          | 0.75             | 31.27          |
| 1,500        | 정주기식              |      | 58.13 | 46.65          | 0.92             | 22.56          |
|              | V2X<br>기반<br>알고리즘 | 100% | 31.75 | 21.49          | 0.83             | 30.49          |
|              |                   | 75%  | 32.06 | 22.06          | 0.84             | 30.37          |
|              |                   | 50%  | 32.37 | 22.31          | 0.85             | 30.24          |
|              |                   | 25%  | 35.59 | 24.6           | 0.88             | 29.01          |

(5) V2X 기반 연동 신호교차로 최적 교통신호제어 알고리즘

(가) 알고리즘 개요

- V2X 기반 최적 교통신호제어 알고리즘은 최적 현시 그룹 길이 산출, 신호 현시 분할, 현시 순서 배정으로 구성됨(한음 외, 2018)
- 최적 현시 그룹 길이 산출에서는 각 현시 그룹의 지체를 최소로 하는 최대 녹색시간 값을 구하는 것을 목표로 함

$$X_g^{\max} = \max(G_{\min}^{p_2} + G_{\min}^{p_6}, \frac{1.5 \times L_g + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i}) \quad [5]$$

여기서,

$X_g^{\max}$  = phase group g의 최적 길이

$p$  = NEMA phase의 phase 순서 번호

$G_{\min}^p$  = phase number p의 최속 녹색시간

$x_g^{\max}$  = group g의 최대 허용 시간

$L_g$  = group g의 총 손실시간

$\sum_{i=1}^n y_g$  = group g의 포화교통류율 합

- 신호 현시 분할은 현시별 길이(phase length)를 할당해주는 기능을 수행함
- 개발 알고리즘의 신호현시 분할은 NEMA phase에 따른 링(ring)의 직진과 좌회전 교통량의 비로 신호현시를 분할하는 비례법을 적용하였음
- 앞서 계산된 현시 그룹 길이를 이용하여 각 phase별 길이를 산출할 수 있음
- 차량 도착 테이블과 60초 동안 도착할 교통량을 이용하여 좌회전과 직진의 녹색시간 비율을 결정하게 됨
- 따라서 직진 현시 길이를 계산하고 현시 그룹 길이에서 직진 현시 길이를 빼면 좌회전의 현시 길이가 계산 됨
- 각 phase의 길이는 다음 식 [6]를 이용하여 계산함(Han, 2016).

$$G_{\max}^T = \max[G_{\min}^T, (X_g^{\max} \times \frac{\frac{n_s^T + n_{bs}^T}{n_l^T}}{\frac{n_s^T + n_{bs}^T}{n_l^T} + \frac{n_s^L + n_{bs}^L}{n_l^L}})] \quad [6]$$

여기서,

$X_g^{\max}$  = phase group g의 최적 길이

$G_{\max}^T$  = NEMA phase ring combination의 최대 직진 phase 녹색 시간

$G_{\min}^T$  = NEMA phase ring combination의 최소 직진 phase 녹색 시간

$N_{s,bs}^T$  = NEMA phase ring combination의 30초 후 예측 교통량

$N_l^{T,L}$  = NEMA phase ring combination의 직진 및 좌회전 차로수

○ 앞서 언급한 것과 같이 도착시간과 대기행렬 길이의 추정이 가능함

- 이를 기반으로 산출된 현시 그룹 길이와 현시 길이를 이용하여 현시 순서 변경에 따른 정지지체를 산출할 수 있음
- 따라서 각 현시의 최대 녹색시간 동안의 정지지체를 이용하여 다음과 같이 현시 순서를 결정하게 됨
- 각 phase의 순서는 다음 식 [7]을 이용하여 계산하며, phase의 순서는 그룹번호와 링 번호에 귀속되기 때문에 phase(1, 2), phase(5, 6), phase(3, 4), phase(7, 8)끼리 계산하게 됨
- 현시 그룹 길이 안에서 해당 링의 직진 및 좌회전의 예측 교통량을 이용하여 각 phase의 현시 길이를 계산하며, 이후 각 phase의 최대 녹색시간동안 생기는 정지지체를 매초 간격으로 계산하여 현시 순서를 결정하게 됨(Han, 2016).

$$first\ phase\ T = \sum_{t=0}^{G_{max}^T} SD_t^L + \sum_{X_g^{max}-G_{max}^T}^{X_g^{max}} SD_t^T + [1.63 \times (n_{t=0}^T + n_{t=G_{max}^T}^L)] \quad [7]$$

$$first\ phase\ L = \sum_{t=0}^{G_{max}^L} SD_t^T + \sum_{X_g^{max}-G_{max}^L}^{X_g^{max}} SD_t^L + [1.63 \times (n_{t=0}^L + n_{t=G_{max}^L}^T)]$$

$Min(first\ phase\ T, first\ phase\ L)$

여기서,

$SD_t^L$  = time t에서 정지지체

$n_{t=0}^T$  = 현재 직진방향 정지차량 대수

1.63 = 평균 출발 손실시간(초)

○ 이렇게 계산된 값 중 낮은 값을 가진 방법이 현시 순서가 먼저 제공할 수 있도록 운영됨

- 이러한 방식 또한 앞으로 차량이 언제 도착하는지 알 수 있기 때문에 정지지체를 최소화 하는 신호 현시 순서 결정을 할 수 있게 됨

#### (나) 알고리즘 성능 평가

##### ① 미시교통시물레이션모형을 이용한 성능 평가 개요

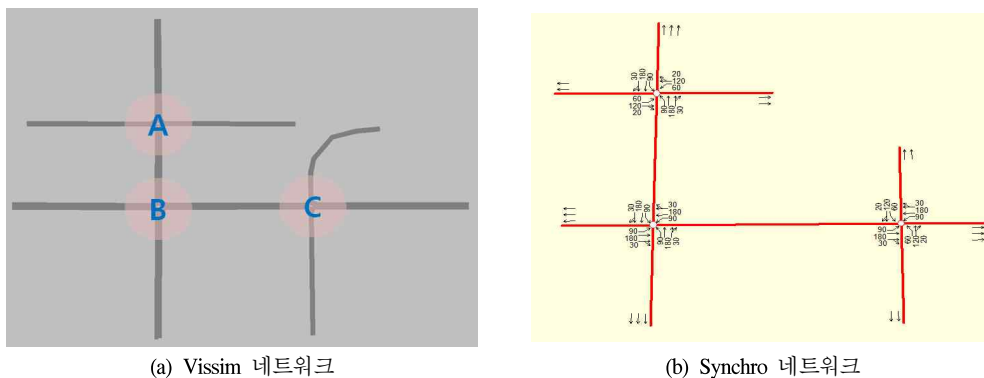
○ 본 연구에서 개발된 V2X 통신환경을 활용한 연동교차로 교통신호 실시간 제어 알고리즘을 평가하기 위하여 미시교통시물레이션모형을 이용하였음(한음 외, 2018)

- 현재 V2X 통신환경이 도입되지 않아 교차로 현장에 적용하는데 한계가 존재하기때문에 다양한 신호운영의 적용이 가능하고, 이동성과 안전성 분석이 가능한 자료를 생성할 수 있는 미시교통시물레이션 툴인 Vissim ver. 9.0을 사용하였음
- 시물레이션 시간은 1시간을 사용하였으며, 네트워크를 채우기 위한 초기 시간(warm-up time)은 15분을 사용하였음
- 각 시나리오는 5번씩 반복 수행하였으며, 각 반복수행의 평균값을 실험 결과로 사용함

○ 시물레이션 분석은 크게 두 가지로 구분하여 수행하였음

- V2X 통신환경을 활용한 연동교차로 교통신호 실시간 제어 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 기존 신호제어방식인 정주기식 연동 제어와 운영성능을 비교하였음

- 둘째, V2X 통신 가능 차량의 점유율 변동에 따른 V2X 통신환경을 활용한 연동교차로 교통신호 실시간 제어 알고리즘의 성능을 비교하였음
- 시뮬레이션 분석을 위하여 편도 3차로로 구성된 가상의 3개의 교차로를 ‘L’ 모형의 네트워크로 구성하였음
- 차로 이용은 좌회전, 직진, 우회전을 개별적으로 구성하였으며 각 방향별 접근로가 동일한 기하구조를 가지고 있음
- 정주기식 연동 제어 방식에 필요한 제어변수(주기 길이, 녹색신호시간, 오프셋 등)는 신호최적화 프로그램인 Synchro ver. 6.0로 산출하였음
- 또한, V2X 환경에서 데이터 수집을 모사하기 위해 Com-Interface를 통해 추출된 개별 차량 자료를 기반, V2X 통신환경을 활용한 연동교차로 교통신호 실시간 제어 알고리즘을 통해 신호제어 변수를 산출하여 미시교통시뮬레이션모형에 입력하는 구조로 구성하였음



[그림 15] 연동 신호교차로 실험을 위한 Vissim 네트워크

## ② 알고리즘 평가

- 기존의 신호제어 비교를 위해 네트워크의 서비스수준(level of service, LOS) 변동을 통해 다양한 교통상황에서 비교할 수 있도록 시나리오를 구성하였음
- 분석을 위한 효과척도는 네트워크 평균 제어지체, 평균 정지지체, 평균 정지횟수, 평균 속도 등을 이용함
  - 시뮬레이션 분석 결과 <표 11>와 같이 V2X 통신환경을 활용한 연동교차로 교통신호 실시간 제어 알고리즘이 교통량 변화가 존재하는 환경에서 지체가 감소하는 것으로 분석되었음
- 정주기식 연동 제어에 비해 V2X 통신환경을 활용한 연동교차로 교통신호 실시간 제어 알고리즘의 차이는 고정 주기의 사용과 가변 현시 길이 및 현시 순서의 실시간 변화에 의해 발생하는 것으로 판단됨
  - V2X 통신환경을 활용한 연동교차로 교통신호 실시간 제어 알고리즘에서는 예측된 직진, 좌회전 등 교통량에 따라 현시 길이 및 순서를 바꾸기 때문에 좀 더 정확하고 효율적인 신호제어가 가능함

<표 11> Vissim 시뮬레이션 결과

| LOS | 알고리즘        | 평균 지체<br>(초/대) | 평균 정지지체<br>(초/대) | 평균 정지 횟수<br>(회/대) | 평균 속도<br>(km/시) |
|-----|-------------|----------------|------------------|-------------------|-----------------|
| A   | 연동 & 정주기식   | 26.72          | 19.33            | 0.97              | 36.15           |
|     | V2X 기반 알고리즘 | 26.11          | 18.21            | 0.90              | 37.13           |
| C   | 연동 & 정주기식   | 41.55          | 30.26            | 1.18              | 31.97           |
|     | V2X 기반 알고리즘 | 40.77          | 28.72            | 1.11              | 32.14           |
| F   | 연동 & 정주기식   | 95.76          | 70.64            | 1.60              | 21.27           |
|     | V2X 기반 알고리즘 | 89.64          | 68.36            | 1.51              | 21.43           |

- Vissim을 이용한 이동성 분석 결과인 <표 11>를 상세하게 분석한 결과는 아래와 같음
- 접근로 교통량의 서비스수준 A에서는 V2X 통신환경을 활용한 연동교차로 교통신호 실시간 제어 알고리즘의 평균 제어지체가 26.11초로 나타났으며, 서비스수준 C에서는 40.77초, F에서는 89.64초로 분석되었음
  - 이에 반해, 기존 정주기식 연동 제어 알고리즘을 이용할 경우, 각각 26.72초, 41.55초, 95.76초로 나타났음
  - 본 연구에서 개발한 V2X 통신환경을 활용한 연동교차로 교통신호 실시간 제어 알고리즘 적용 시 시장점유율이 100%에서는 교차로 지체가 낮게 나타나 알고리즘의 효과가 있는 것으로 분석되었음

<표 12> 시장점유율별 시뮬레이션 결과

| LOS | 시장점유율 | 평균 지체<br>(초/대) | 평균 정지지체<br>(초/대) | 평균 정지 횟수<br>(회/대) | 평균 속도<br>(km/시) |
|-----|-------|----------------|------------------|-------------------|-----------------|
| A   | 100%  | 26.11          | 18.21            | 0.90              | 37.13           |
|     | 75%   | 26.35          | 18.44            | 0.91              | 36.81           |
|     | 50%   | 30.23          | 22.47            | 0.96              | 35.98           |
|     | 25%   | 40.87          | 30.50            | 1.06              | 35.03           |
| C   | 100%  | 40.77          | 28.72            | 1.11              | 32.14           |
|     | 75%   | 51.99          | 38.37            | 1.23              | 31.60           |
|     | 50%   | 61.26          | 44.08            | 1.46              | 28.41           |
|     | 25%   | 63.98          | 45.46            | 1.48              | 27.64           |
| F   | 100%  | 89.64          | 68.36            | 1.51              | 21.43           |
|     | 75%   | 91.48          | 70.47            | 1.56              | 21.40           |
|     | 50%   | 126.47         | 91.64            | 2.56              | 17.74           |
|     | 25%   | 147.95         | 106.72           | 3.02              | 16.31           |

- 개발된 알고리즘이 V2X 시장점유율에 따라 도입 시기를 판단하기 위하여 시장점유

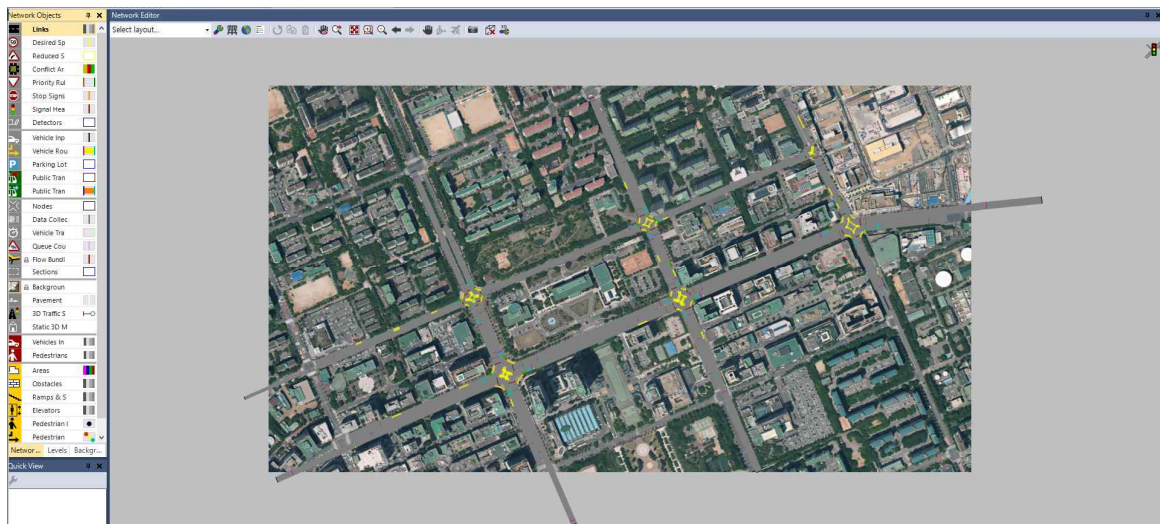
을 변화를 적용하여 결과를 살펴보면 다음과 같이 나타났음

- <표 12>에서 보인 바와 같이 평균 제어지체의 경우 입력 교통량 서비스 수준 A에서는 100% 및 75%의 통신환경에서 정주기식 연동 제어보다 지체가 낮았으며, C에서는 100% 통신환경에서만 좋은 효과를 나타내는 것으로 나타났음
- 서비스수준 F 에서는 차량점유율이 75% 이상일 때 효과를 보이는 것으로 분석되었으며, 이는 본 연구에서 개발한 알고리즘이 수집된 정보의 양에 의해 효과가 낮아지는 것으로 판단됨

#### (6) 2×3 신호네트워크에서 알고리즘 성능 평가 결과

- 독립신호교차로와 연동신호교차로 최적 교통신호제어 알고리즘을 평가하기 위해 시물레이션 분석을 위한 도로 구간으로 안양시 시청 일대 6개 교차로를 선정함
  - KT사거리, 평촌도서관사거리, 법조타운사거리, 시청사거리, 국토연구원사거리, 평촌역사거리로 선정함
  - 본 구간은 2 × 3 네트워크로 4지 교차로 5개와 3지 교차로 1개로 구성되며 각 교차로의 간격은 약 500m이며, 주도로(동서축)는 편도 4~5차로로 구성되어 있고 부도로(남북축)는 편도 2~3차로로 구성됨
- 미시교통시물레이션 네트워크 구축을 위해 낮(근포화) 및 밤(비포화)의 교통량, 신호 정보, 주행속도 자료를 수집함
  - 낮(준포화) : 2017년 3월 28일(화) 14시~15시
  - 밤(비포화) : 2017년 3월 27일(월) 22시~23시
  - 교통량 : 각 시간대에 대한 영상자료(CCTV, ITS 카메라)를 이용하여 각 교차로의 방향별 교통량 자료를 수집함
  - 신호현시 : 각 교차로에 설치된 신호 제어기로부터 각 시간대의 주기, 현시, 오프셋등의 신호 운영자료를 수집함
  - 주행속도 : 도시교통정보센터로부터 각 시간대의 주행속도 자료를 수집함
- 미시교통시물레이션모형 구축을 위해 Vissim ver. 10.0을 이용하여 기본 네트워크를 구축하였으며, 각 교차로의 대기행렬길이와 방향별 교통량, 링크별 주행속도를 기준으로 미시교통시물레이션모형 정산을 수행함

- 다음 [그림 16]은 구축된 미시교통시물레이션모형 네트워크임



[그림 16] 구축된 미시교통시물레이션모형 네트워크

○ 완성된 기본네트워크에 Com-Interface<sup>1)</sup>를 이용하여 신호제어 알고리즘을 구현함

- 신호제어 알고리즘을 구현하기 위해 Python 3.6을 이용하여 Com-Interface를 작성함
- 작성된 프로그램은 Vissim 구동, 차량데이터 수집, 차량데이터 가공, 신호 변수 계산, 신호 제어 등으로 구성되어 있으며, 아래 그림은 작성된 프로그램의 일부를 나타냄

```

if priority1 < priority2 :
    statePhaseOne[interval] = 1
    maxTimePhaseOne[interval] = phase1 + simStep
else :
    statePhaseOne[interval] = 2
    maxTimePhaseOne[interval] = phase2 + simStep

if priority3 < priority4 :
    statePhaseTwo[interval] = 3
    maxTimePhaseTwo[interval] = phase3 + simStep
else :
    statePhaseTwo[interval] = 4
    maxTimePhaseTwo[interval] = phase4 + simStep

#시그널에 적용
priority1 = setSignal(interval, simStep)

groupMaxTime[interval] = groupMaxTime[interval] + simStep
groupMaxTimeForPredict[interval] = groupMaxTime[interval] + simStep
currentInterGroup[interval] = GROUP1_INQ
elif currentInterGroup[interval] == GROUP1_INQ : #1 1 0 진행 중
    if simStep >= groupMaxTime[interval] :
        currentInterGroup[interval] = GROUP2_BEGIN
        return

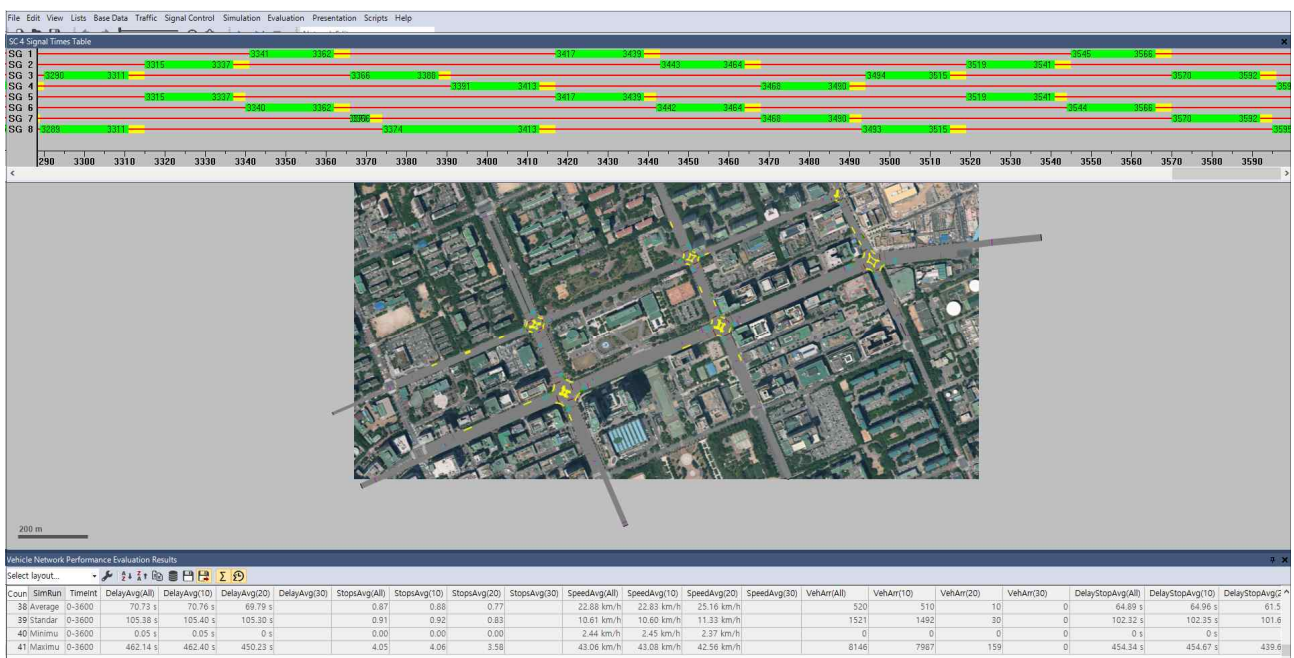
if simStep >= maxTimePhaseTwo[interval] :
    #위에서 두번째
    if statePhaseTwo[interval] == 3 :
        statePhaseTwo[interval] = 4
    elif statePhaseTwo[interval] == 4 :
        statePhaseTwo[interval] = 3
    maxTimePhaseTwo[interval] = groupMaxTime[interval]
elif simStep >= maxTimePhaseOne[interval] :
    #위에서 두번째
    if statePhaseOne[interval] == 1 :
        statePhaseOne[interval] = 2
        maxTimePhaseOne[interval] = groupMaxTime[interval]
    elif statePhaseOne[interval] == 2 :
        statePhaseOne[interval] = 1
        maxTimePhaseOne[interval] = groupMaxTime[interval]

#시그널에 적용
priority1 = setSignal(interval, simStep)
elif currentInterGroup[interval] == GROUP2_BEGIN : #group2 시작
    groupMaxTime[interval] = GetLandGreenTime(interval, 2)
    
```

[그림 17] 신호제어 알고리즘을 위한 Com-Interface 프로그램 일부

1) Com-Interface는 Vissim 사용자가 개발한 알고리즘 또는 Vissim에 없는 기능을 구현하기 위해 프로그래밍 하여 시물레이션 할 수 있는 기능임

- 신호제어 알고리즘을 평가하기 위해 다음과 같은 효과 척도를 선정하였으며, 알고리즘 적용 전/후 시뮬레이션 수행 시 각각 산출하였음
  - 평균 지체
  - 평균 정지 횟수
  - 평균 속도
  - 평균 통행시간
  - 기타 효과 척도
- 또한 알고리즘 적용 전/후 신호 데이터를 생성하였음
- 아래 그림은 시뮬레이션 수행시 신호 변화와 효과척도를 산출하는 화면임



[그림 18] 알고리즘 적용 시뮬레이션 수행화면

(가) Vissim 시뮬레이션 분석 결과(낮)

- 낮 시간대의 기존 신호와 독립신호 알고리즘, 연동신호 알고리즘을 분석하였으며, 그 결과는 다음 <표 13>과 같음
- 기존 신호의 네트워크 평균지체는 94.43초로 독립 신호 알고리즘과 연동 신호 알고리즘을 적용시 각각 76.18초, 65.26 초로 낮아짐
- 평균 정지횟수는 기존 1.78회에서 독립신호 알고리즘을 적용시 2.05회로 높아졌으나, 연동신호 알고리즘을 적용시 1.74 회로 낮아짐
- 평균속도는 기존 20.02 km/h에서 독립신호와 연동신호 알고리즘을 적용시 각각 23.10 km/h, 24.66 km/h로 증가하여 네트워크 소통이 좋아짐

<표 13> 낮 시간대 시뮬레이션 결과

| 구분             |           | 네트워크 평균 지체 | 평균 정지 횟수 | 평균 속도      | 도착차량대수  |
|----------------|-----------|------------|----------|------------|---------|
| 낮<br>(14시~15시) | 기존 신호     | 94.43 초    | 1.78 회   | 20.02 km/h | 8,517 대 |
|                | 독립신호 알고리즘 | 76.18 초    | 2.05 회   | 23.10 km/h | 8,249 대 |
|                | 연동신호 알고리즘 | 65.26 초    | 1.74 회   | 24.66 km/h | 8,192 대 |

(나) Vissim 시뮬레이션 분석 결과(밤)

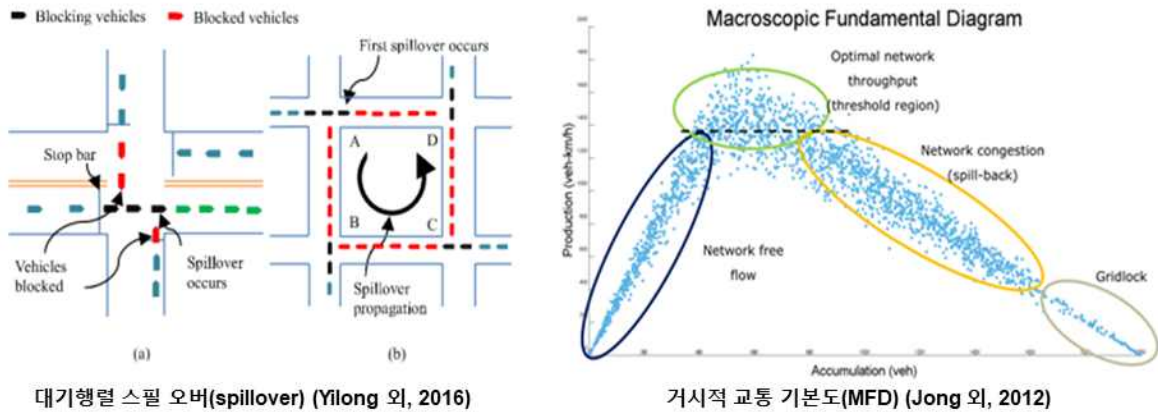
- 밤 시간대의 기존 신호와 독립신호 알고리즘, 연동신호 알고리즘을 분석하였으며, 그 결과는 다음 <표 14>와 같음
- 기존 신호의 네트워크 평균지체는 73.83초로 독립 신호 알고리즘과 연동 신호 알고리즘을 적용시 각각 60.48초, 55.92초로 낮아짐
- 평균 정지횟수는 기존 1.38회에서 독립신호 알고리즘을 적용시 1.45회로 높아졌으나, 연동신호 알고리즘을 적용시 1.37 회로 낮아짐
- 평균속도는 기존 22.81 km/h에서 독립신호와 연동신호 알고리즘을 적용시 각각 24.98 km/h, 25.61 km/h로 증가하여 네트워크 소통이 좋아짐

<표 14> 밤 시간대 시뮬레이션 결과

| 구분             |           | 네트워크 평균 지체 | 평균 정지 횟수 | 평균 속도 | 도착차량대수 |
|----------------|-----------|------------|----------|-------|--------|
| 밤<br>(22시~23시) | 기존 신호     | 73.83      | 1.38     | 22.81 | 6,027  |
|                | 독립신호 알고리즘 | 60.48      | 1.45     | 24.98 | 6,093  |
|                | 연동신호 알고리즘 | 55.92      | 1.37     | 25.61 | 6,185  |

## 나. V2X 기반 네트워크 교통신호제어 알고리즘

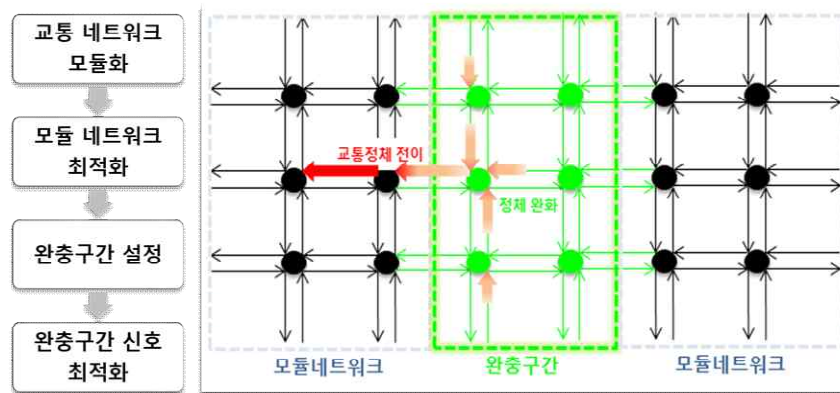
### (1) 네트워크 신호제어 알고리즘 성능 평가 지표선정



[그림 19] 네트워크 신호제어 알고리즘 성능 평가 지표

- 과포화 도심지 네트워크의 교통정체는 일부 도로의 대기행렬이 증가하여 대기행렬 스펠오버(spillover)가 발생함에 따라, 인접교차로의 용량을 감소시켜 연쇄적으로 발생함
- 이에 따라, 네트워크 단위의 교통신호제어에서 중요한 성능지표는 기존 지표인 지체 시간(delay time) 뿐만 아니라 스펠오버 발생시간(spillover occurrence time)도 추가적으로 고려해야 함
  - 스펠오버 발생시간은 신호제어를 시작한 시점부터 한 과포화 링크에서 대기행렬이 증가하여 인접교차로의 차량의 진입을 방해하기 시작하는 시점까지의 시간을 의미하며, 스펠오버 발생을 지연시킬수록 대상 네트워크의 용량을 더 오랜 시간동안 유지할 수 있음
- 또한, 최근에 교통 네트워크의 성능평가도구로써 거시적 교통 기본도(MFD, macroscopic fundamental diagram)를 활용되고 있음
  - 거시적 교통 기본도는 한 교통 네트워크에서의 평균교통류율(average flow)과 평균교통밀도(average density)간의 관계를 나타내는 다이어그램이며, 최근에는 평균교통밀도 뿐만 아니라 교통밀도의 표준편차(standard deviation of density)도 교통 네트워크의 성능에 영향을 미치는 중요한 인자로 판단되고 있음
- 네트워크 교통신호제어 알고리즘의 성능평가 지표는 지체시간(delay time), 스펠오버 발생시간(spillover occurrent time), 네트워크 평균교통류율(average flow), 평균교통밀도(average density), 교통밀도의 표준편차(standard deviation of density)를 고려함

## (2) 완충구간(Buffer network)의 개념 도출

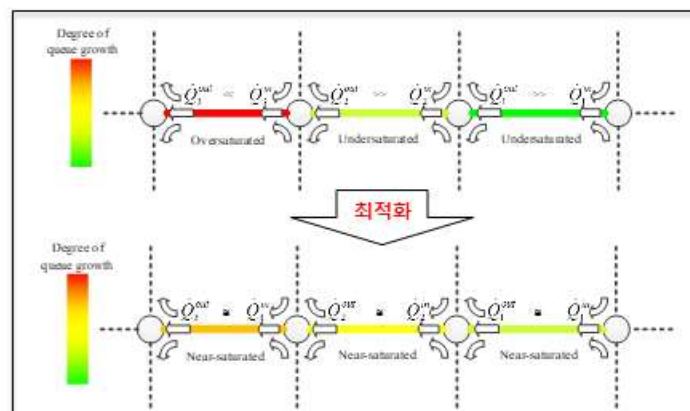


[그림 20] 광범위 교통네트워크 제어전략 및 완충구간(Buffer network)

- 광범위한 교통네트워크를 제어하기 위해서는 교통네트워크 모듈화가 필수적임
- 모듈화 된 각 네트워크를 신호제어 알고리즘을 통해 최적화할 경우, 다른 인접 네트워크에 교통정체가 전이되어 교통상황이 악화될 수 있으므로 네트워크 모듈 간의 교통정체 전이가 최소화될 수 있도록 완충 구간 설정이 필요함
- 관심영역이  $n \times m$  네트워크에서 신호 운영을 최적화할 경우, 위의 [그림 20]과 같이 외곽링크에서 대기행렬이 증가하여 인접 네트워크에 영향을 미칠 수 있음
- 이러한 정체 전이현상을 완화할 수 있는 완충구간(buffer network)을 설정하기 위해서는 네트워크 교통신호 제어 알고리즘을 이용하여 도로별 포화도와 관련 민감도를 분석하고 관심 네트워크의 스�필오버 발생위험 도로를 파악해야 함
- 또한 스�필오버 발생위험 링크를 포함한 특정 구간에서 대기행렬 증가율을 알고리즘을 통해 제어하여 다른 인접네트워크에 영향을 미치지 않게 하거나 전이속도를 최대한 지연시킬 수 있으며, 이러한 제어전략을 통해 광범위한 네트워크를 효과적으로 운영할 수 있음

## (3) V2X 기반 네트워크 교통신호 운영 최적화 알고리즘 개발

### (가) 대기행렬 증가 균등화 방법(Queue Growth Equalization, QGE)



[그림 21] 대기행렬 증가 균등화 방법의 개념도

- 대기행렬 증가 균등화 방법은 관심 교통네트워크에서 각 도로의 대기행렬증가율을 최대한 균등하게 제어할 수 있는 교통신호 최적화 알고리즘임
- 대기행렬증가율을 균등화함으로써 교통 체증에 치명적인 영향을 주는 스푼오버(spillover) 현상 지연시킬 수 있고, 이를 통해 인접 네트워크에 교통 정체의 전이를 최소화할 수 있음
- 본 알고리즘의 개발을 위한 새로운 효과척도(MOE)는 QGE의 정도(degree of QGE)로 정량화하였으며, QGE의 정도는 한 도로의 방향별 교통유입량(inflow rate)과 방출용량(discharge capacity)의 차이인 대기행렬 증가율(Queue growth)의 제곱합으로 아래와 같은 수식으로 나타낼 수 있음

(Degree of QGE)

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{link} \sum_{move} (\max(inflow\ rate - discharging\ capacity, 0))^2 \\
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\max(\alpha_{i,j} \dot{Q}_i^{in} - l_{i,j} \dot{q}_{i,j}^{out} t_{i,j}, 0))^2
 \end{aligned}$$

< 대기행렬 증가 균등화의 효과척도 >

$\alpha_{i,j}$  = 총 교통 수요에 대한  $i$  번째 링크에서  $j$  방향으로 가는 비율

$\dot{Q}_i^{in}$  =  $i$  번째 링크로 들어오는 차들의 유입량 (차량/시간)

$l_{i,j}$  =  $i$  번째 링크에서  $j$  방향으로 할당된 차선의 수

$\dot{q}_i^{out}$  =  $i$  번째 링크에서  $j$  방향으로 가는 차선 당 유출량 (차량/시간/차선)

$t_{i,j}$  =  $i$  번째 링크에서  $j$  방향에 대한 신호 상태(signal phase)

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_x^{in} &\cong \sum_{adj} \min(\alpha_{adj} \dot{Q}_{adj}^{in}, l_{adj} \dot{Q}_{adj}^{max} t_{adj}) \\
 &= \sum_{adj} \dot{Q}_{adj}^{out} \\
 &= \dot{Q}_x^{in}(t_{adj})
 \end{aligned}$$

< 관심 네트워크의 내부 도로의 교통유입량 수식 >

- 한 도로의 교통유입량  $\dot{Q}_a^{in}$  은 교통류의 보존법칙(traffic flow conservation)을 통해 인접 관련 도로의 유입량과 방출용량을 이용하여 위의 식과 같이 표현할 수 있음
- 이것은 관심 네트워크 내부 도로의 방출용량 뿐만 아니라 유입량 또한 신호시간을 통해 제어할 수 있다는 것을 의미하며, 본 알고리즘의 간단한 수식을 통해 광범위한 네트워크를 제어할 수 있음

$$\text{Minimize } f(\phi_{i,k}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\max(\alpha_{i,j} \dot{Q}_{i,j}^{in} - l_{i,j} \dot{q}_{i,j}^{out} t_{i,j}, 0))^2$$

$$\text{Subject to } h(\phi_{i,k}) = \sum_{k=1}^c \phi_{i,k} = 1$$

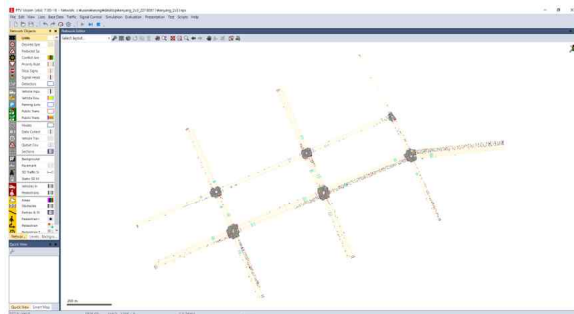
$$0 \leq \phi_{i,k} \leq 1$$

< 대기행렬 증가 균등화 방법의 최적설계 수식 >

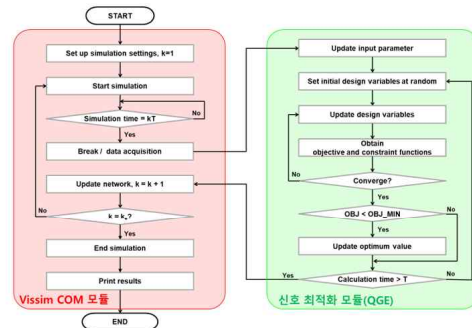
- 앞 문단에서 설명한 QGE의 정도가 목적함수이며, 설계변수는 각 교차로의 신호현시 비이고 제한조건으로는 한 교차로에서의 신호현시 비의 합은 반드시 1이어야 되는 등식제한조건(equality constraint)과 신호현시 비가 0보다는 크거나 같고 1보다는 작거나 같아야 하는 사이드제한조건(side constraint)이 있음

#### (나) 대기행렬 증가 균등화 방법의 유효성 검증

##### ○ 시뮬레이션 실험설정



안양 네트워크 시뮬레이션 모델링



V2X 데이터 교환을 위한  
Vissim COM 모듈과 신호 최적화 알고리즘

[그림 22] 시뮬레이션 실험 설정

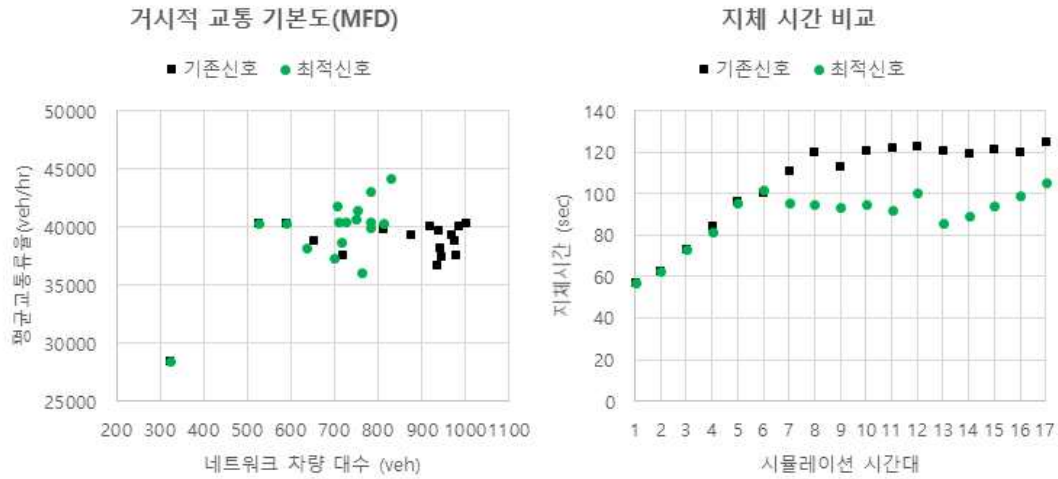
- 안양 네트워크의 실제 데이터를 기반으로 교통 상용소프트웨어인 VISSIM을 이용하여 시뮬레이션 실험을 수행하였음
- 교통 시뮬레이션(VISSIM)과 제안된 알고리즘(QGE) 간의 V2X 기반 교통 데이터를 교환을 위하여 위와 같이 VISSIM COM 모듈을 이용하여 구성하였음
- 안양 네트워크의 실제 운영되고 있는 신호데이터와 제안된 알고리즘의 최적신호를 동일한 시뮬레이션 환경에 적용하여, 앞서 선정된 성능지표로 비교 실험하였음

##### ○ 시뮬레이션 실험결과

- 본 알고리즘은 스�필오버 발생위험 링크를 포함한 과포화 네트워크의 교통량을 균등화 하여 대기행렬 증가율을 알고리즘을 통해 제어하는 것으로 네트워크 단위의 효과개선 여부가 중요하므로, 네트워크 단위 효과분석 결과를 도출하도록 함
- 기존 신호 대비 교통 네트워크 지체시간이 17.07% 감소하였으며, 거시적교통기본도(MFD) 데이터 또한 상당히 개선되었음(평균교통류율 3.58% 증가, 네트워크 차량대수

17.46% 감소, 네트워크 차량대수의 표준편차 41.98% 감소)

- 특히, 네트워크 차량대수의 표준편차가 매우 큰 폭으로 감소한 것은 네트워크 내의 차량 분포가 보다 더 균등하게 분포한 것을 의미하므로, 대기행렬 증가 균등화 방법(QGE)의 전략적 성과를 나타내는 정량적 결과임



|                  | 기존 신호    | 최적 신호    | 기존 신호 대비 개선율 |
|------------------|----------|----------|--------------|
| 지체시간(sec)        | 114.10   | 94.63    | 17.07%       |
| 평균교통류율(veh/hr)   | 38839.80 | 40229.23 | 3.58%        |
| 네트워크 차량 대수(veh)  | 902.95   | 745.28   | 17.46%       |
| 네트워크 차량 대수의 표준편차 | 30.91    | 17.94    | 41.98%       |

[그림 23] 시뮬레이션 실험 결과

#### 다. 교통/통신 통합 시뮬레이션을 이용한 평가플랫폼 개발

##### (1) 교통/통신 통합 시뮬레이션 평가 플랫폼 개요

###### (가) 연구 목적

- 본 연구의 목적은 교통/통신 통합 시뮬레이션 플랫폼을 구축하고, 이를 향후 진행 연구에 범용적으로 활용될 수 있도록 개발함에 그 목적이 있음
- 구축된 플랫폼을 활용한 분석을 통해 통합 시뮬레이션 활용 시 고려사항을 파악하고자 하였음

###### (나) 연구 수행 내용

- 교통과 통신의 시뮬레이션 툴 간 조합을 검토하여 본 연구 목적에 적합한 통합 시뮬레이션을 구축함
- 통합 시뮬레이션 플랫폼의 범용적 활용을 위해 Interface 매체를 개발함
- 구축된 플랫폼을 활용한 시나리오 분석을 수행하고 발생 가능한 통신 지체에 대한 해결책을 제시함
- 다양한 교통량에 대한 분석을 통한 통신 지체의 영향정도를 검토함

## (2) 통합 시뮬레이션 대안 검토

### ○ VISSIM과 NCTUns 통합 시뮬레이션<sup>2)</sup>

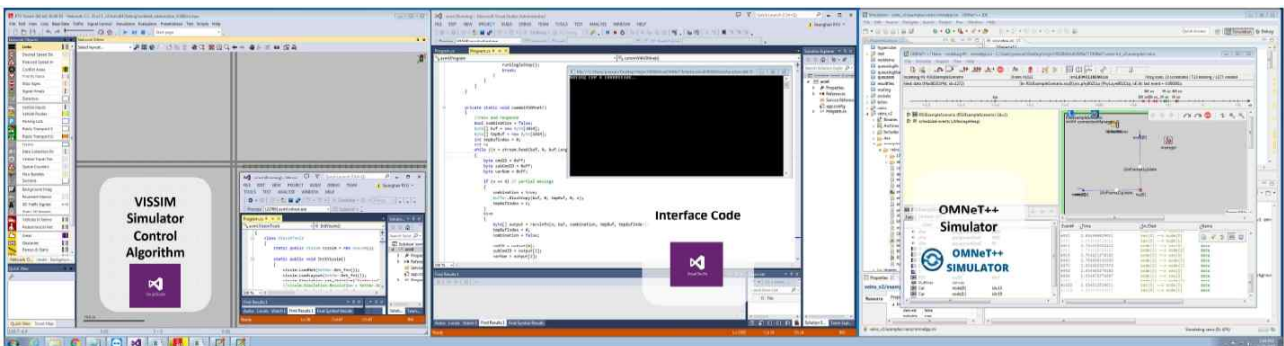
- 미시적 교통시뮬레이션 툴인 VISSIM과 Wireless communication simulator인 NCTUns의 통합 형태를 검토하였으나, 교통 시뮬레이션과 통신 시뮬레이션을 구현하는 OS가 달라 (Windows와 Linux) 효율성이 떨어지고, 컴퓨터 계산 시간이 오래 걸린다는 단점을 확인함

### ○ SUMO와 OMNeT++ 통합 시뮬레이션 구축<sup>3)</sup>

- 이벤트 기반의 도로 네트워크용 시뮬레이션 프로그램인 SUMO와 무선통신 네트워크 시뮬레이션 프로그램인 OMNeT++를 검토하였음. 이는 Veins라는 오픈소스 Framework이 구성되어 있는 장점이 있으며 단일 OS내에서 시뮬레이션 분석이 가능함
- 본 연구의 목적이 4세대 신호제어시스템 개발임을 고려할 때 SUMO에 내재된 신호제어 시스템은 다소 개선이 필요하다고 판단함(예, adaptive signal control)

### ○ VISSIM과 OMNeT++ 통합 시뮬레이션 구축

- VISSIM은 교통운영 및 첨단교통체계(ITS) 분석에 최적화 되어있는 교통 시뮬레이션 툴로 API를 통해 adaptive signal을 포함하여 본 연구에서 개발한 신호 제어 시스템을 구현할 수 있음. 이는 SUMO에서 부족한 교통 시스템적 측면을 보완할 수 있어 본 연구의 목표에 적합함



[그림 24] VISSIM과 OMNeT++ 통합 Framework

## (3) VISSIM과 OMNeT++ 통합 시뮬레이션 환경 개발 및 분석

### (가) 통합 시뮬레이션을 위한 Interface 개발

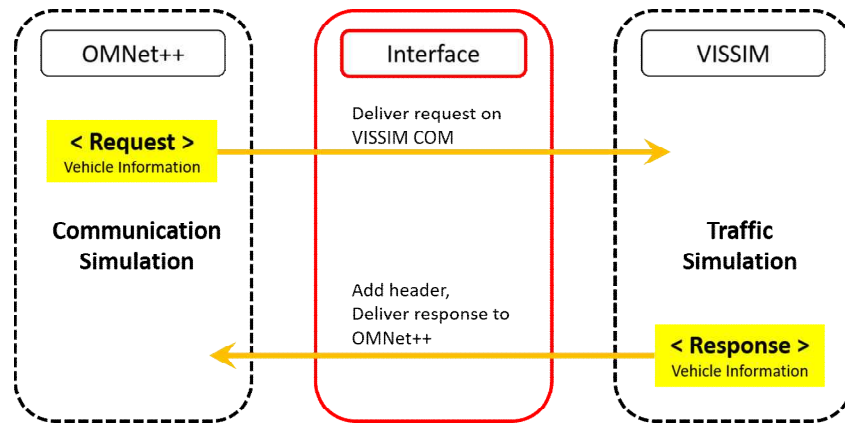
#### ○ 교통/통신 시뮬레이터 간 정보 교환

- [그림 28]에서와 같이 OMNeT++에서의 차량 정보 요청은 interface 매체를 통해 VISSIM에 요청 정보를 전달하며 VISSIM이 응답한 차량정보를 interface에서 가공하여 OMNeT++에 전달함

2) Miloslavov et al. (2010) "Details of the integrated VISSIM-NCTUns vehicular-wireless simulation platform," University of Virginia, Technical report

3) "OMNET SUMO PDF," Retrieved Sept. 28<sup>th</sup> from [omnetplusplus.com/omnet-sumo-pdf](http://omnetplusplus.com/omnet-sumo-pdf), [veins.car2x.org](http://veins.car2x.org)

- 정보 교환 Interface 매체의 개발은 향후 통합 시뮬레이션 환경을 본 연구에서 개발된 네트워크 신호운영 시스템에 적용하였을 때 범용적으로 활용될 수 있는 분석 시스템 개발에 목적이 있음



[그림 25] VISSIM과 OMNet++ 간 정보 교환

#### (나) 통합 시뮬레이션 요청 정보

##### ○ 기존 Veins에서 제공한 요청 정보

- 기존 개발된 SUMO와 OMNeT++ Framework에서 제공한 정보는 시간에 따른 차량의 정보(메세지 A)와 통신 범위 내 새로 도착한 차량 정보(메시지 B)로 구분됨

메시지(A) :  $|N_1|N_1|N_1|T|id_1^1|...|id_{N_1}^1|id_1^2|...|id_{N_2}^2|id_1^3|...|id_{N_3}^3|id_1^3|x_1^3|y_1^3|v_1^3|deg_1^3|...|id_{N_3}^3|x_{N_3}^3|y_{N_3}^3|v_{N_3}^3|deg_{N_3}^3|$

메시지(B) :  $|x|y|v|deg|$

$N_1$  : 네트워크에서 사라진 차량들의 수  
 $N_2$  : 네트워크에서 새롭게 등장한 차량들의 수  
 $N_3$  : 네트워크에 이전에도 있고 지금도 있는 차량들의 수  
 $T$  : 시뮬레이션 시간  
 $k$  : 1은 사라진 차량들, 2는 새로운 차량들, 3은 이전도 있고 지금도 있는 차량들  
 $n$  : 차량 인덱스  
 $id_n^k$  :  $k$ 와  $n$ 에 따른 차량 아이디  
 $x_n^k$  : 차량의 x좌표  
 $y_n^k$  : 차량의 y좌표  
 $v_n^k$  : 차량의 속력  
 $deg_n^k$  : 차량의 헤딩

[그림 26] Veins 기존 플랫폼에서의 요청 정보와 내용

##### ○ 본 연구에 추가된 요청 정보

- 기존 플랫폼에 intersection control을 구현하기 위하여 추가된 요청 정보는 OBU 송신 정보(메세지 C), RSU 수신 정보(메세지 D), RSU 송신 정보(메세지 E), 그리고 OBU 수신 정보(메세지 F)로 구성됨

메시지(C) : `|link_no|pos|acc|speed|schedule|`  
 메시지(D) : `|cmd|`  
 메시지(E) : `|number|id|schedule| ... |id|schedule|`  
 메시지(F) : `|cmd|`  
  
*link\_no* : VISSIM 링크 번호  
*pos, acc, speed* : 차량 위치, 가속도, 속도  
*cmd* : 송수신 확인 메시지  
*schedule* : 알고리즘에 따른 변수 (예, 도착 스케줄)

[그림 27] 본 연구에 추가된 요청 정보

- Interface는 OBU와 RSU 간 송수신 과정에서 메시지 전달 여부를 확인하고 시뮬레이션 플랫폼을 구동하며 이에 대한 통신 시뮬레이션 결과를 도출함
- 향후 적용될 신호 알고리즘의 필요한 송수신 정보 내용에 따라 교통 시뮬레이션 환경을 수정하지 않고 Interface 매체의 정보 전달 protocol만 수정하여 범용적 활용이 가능

#### (4) 교통/통신 통합 시뮬레이션 환경을 이용한 시나리오 분석

##### (가) 통합 시뮬레이션을 이용한 분석 알고리즘

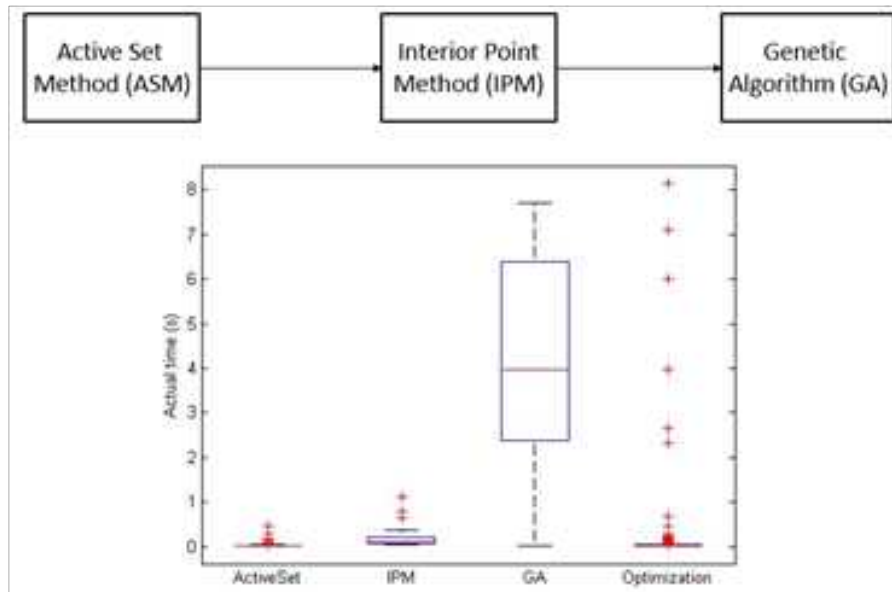
###### ○ 분석 알고리즘 개요

- 본 연구에서 개발한 통합 시뮬레이션을 이용한 분석 알고리즘으로 Cooperative Vehicle Intersection Control (CVIC)과 Optimal Control Algorithm (OCA)를 채택하였음
- 교통과 통신을 함께 고려할 때 가장 큰 영향을 미치는 요소는 통신이 이루어지는 교통량이며, 본 연구에서는 통신 지체 및 실패가 가장 많이 일어날 수 있는 통신 비율 100%를 가정하여 분석함으로써 향후 적용 가능한 신호 알고리즘에 대해 어떠한 통신 비율에도 그 영향이 최소화 될 수 있음을 증명하고자 하였음
- 알고리즘을 채택함에 있어 Computation Time을 고려하였는데 worst case scenario로 CVIC 알고리즘과 best case scenario로 OCA 알고리즘을 분석 및 비교하였음. 각 알고리즘에 대한 설명은 아래와 같음

###### ○ 분석 알고리즘 1: Cooperative Vehicle Intersection Control (CVIC)<sup>4)</sup>

- CVIC algorithm은 교차로 내 차량 충돌을 방지하는 통제 시스템을 비선형 최적화 문제로 설정하여 최적화 풀이 방법인 Active Set Method (ASM), Interior Point Method (IPM), 그리고 최적화 실패를 대비한 Genetic Algorithm (GA)으로 문제의 솔루션을 제공함

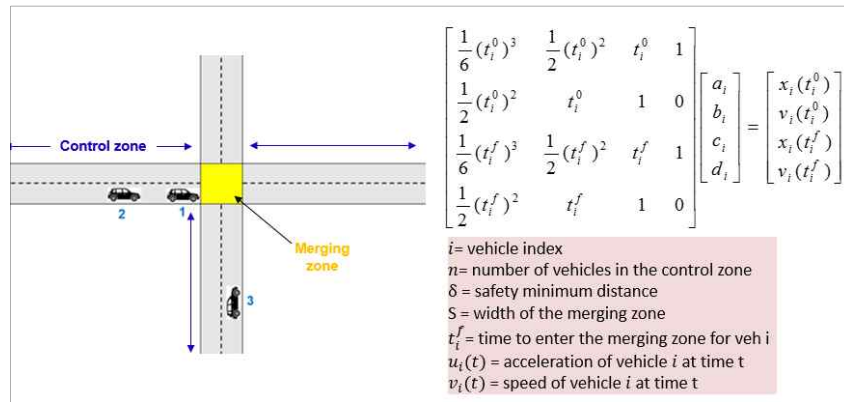
4) J. Lee and B. Park (2012), "Development and Evaluation of a Cooperative Vehicle Intersection Control Algorithm Under the Connected Vehicles Environment," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 13, no. 1, pp. 81-90



[그림 28] CVIC 알고리즘 최적화 방법에 따른 Computation Time

- [그림 28]은 CVIC 알고리즘 최적화 방법에 따른 Computation Time을 측정한 결과이며 최적화에 실패하여 GA로 솔루션을 구할 경우 해를 구하는 시간이 평균 1초가 넘어가기 때문에 실제 상황에서 최적화 결과를 통신하지 못할 경우도 발생 가능함
- RSE는 주기적으로 메시지를 송신하기 때문에 최적화 결과가 도출되지 못할 경우 더미 메시지를 송신하도록 설계하였으며 이는 실제 상황에서 발생할 수 있는 데이터 처리시간을 고려한 부분임
- 분석 알고리즘 2: Optimal Control Algorithm (OCA)<sup>5)</sup>
  - OCA는 Hamiltonian Analysis를 근거로 차량의 가속도를 최소화 하는 궤적을 계산하는 알고리즘이며 차량의 위치, 속도, 교차로 통과 스케줄의 정보를 이용하여 Hessian Matrix를 풀어 최적해를 제공함
  - 이 알고리즘의 경우, 최적화 과정이 아닌 analytical solution을 제공하여 Computation Time이 거의 발생하지 않아 (예, 0.002318초) 이상적인 교통/통신 통합 시뮬레이션 환경을 평가하기에 적합함

5) Y. Zhang, A. A. Malikopoulos, and C. G. Cassandras (2016), "Optimal Control and Coordination of Connected and Automated Vehicles at Urban Traffic Intersections," in Proceedings of the American Control Conference, pp. 6227 - 6232.

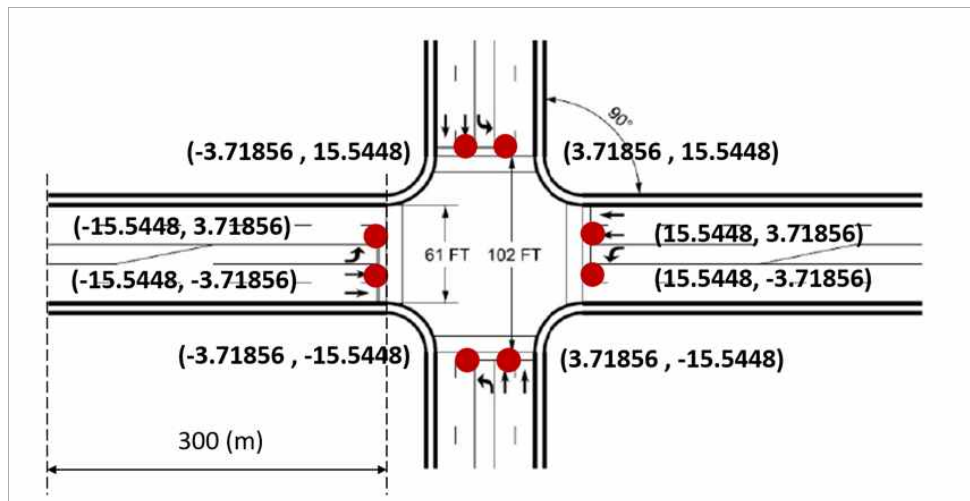


[그림 29] OCA 알고리즘

## (나) 통합 시뮬레이션 분석 환경 및 결과

### ○ 통합 시뮬레이션 분석 환경

- 본 연구에서는 알고리즘에 따른 통신 영향을 분석하고 해결책을 제시하는 데에 중점을 두어 네트워크를 단일 교차로로 한정하였으며, 본 시뮬레이션 환경을 동일한 방법으로 적용하여 네트워크 기반으로 확장이 가능함
- 교차로 교통량은 360대/시로 제한하였으며 도착 교통 분포는 VISSIM에서 제공하는 2, 3, 5, 7번 seed를 사용하였음
- 교차로 길이는 방향당 300m로 설정하였으며 시뮬레이션은 900초간 수행하였음



[그림 30] 분석 네트워크 (단일 교차로)

### ○ 분석 결과

- A, B, C는 Computation time과 Communication Latency에 따른 CVIC 알고리즘의 결과를 나타내며 D는 OCA 알고리즘의 결과를 나타냄



[그림 31] CVIC 및 OCA 알고리즘에 따른 통신 지체 및 통신 차량 수

- OMNeT++에서 제공하는 Standard MAC protocol 설정에 따른 차량 OBU와 RSU 간 통신 지체를 측정한 결과 통신 가능 거리 내 약 40대의 차량이 통신을 시도하였으나 평균 10대의 차량이 통신에 성공하였고 이때의 통신 지체가 10초까지 상승함을 확인함
- 통신 지체는 교차로 통과 교통량 증대를 위한 최적화 과정에서 최적해 도출에 영향을 미칠 수 있으며 교통사고로 이어질 수 있어 통신 지체 감소 방안이 필요함

#### (다) 통신 지체 감소 방안 제안

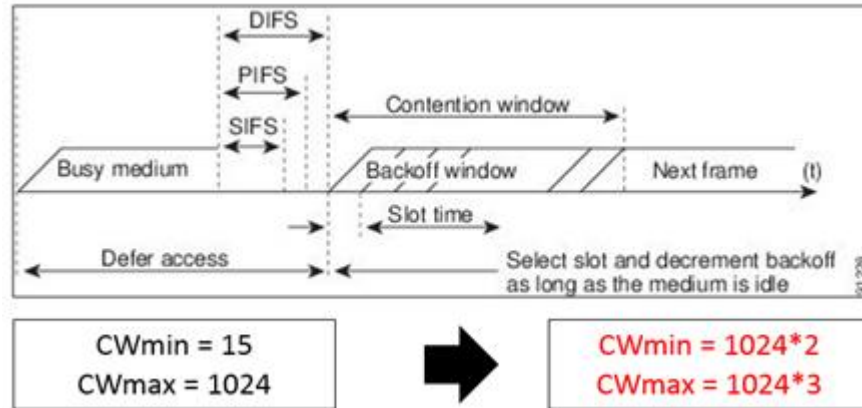
##### ○ 통신 지체 감소의 필요성

- 상기 분석은 다양한 Connected Vehicle application 중 교차로 통제 시스템과 차량 통신장비 간의 단일 통신만을 고려함
- 실제로 적용 시 발생 가능한 통신 충돌은 RSU와 OBU 간 통신 지체를 증가시킬 것으로 판단함
- 이러한 현상을 막기 위한 방법으로 통신 경쟁 범위 (Contention Window) 조정을 통한 통신 지체 감소 방법을 제안하고자 함

##### ○ 통신 경쟁 범위 (Contention Window) 조정을 통한 통신 지체 감소

- 통신 경쟁 범위는 통신장비가 신호를 전송함에 있어 통신 충돌(packet collision)이 일어날 경우, 신호 재전송을 가능케 하는 시간적 범위를 의미함
- 통신장비(예, DSRC)는 통신 경쟁 범위 내 재전송 시도가 통신 충돌(packet collision)을 일으켜 신호 전송을 완료하지 못할 경우 통신의 단절(packet drop)이 발생함
- 백오프 연산(backoff algorithm)은 재전송 시 사용되는 알고리즘으로 경쟁 범위 내에서 재전송을 시도하기까지의 지연시간을 계산하는 연산임

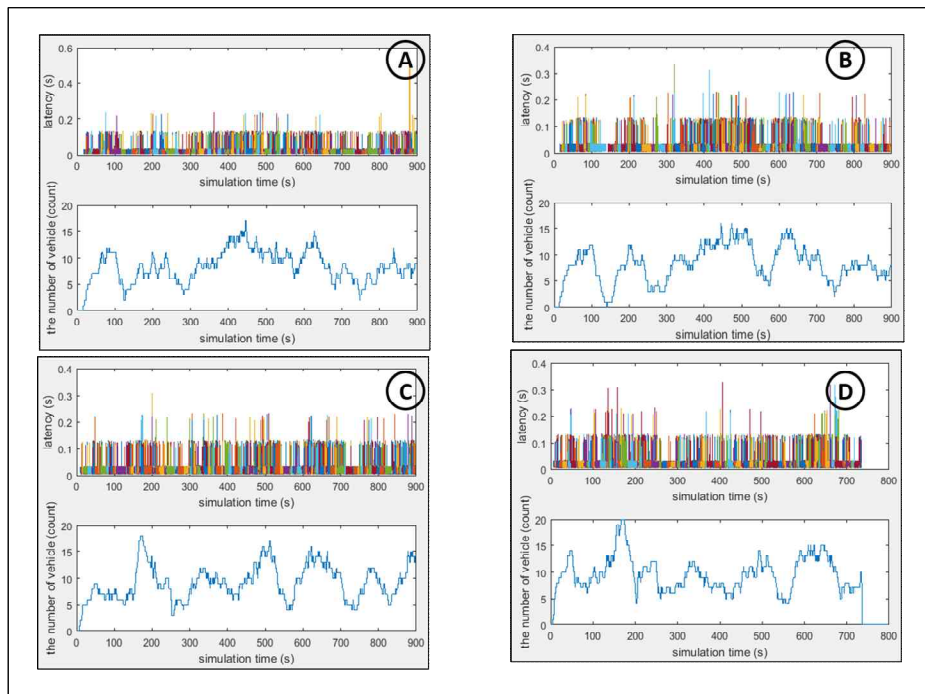
- 백오프 연산은 알고리즘 내에서 random waiting time을 부과하기 때문에 결과적으로 통신 경합 범위의 크기에 따라 통신 충돌 확률이 결정되며, 이 확률을 낮추기 위해 통신 경합 범위를 증가시킬 필요가 있음



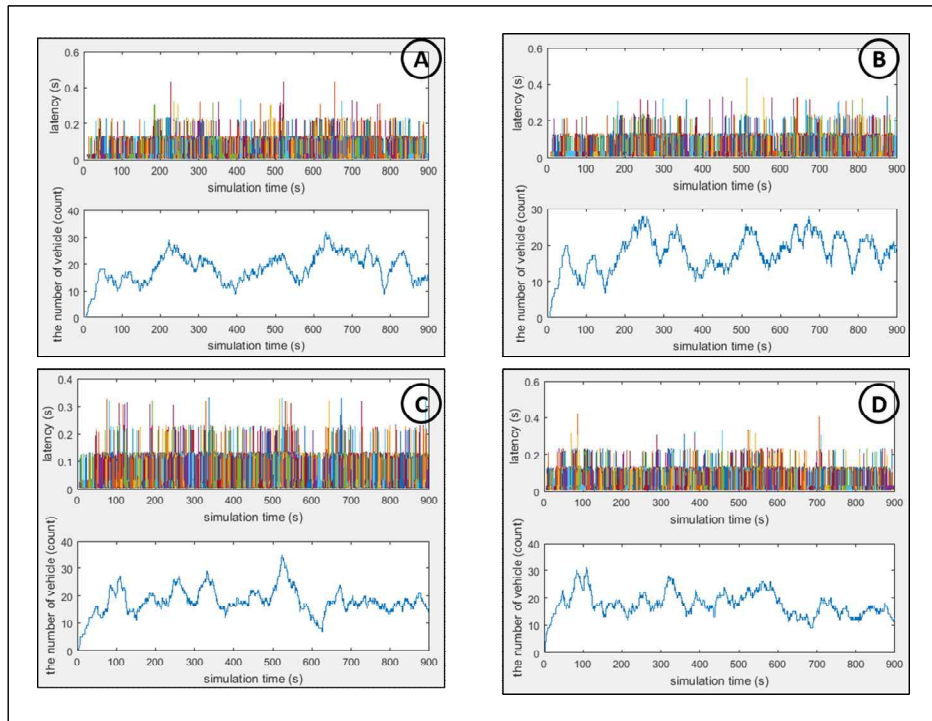
[그림 32] 통신 흐름도와 통신 경합 범위 조정

○ 통신 경합 범위 (Contention Window) 조정을 통한 분석 결과

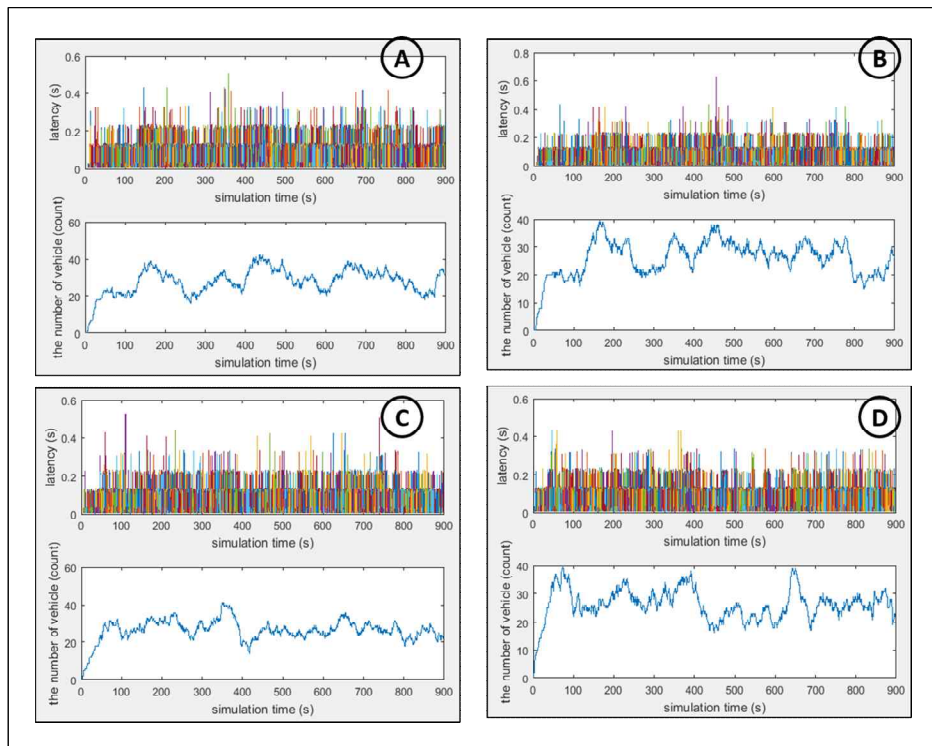
- [그림 32]의 예제와 같이 통신 경합 범위를 증가시키고 충돌 확률을 감소시켜 분석을 진행하였으며, 분석 결과 평균 0.3초의 실시간으로 반영이 가능한 통신 지체를 도출함
- [그림 33]-[그림 36]은 통신 경합 범위 조정을 적용한 다양한 교통량에 따른 결과를 제시함



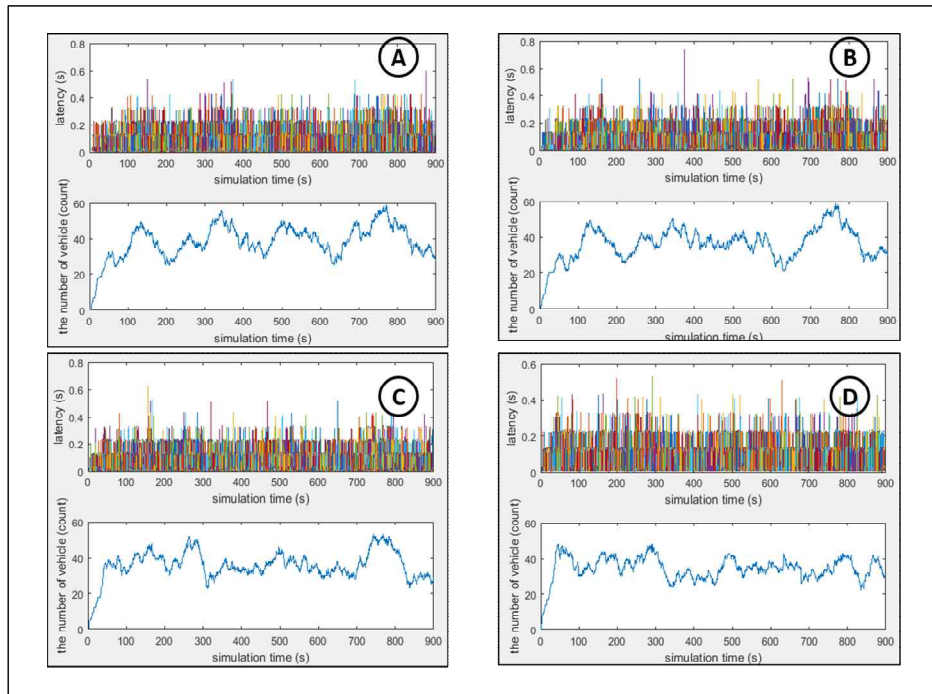
[그림 33] 통신 경합 범위 조정 적용 분석 결과 (교통량 180vph)



[그림 34] 통신 경합 범위 조정 적용 분석 결과 (교통량 360vph)



[그림 35] 통신 경합 범위 조정 적용 분석 결과 (교통량 570vph)



[그림 36] 통신 경합 범위 조정 적용 분석 결과 (교통량 760vph)

- 혼잡 발생이 가능한 교통량 수준에서도 평균 0.4초 이하(최대 0.75초)의 통신 지체로 모든 차량의 안정적인 통신이 이루어지고 있음
- 이는 통신차량 비율이 100%인 상황에서의 결과로 자율주행차의 시장 점유율에 따른 통신 비율이 낮을수록 원활한 통신이 가능하여 지체가 감소할 것으로 사료됨

##### (5) 소결

###### ○ 교통/통신 통합 시뮬레이션 환경 구축

- 본 연구에서는 교통/통신 통합 시뮬레이션 환경 구축을 위한 교통 및 통신 시뮬레이터 대안을 검토하였으며 소프트웨어 간 호환 효율성을 근거로 interface 매체를 통한 VISSIM과 OMNeT++의 통합 분석 환경을 구축함
- 통합 시뮬레이션 환경은 interface 매체를 통해 교통신호 및 제어 알고리즘을 범용적으로 적용할 수 있도록 개발됨
- 연구의 결과물로 구축된 통합 시뮬레이션 분석 환경과 분석 예를 제시하였으며 통신 지체를 개선하기 위한 방법을 제안함

###### ○ 통신 지체 감소를 위한 통신 경합 범위 조정 제안

- 통합 시뮬레이션 환경 분석 결과, RSU와 OBU의 통신만을 고려했음에도 불구하고 통신 지체가 10초까지 상승하는 추세를 보임
- 다양한 Connected Vehicle Application이 보편화 됨에 따라 RSU와 OBU 간의 통신이 지체될 가능성이 있음을 인지함
- 통신 경합 범위 조정을 통해 동일 분석 상황에서 교통량 수준에 따른 통신 지체를 분석하였으며 평균 0.4초 이하의 통신지체와 함께 모든 차량의 통신을 확인하였음. 따라서 실도로 적용시 안정적 통신이 이루어질 수 있도록 상기 방법을 제안함

#### 4. 4세대 신호제어시스템(CoVASS) V2X-i 통신 사양 및 차량 측위 정확도 요구사항 도출

##### 가. V2X-i 기반 WAVE MAC 통신혼잡 제어 알고리즘 및 시뮬레이션 검증

###### (1) WAVE MAC 통신혼잡 제어 알고리즘

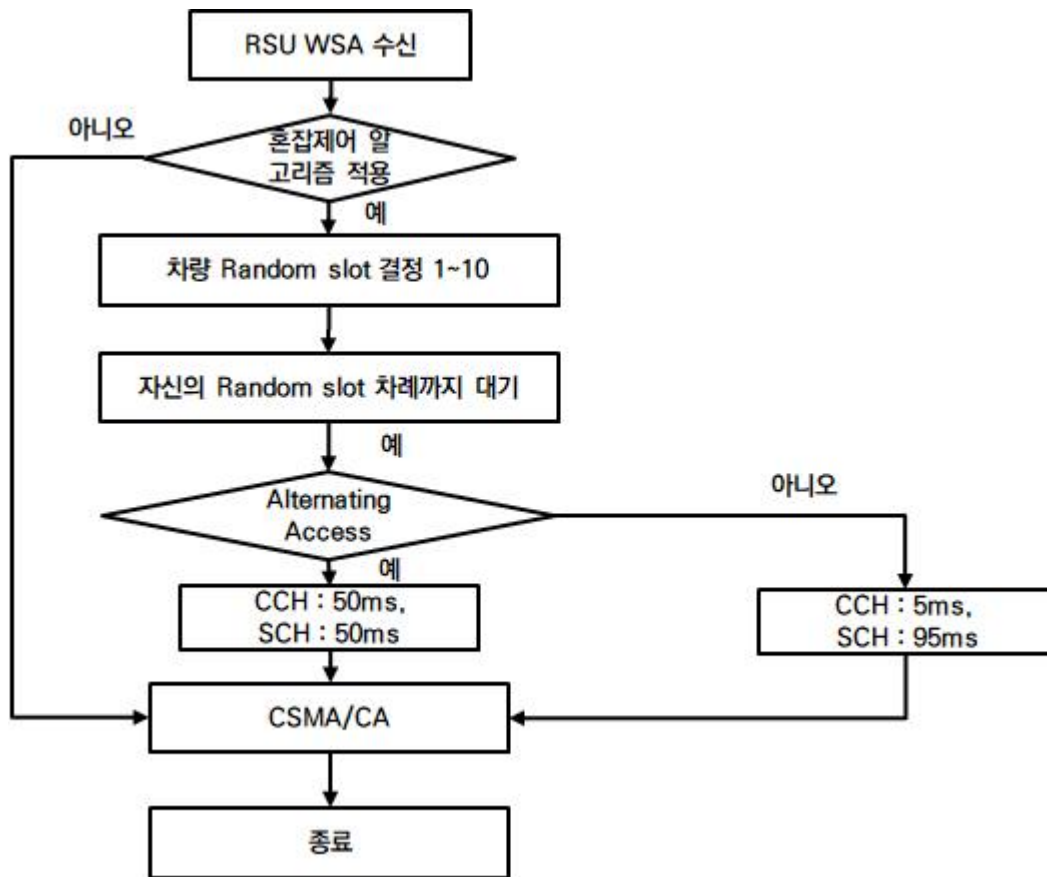
###### (가) 기존 WAVE MAC 통신혼잡 제어 알고리즘

- 차량 안전 서비스는 차량 간 근거리 무선 통신 표준인 WAVE(Wireless Access in Vehicular Access) 표준 기반임
- 차량 안전 메시지 전송 프로토콜은 원활한 서비스를 위해 메시지의 전송 성공 확률과 전송 지연이 반드시 보장되어야 함
- WAVE 통신은 CSMA/CA(Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 특성상 도심의 교차로와 같은 차량 밀집 지역에서는 안전 메시지의 전송 성공 확률이 감소됨
  - Provider인 노변기지국의 통신반경에 진입하여 CCH(Control Channel) 구간에서 WSA(Wave Service Advertisement)를 수신한 차량들이 SCH(Service Channel) 구간에서 차량의 정보 등 관련 정보를 서비스 패킷으로 송신 시도를 함
  - 이 때, 비교적 짧은 길이의 SCH 구간의 채널 점유를 위한 각 차량들의 시도들이 메시지 빈번한 충돌을 발생시키고 노변기지국의 수신율은 감소됨
  - 특히, 차량 프로브 정보(PVD, Prove Vehicle Data)와 같은 주기적인 서비스를 수집할 때 단위 시간 내 전송하려고 하는 서비스의 성공률은 낮아짐
- 이러한 문제를 해결하기 위해 차량의 패킷 송신 파워 조절, 송신 메시지 주기 조절, 채널 및 대역폭 공유 등 많은 연구들이 있음
- 그러나 송신파워를 줄이면 좁은 범위에서만 통신이 가능하게 되고 송신파워를 높이면 간섭 신호 및 잡음이 많이 발생함. 또한, 송신 메시지 주기를 무한하게 크게 늘릴 수 없음

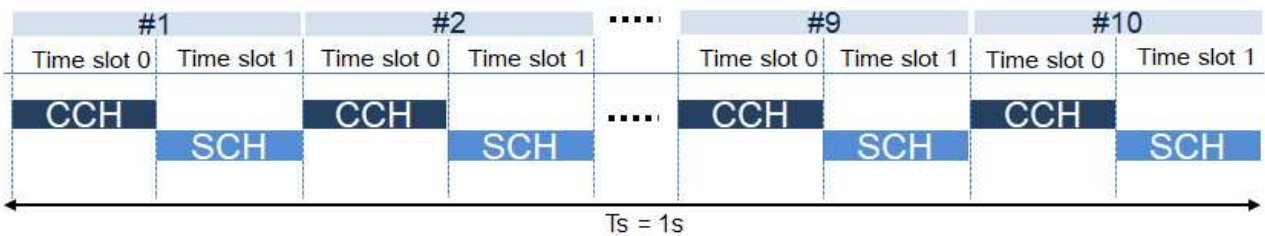
###### (나) WAVE MAC 통신혼잡 제어 알고리즘

- IEEE 1609.4 채널 운영 및 시분할 슬롯 분배
  - WAVE 통신에서 안전 메시지의 수신율 증대를 위해 채널 점유시간을 효율적으로 운영할 필요가 있음. SCH 채널 길이를 증진은 WAVE MAC 통신혼잡을 완화시킬 수 있기 때문임
  - 기존 WAVE 통신은 Alternating Access를 적용하고 있으며 이 때 CCH와 SCH 채널의 길이는 각각 50ms임
  - WAVE 1609.4 표준에 명시된 Immediate Access의 적용은 채널의 길이를 효율적으로 조절할 수 있음
  - PVD의 특성상 서비스의 원활한 제공을 위해 최소 1초에 한 번 수신하면 됨

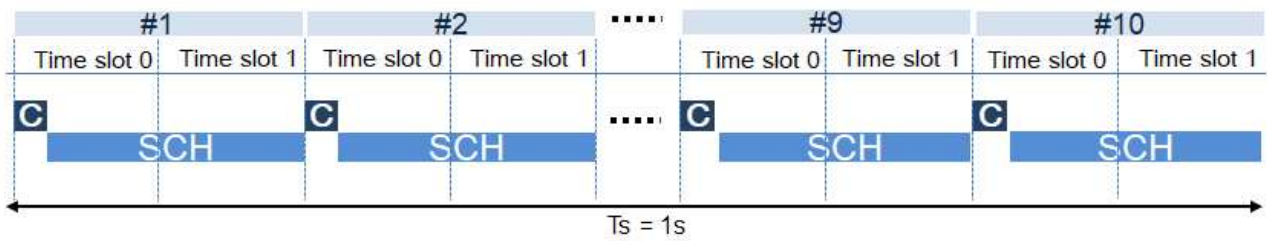
- 본 연구에서는 이를 고려한 Time slot Random Distributed Immediate Access 채널 운영 알고리즘을 제안하고 적용하였음
- Time slot Random Distributed Immediate Access의 알고리즘은 [그림 37]과 같음. PVD의 특성상 최소 1초에 한 번 수신하면 서비스를 원활히 제공할 수 있다는 점을 고려하여 SCH와 CCH 구간의 합 100ms로 분할하였고 10개의 Time Slot을 생성함
- WSA를 수신한 각 차량은 CSMA/CA로 송신 시도 전 생성된 1~10 사이의 Time Slot을 임의로 결정하여 Access를 함
- 이 때 차량의 대수에 따라 SCH, CCH 채널의 길이가 같은 Alternating Access 혹은 Service Channel의 길이를 늘린 Immediate Access를 적용하여 CSMA/CA를 수행함 [그림 38], [그림 39]



[그림 37] WAVE MAC 통신 혼잡제어 알고리즘



[그림 38] Random Access in Alternating channel access



[그림 39] Random Access in Immediate channel access

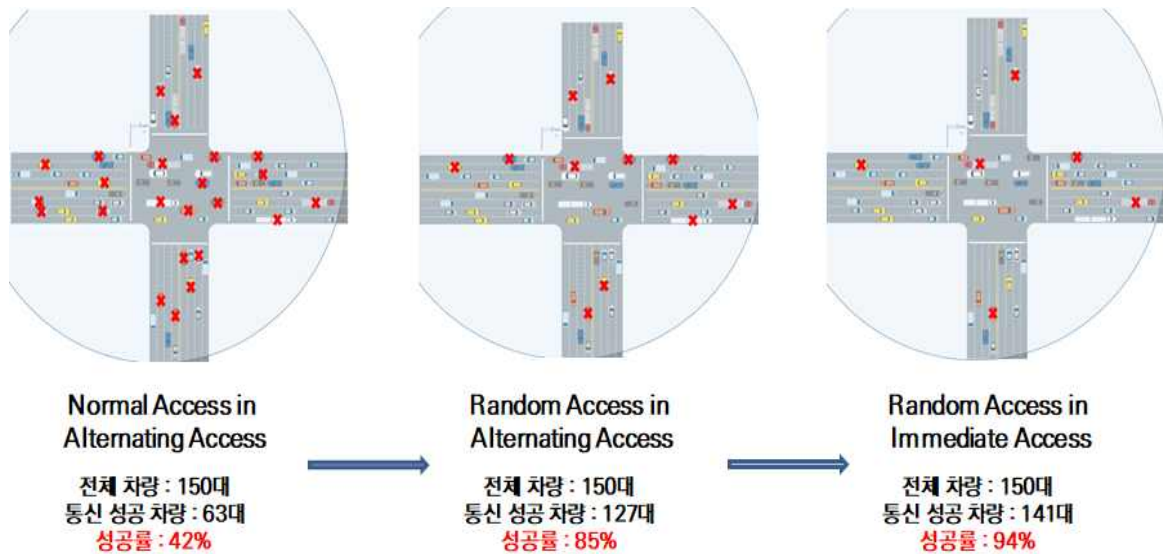
## (2) V2X-i 시뮬레이터 구현 및 성능 검증

### ○ 시뮬레이터 구현

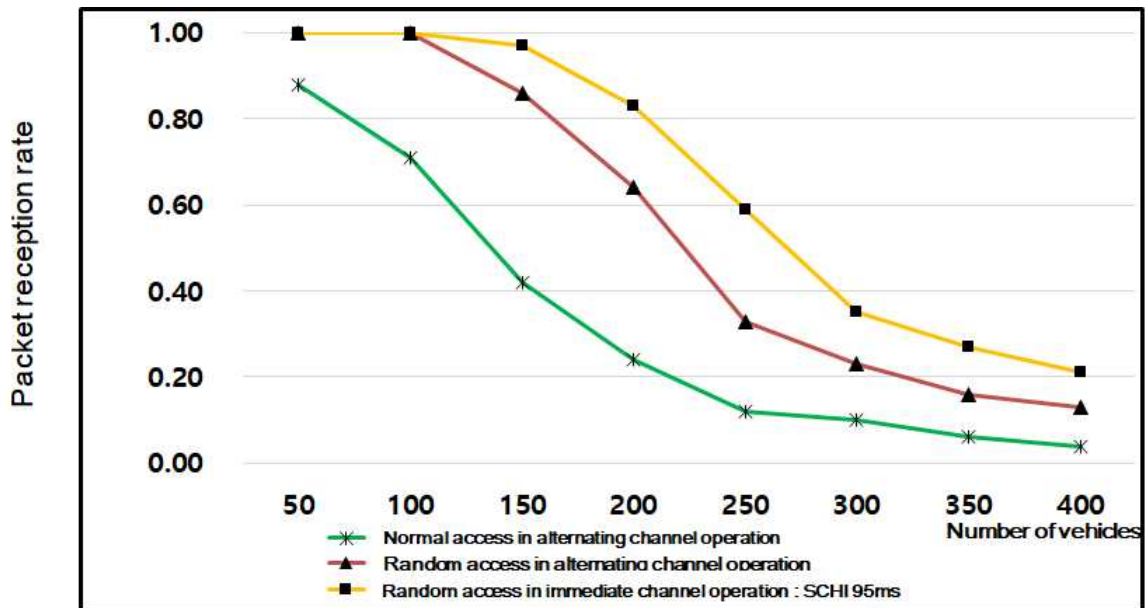
- WAVE MAC 통신혼잡 제어 알고리즘을 토대로 C++기반 시뮬레이터를 구현하였다.
- 기존의 네트워크 시뮬레이터 NS-2, QualNet이 신호등, 건물, 도로환경 등이 적용되지 않은 제한적인 Mobility 적용됨
- 본 시뮬레이터에서는 기존 네트워크 시뮬레이터와 달리 안양 3X2 교차로의 실제 움직임을 적용한 Vissim 파일을 토대로 WAVE 기반 네트워크 시뮬레이터를 구현하였음

### ○ 시뮬레이터 성능 검증

- [그림 40]은 전체 차량이 150대일 때 채널 운영 및 시분할 슬롯 분배에 따른 통신 성공률 결과임
- 기존 WAVE MAC 통신혼잡 제어 알고리즘은 통신 전송 성공률 42%, 시분할 슬롯을 적용한 Random Access in Alternating Access는 85%, 시분할 슬롯과 Immediate Access를 적용한 Random Access in Immediate Access는 94%로 150대 일 때 기존 알고리즘보다 2배 이상의 통신 성공률을 얻어냈음
- [그림 41]은 차량 대수별 통신 성공률을 나타냄
- 50-100대 차량이 별로 없는 환경은 통신 성공률 차이가 적으나 150-200대 구간에서 통신 성공률의 큰 차이를 알 수 있고, 250대가 넘어가면서 통신 전송 성공률은 낮아지므로 이는 향후 개선시켜야할 부분임



[그림 40] V2X-i 기반 WAVE MAC 통신 혼잡 제어 알고리즘 시뮬레이션 결과(1)



[그림 41] V2X-i 기반 WAVE MAC 통신 혼잡 제어 알고리즘 시뮬레이션 결과(2)

## 나. 신호제어 시스템 연동을 위한 예플레이션

### (1) 교통류 모델링에서 생성되는 각 차량 정보 기반 WAVE PVD 예플레이터

#### ○ 차량 안전 메시지 PVD(Probe Vehicle Data)

- HILS의 신호제어 시스템 연동을 위한 예플레이터에 사용되는 메시지는 국제표준 J2735의 PVD를 사용하고 PVD는 노변기지국이 차량의 상태 데이터 수집함. PVD 수집 함으로써 얻을 수 있는 정보는 [그림 42] 및 [그림 43]과 같음

### ASN.1 Representation:

```

ProbeVehicleData ::= SEQUENCE {
    timeStamp      MinuteOfTheYear OPTIONAL,
    segNum         ProbeSegmentNumber OPTIONAL,
    -- a short term Ident value
    -- not used when ident is used

    probeID        VehicleIdent OPTIONAL,
    -- identity data for selected
    -- types of vehicles
    startVector     FullPositionVector,
    -- the space and time of
    -- transmission to the RSU
    vehicleType     VehicleClassification, -- type of vehicle,
    snapshots       SEQUENCE (SIZE(1..32)) OF Snapshot,
    -- a seq of name-value pairs
    -- along with the space and time
    -- of the first measurement set

    regional        SEQUENCE (SIZE(1..4)) OF
    RegionalExtension {{REGION.Reg-ProbeVehicleData}} OPTIONAL,
    ...
}

```

[그림 42] SAE J2735 PVD message set(1)

| timeStamp   | MinuteOfTheYear(*)    |         |              |              |             |                  |                  |                   |                  |                    |
|-------------|-----------------------|---------|--------------|--------------|-------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| segNum      | ProbeSegmentNumber(*) |         |              |              |             |                  |                  |                   |                  |                    |
| provelD     | VehicleIdent(*)       |         |              |              |             |                  |                  |                   |                  |                    |
|             | name                  | vin     | ownerCode    | id           |             | vehicleType      | vehicleClass     |                   |                  |                    |
| startVector | FullPositionVector    |         |              |              |             |                  |                  |                   |                  |                    |
|             | utcTime(*)            | long    | lat          | elevation(*) | heading(*)  | speed(*)         | posAccuracy(*)   | timeConfidence(*) | posConfidence(*) | speedConfidence(*) |
| vehicleType | VehicleClassification |         |              |              |             |                  |                  |                   |                  |                    |
|             | keyType(*)            | role(*) | iso3883(*)   |              | hpmsType(*) | responseEquip(*) | responderType(*) | fuelType(*)       | regional(*)      |                    |
| snapshots   | SEQUENCE              |         |              |              |             |                  |                  |                   |                  |                    |
|             | thePosition           |         | safetyExt(*) |              |             | dataSet(*)       |                  |                   |                  |                    |
| regional    | SEQUENCE(*)           |         |              |              |             |                  |                  |                   |                  |                    |

[그림 43] SAE J2735 PVD message set(2)

- V2X-i를 통해 차량으로부터 차량의 ID, 위치, 진행 방향, 속도 등을 담고 있는 PVD의 정보를 얻을 수 있으며 이를 가공하여 교통 알고리즘을 통해 효율적인 신호제어를 위한 정보를 생성할 수 있음
- [그림 44]는 Vissim Data를 [그림 45]는 Vissim Data를 입력받아 PVD set으로 변경한 데이터임

\*\* (\*)은 Optional한 요소

| * SimSec | No   | VehType | Speed | Lane#Lin | NextLink | Lane#Wind | CoordFro | CoordRear |   |          |          |
|----------|------|---------|-------|----------|----------|-----------|----------|-----------|---|----------|----------|
| 1800.1   | 4113 | 100     | 0     | 64       | 10117    | 4         | -6801291 | -1367837  | 0 | -6801294 | -1367838 |
| 1800.1   | 4401 | 100     | 57.73 | 66       |          | 2         | -6802549 | -1368141  | 0 | -6802545 | -1368140 |
| 1800.1   | 4761 | 100     | 16.12 | 38       |          | 1         | -6802445 | -1368089  | 0 | -6802440 | -1368087 |
| 1800.1   | 4850 | 100     | 56.85 | 72       |          | 3         | -6800973 | -1367772  | 0 | -6800977 | -1367773 |
| 1800.1   | 4897 | 100     | 30.6  | 38       |          | 1         | -6802468 | -1368099  | 0 | -6802464 | -1368097 |
| 1800.1   | 5050 | 100     | 53.31 | 66       |          | 2         | -6802485 | -1368114  | 0 | -6802481 | -1368112 |
| 1800.1   | 5080 | 100     | 29.14 | 10139    | 2        | 1         | -6802158 | -1367986  | 0 | -6802157 | -1367982 |
| 1800.1   | 5090 | 200     | 55.38 | 72       |          | 2         | -6801058 | -1367786  | 0 | -6801068 | -1367787 |
| 1800.1   | 5103 | 100     | 0     | 88       | 10123    | 1         | -6801216 | -1367812  | 0 | -6801219 | -1367814 |
| 1800.1   | 5137 | 100     | 55.81 | 5        |          | 1         | -6801004 | -1367769  | 0 | -6801008 | -1367769 |
| 1800.1   | 5150 | 100     | 27.88 | 70       | 10042    | 2         | -6801910 | -1367865  | 0 | -6801906 | -1367863 |
| 1800.1   | 5154 | 100     | 32.82 | 72       |          | 4         | -6801161 | -1367791  | 0 | -6801165 | -1367791 |
| 1800.1   | 5212 | 100     | 0     | 88       | 10123    | 2         | -6801211 | -1367806  | 0 | -6801215 | -1367808 |
| 1800.1   | 5217 | 100     | 0     | 88       | 10123    | 2         | -6801216 | -1367808  | 0 | -6801221 | -1367810 |
| 1800.1   | 5222 | 100     | 0     | 88       | 10123    | 1         | -6801221 | -1367814  | 0 | -6801225 | -1367816 |
| 1800.1   | 5244 | 100     | 0     | 78       | 10110    | 2         | -6802137 | -1367997  | 0 | -6802135 | -1368001 |
| 1800.1   | 5247 | 100     | 0     | 88       | 10123    | 1         | -6801232 | -1367819  | 0 | -6801236 | -1367821 |
| 1800.1   | 5254 | 100     | 50.87 | 70       | 10138    | 1         | -6802015 | -1367907  | 0 | -6802012 | -1367905 |
| 1800.1   | 5257 | 100     | 0     | 88       | 10123    | 2         | -6801223 | -1367811  | 0 | -6801227 | -1367813 |
| 1800.1   | 5258 | 100     | 0     | 88       | 10123    | 1         | -6801210 | -1367809  | 0 | -6801214 | -1367811 |
| 1800.1   | 5260 | 100     | 24.3  | 10139    | 2        | 1         | -6802150 | -1367972  | 0 | -6802147 | -1367969 |
| 1800.1   | 5287 | 100     | 0     | 10       | 10078    | 2         | -6802034 | -1368141  | 0 | -6802030 | -1368139 |
| 1800.1   | 5292 | 100     | 0     | 88       | 10123    | 3         | -6801257 | -1367822  | 0 | -6801261 | -1367824 |
| 1800.1   | 5312 | 100     | 0     | 88       | 10123    | 2         | -6801229 | -1367814  | 0 | -6801233 | -1367816 |

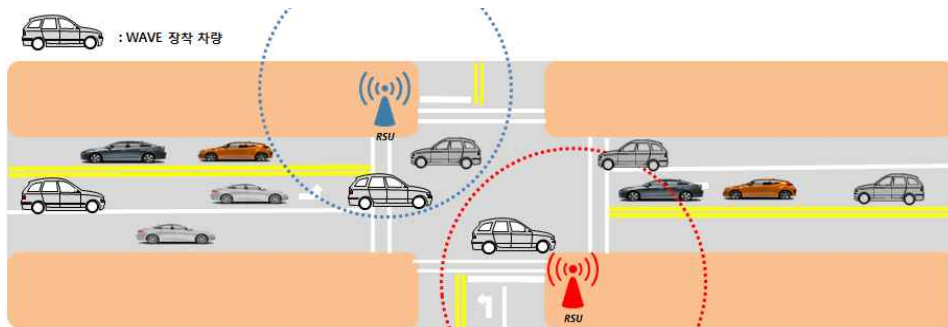
[그림 44] Vissim Data

| Time            | Vehicle_ID | Vehicle_Type | Vehicle_Velocity | lane_Link | next_link | lane_index | X_position | Y_position |
|-----------------|------------|--------------|------------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 201707211605566 | 5890       | 9220         | 0                | 10        | 10078     | 3          | 37.3772    | 126.5536   |
| 201707211605593 | 5987       | 9220         | 550.68           | 70        | 10042     | 2          | 37.37593   | 126.5234   |
| 201707211605619 | 5835       | 9220         | 0                | 78        | 10110     | 2          | 37.37775   | 126.5393   |
| 201707211605693 | 5476       | 9220         | 0                | 88        | 10123     | 3          | 37.37269   | 126.5222   |
| 201707211605747 | 6527       | 9220         | 0                | 19        | 10025     | 2          | 37.37445   | 126.5543   |
| 201707211605780 | 5788       | 9220         | 0                | 64        | 10117     | 4          | 37.37315   | 126.5253   |
| 201707211605794 | 6383       | 9220         | 122.46           | 46        | 10053     | 2          | 37.3748    | 126.5433   |
| 201707211605807 | 5816       | 9220         | 0                | 78        | 10110     | 3          | 37.37776   | 126.5399   |
| 201707211605867 | 6253       | 9220         | 0                | 18        | 10038     | 1          | 37.37226   | 126.5199   |
| 201707211605887 | 6615       | 9220         | 637.65           | 21        | 10124     | 3          | 37.37694   | 126.5718   |
| 201707211605942 | 6668       | 9220         | 697.58           | 17        | 0         | 2          | 37.37023   | 126.5148   |
| 201707211605962 | 5983       | 9220         | 695.63           | 8         | 10133     | 3          | 37.37368   | 126.5281   |
| 201707211605968 | 6019       | 9220         | 0                | 10        | 10078     | 3          | 37.37698   | 126.552    |
| 201707211605975 | 5795       | 9220         | 0                | 78        | 10110     | 3          | 37.37777   | 126.5394   |
| 201707211605988 | 6102       | 9220         | 214.63           | 90        | 10136     | 4          | 37.37242   | 126.5199   |
| 201707211605995 | 6306       | 9220         | 267.8            | 34        | 0         | 1          | 37.37328   | 126.4952   |
| 201707211606559 | 6570       | 9220         | 558.87           | 21        | 10124     | 2          | 37.37716   | 126.5624   |
| 201707211606573 | 5587       | 9220         | 0                | 64        | 10117     | 4          | 37.37319   | 126.5256   |
| 201707211606586 | 6373       | 9220         | 0                | 48        | 10109     | 1          | 37.37801   | 126.5354   |
| 201707211606599 | 6228       | 9220         | 76.44            | 90        | 10136     | 4          | 37.37236   | 126.5198   |
| 201707211606639 | 6640       | 9220         | 684.32           | 6         | 10140     | 2          | 37.37581   | 126.5055   |
| 201707211606747 | 6402       | 9220         | 0                | 90        | 10136     | 4          | 37.37212   | 126.5194   |
| 201707211606794 | 6396       | 9220         | 621.14           | 10024     | 29        | 2          | 37.37463   | 126.5474   |
| 201707211606801 | 6460       | 9220         | 693.29           | 10030     | 62        | 3          | 37.37498   | 126.537    |
| 201707211606807 | 6644       | 9220         | 629.46           | 17        | 0         | 1          | 37.37076   | 126.5155   |
| 201707211606821 | 5363       | 9220         | 464.49           | 71        | 10039     | 1          | 37.37352   | 126.5066   |
| 201707211606848 | 5727       | 9220         | 0                | 87        | 10002     | 3          | 37.37515   | 126.5402   |
| 201707211606868 | 6404       | 9220         | 509.08           | 8         | 0         | 3          | 37.37273   | 126.5213   |

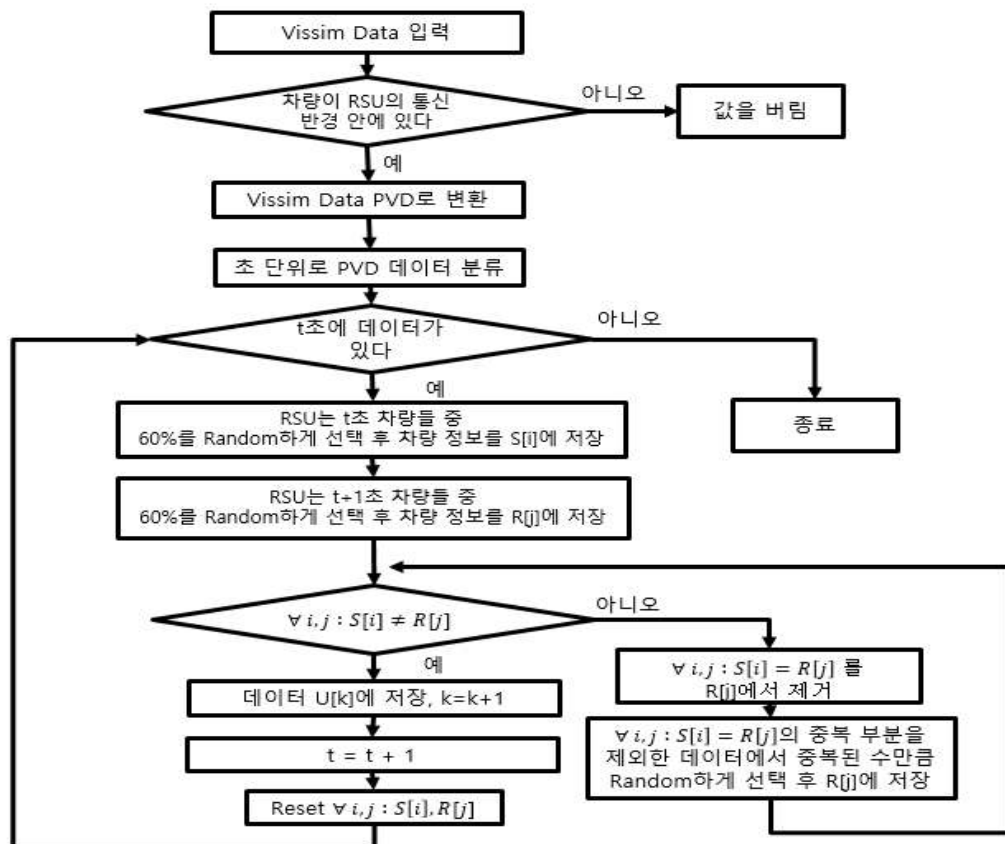
[그림 45] Vissim Data를 PVD Set으로 변형한 Data

○ OBU 탑재 차량 비율별 PVD 생성 알고리즘

- 4세대 CoVASS 신호제어 시스템의 빠른 적용을 위해선 WAVE 통신 단말기의 탑재율 또한 고려해야 함
- 현재 WAVE 통신장비를 장착한 차량이 시판되지 않았으며, 아직 시범단계에 머물러 있어 차후 WAVE 통신 장비 OBU의 증가를 대비하여 에뮬레이터 환경을 WAVE OBU 차량 탑재 대수를 조절할 수 있게 구현하였음
- 여기서 차량 탑재 선별은 랜덤하게 선별하고, 또한 RSU의 통신반경을 고려하여 알고리즘을 구현하였음 [그림 46],[그림 47]



[그림 46] OBU 탑재 차량 대수에 따른 에뮬레이션 도식화



[그림 47] OBU 탑재 차량 비율별 PVD 생성 알고리즘

## 다. 차량 측위 정확도 요구 사항 도출

### (1) 차량 측위 정확도 요구 사항 도출을 위한 표준 분석

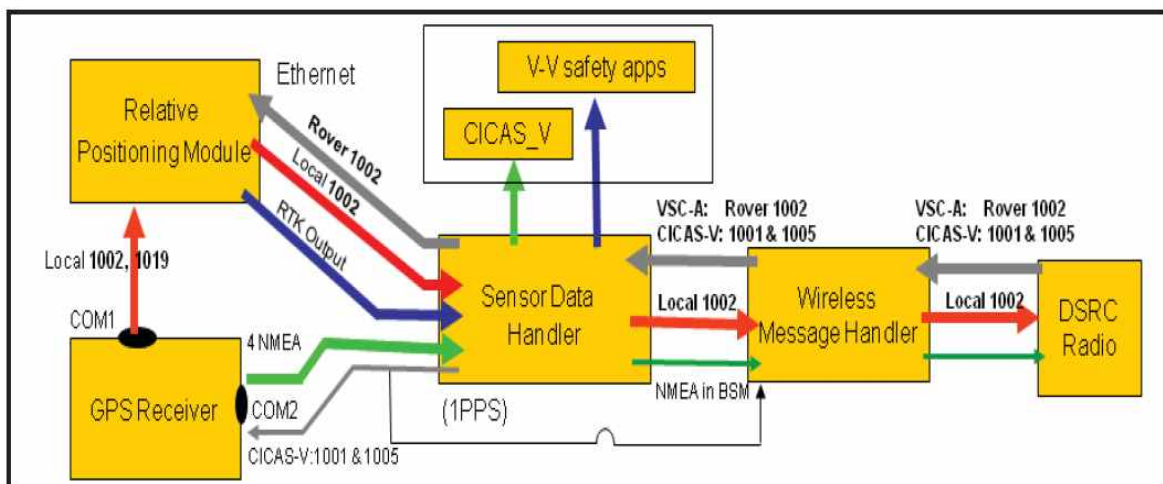
- 자율 주행 기술이 실현되기 위해선 차선의 구분이 가능할 정도의 측위 정확도가 요구됨
- 미국 교통부 US DOT(Department of Transportation) VSC-A Final Report(2011)에 따르면 도로의 상하행 구분과 차선 구분을 위한 측위 정확도 요구사항은 5m와 1.5m임

### (2) 측위

#### (가) VSC-A 상대 측위

- ① 측위를 하고자 하는 각 차량은 자신의 GPS 데이터와 DSRC Radio를 통해 전달받은 다른 차량의 데이터를 Relative Positioning 플랫폼에 입력함  
\*\* 각 차량은 RTK 장비를 탑재
- ② RTK 플랫폼은 각 차량으로부터 받은 GPS 데이터를 기반으로 상대 거리(상대 측위 벡터)를 산출해냄
- ③ 산출된 결과 값 RTK Output은 Sensor Data handler는 계산된 상대 측위를 V2V Safety Application으로 전송함 [그림 48]

\*\* CICAS-V(Cooperative Intersection Collision Avoidance System for Violations)와 같은 인프라시스템에서도(V2I) 상대 측위를 지원할 수 있도록 설계



[그림 48] VSC-A 상대 측위 시스템 코어 모듈

#### (나) 측위 시스템

- V2V 상대 측위 원리
- ① 두 차량에 일정한 고정 위치에 장착된 GPS 모듈의 위치를 계산하기 위하여 동일한 최소 4개 이상의 위성정보를 사용
- ② 사용되는 위성 정보는 GPS 공통 오차 요인\*이 동일하게 포함되어 있는 위성파 수신기사이의

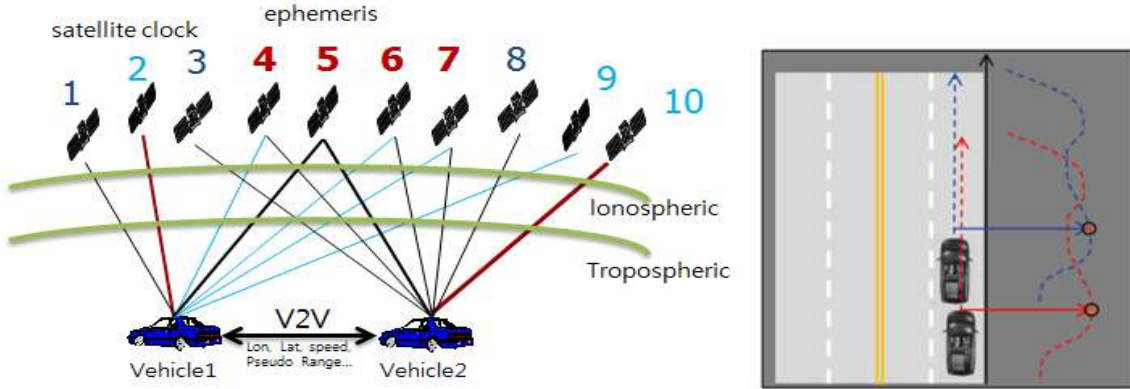
Raw data(Pseudo-range, Ephemeris, Satellite information etc)를 이용

- ③ 동일 위성의 본 선택적인 데이터를 이용하여 GPS공통 오차를 최소화

\* GPS 공통 오차 요인은 전리층 오차, 대류층 오차, 위성궤도 및 시계오차와 측위환경에 따른 오차 요인인 다중경로 오차 등

- ④ V2V(WAVE)통신을 통해 두 GPS모듈의 선택적인 정보를 교환

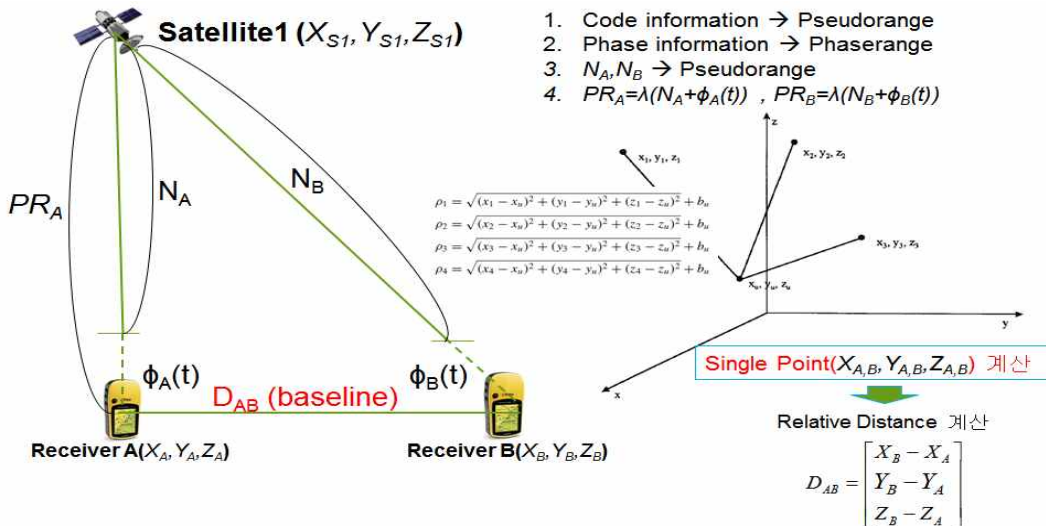
- ⑤ 두 차량 간 교환된 차량위치에 관한 정보를 이용하여 [그림 49]와 같이 공통 오차 최소화



[그림 49] GPS 오차 개념도

#### ○ 공통 오차 최소화 프로세스 순서

- ① [그림 49]와 같이 두 차량 Vehicle1과 Vehicle2는 각 차량의 GPS수신기로부터 위성의 정보를 획득(Rawdata 분석을 통한 Pseudo-Range계산 및 Self 모호정수 계산)
- ② 두 차량은 획득한 위성 정보를 WAVE 통신을 이용하여 교환
- ③ 교환을 통해 획득한 상대 차량의 위성 정보와 자기 차량의 위성 정보를 분석
- ④ 동일한 번호를 가지는 위성을 선택하여 User Single point인 위치 좌표 값 계산
- ⑤ 계산된 위치 좌표 값을 기반으로 [그림 50]과 같이 차량 간 상대적 거리 및 좌표 계산



[그림 50] 상대거리 계산 원리

(다) SBAS(Satellite Based Augmentation System)

○ SBAS의 개요

- SBAS는 GNSS가 제공하는 신호오차에 대한 보정 정보와 무결성 정보를 정지궤도위성을 통해 제공하는 시스템으로 항공기가 사용할 수 있도록 국제민간항공기구 ICAO(international civil aviation organization)에서 국제표준으로 정한 시스템임
- 현재 구축되어 운용, 운용예정인 SBAS는 미국 WAAS, 유럽 EGNOS, 일본 MSAS, 인도 GAGAN이 운용중이며, 러시아 SDCM, 중국 BDSBA, 중남미 SACCESA 등이 개발 진행 중임

○ SBAS의 동작 원리



[그림 51] SBAS 동작 원리

- ① 기준국에서 보정 정보를 생성하는데 필요한 항법신호를 수집
- ② 중앙 처리국은 기준국에서 수집된 항법신호를 전달받아 보정 정보 및 무결성 정보를 생성하고 이를 보정 메시지로 변환
- ③ 생성된 보정 메시지를 위성통신국에서 GNSS 신호 형태로 변조하여 정지궤도 위성으로 송신
- ④ SBAS 탑재체에서 정지궤도 위성에 탑재되어 SBAS 신호를 지상의 위성통신국으로부터 수신하고 L 대역으로 변조하여 지상으로 방송
- ⑤ 운영국은 전체 시스템이 이상 없이 요구조건을 만족시키며 동작하는지를 감시하고 운영하며 유지보수를 수행

## 5. 4세대 신호제어시스템(CoVASS) 검지시스템 설계 및 평가방법 개발

### 가. CoVASS 검지시스템 설계

#### (1) 비매설 검지기 설계 개요

- 수집 데이터는 비매설 검지기의 경우 1초 단위의 개별차량의 궤적(위치좌표, 검지시각), 개별차량의 순간속도, 가속도, 정지선 통과 교통량 데이터를 수집하고, 검지영역은 일반적인 도심부 교차로 상황을 감안하여 4차로, 500m로 설정
- 검지차로 및 길이는 교차로 상황에 맞게 센서 추가설치 등으로 보완이 가능하며, 검지능은 V2X-i 특성상 개별차량의 속도 데이터가 중요함에 따라 속도 정확도를 국토교통부 ITS 사업시행지침에 의거한 검지기 최상급 성능수준인 95%로 설정
- 통합검지시스템은 V2X-i 데이터와 비매설검지기 데이터를 통합하는 제어기로써, V2X 통신을 통해 수집한 개별차량 데이터의 차로구분(직진, 좌회전, 우회전 등 방향별 교통류)을 가능하게 해 주는 역할을 담당하고, 목표 정확도는 95%로 설정

<표 15> 비매설검지기 및 통합검지시스템(V2X+비매설) 개요

| 구분          | 비매설검지기                                                                                                                                                       | 통합검지시스템                        |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 필요성         | <ul style="list-style-type: none"> <li>· CoVASS 도입 초기 V2X 단말기 보급률 저하에 따른 적정 샘플수 확보 방안 필요</li> <li>· V2X 단말기 차로 구분 성능 저하 현상 극복을 위한 V2X+비매설 통합검지 필요</li> </ul> |                                |
| Sensor      | 레이저 + 영상                                                                                                                                                     | V2X 통신 + 비매설(레이더 + 영상)         |
| Data        | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 개별차량 궤적(위치, 시간)</li> <li>· 개별차량 속도, 가속도</li> <li>· 정지선 통과 교통량</li> </ul>                                            | · V2X 통신 + 비매설(레이저 + 영상) 통합데이터 |
| Range       | 4차로, 500m                                                                                                                                                    | 4차로, 500m                      |
| Performance | 속도 정확도 95%                                                                                                                                                   | 차로구분 정확도 95%                   |

#### (2) 비매설 검지기 요구사항 정의

- CoVASS 신호제어를 위해서는 교차로에 접근하는 개별차량의 소통정보(궤적, 속도 등) 수집이 가능해야 하고, 초기단계 V2X 통신 차량단말기(OBU) 샘플수 저하를 고려하여 V2X 데이터를 모사(Emulating) 할 수 있는 비매설검지기 개발이 필요함
- 비매설검지기의 요구사항은 다음과 같이 정의함
  - 교차로에 접근하는 개별차량의 궤적 및 속도 데이터 수집이 가능
  - 검지영역은 도심부 일반적인 교차로 상황을 고려하여 4차로, 500m 이상 검지가 가능
  - 수집 데이터(속도) 정확도는 국토교통부 ITS 사업시행지침에서 규정한 검지기 성능수준(최상급)인 95% 이상을 만족

### (3) 통합검지시스템(V2X+비매설) 요구사항 정의

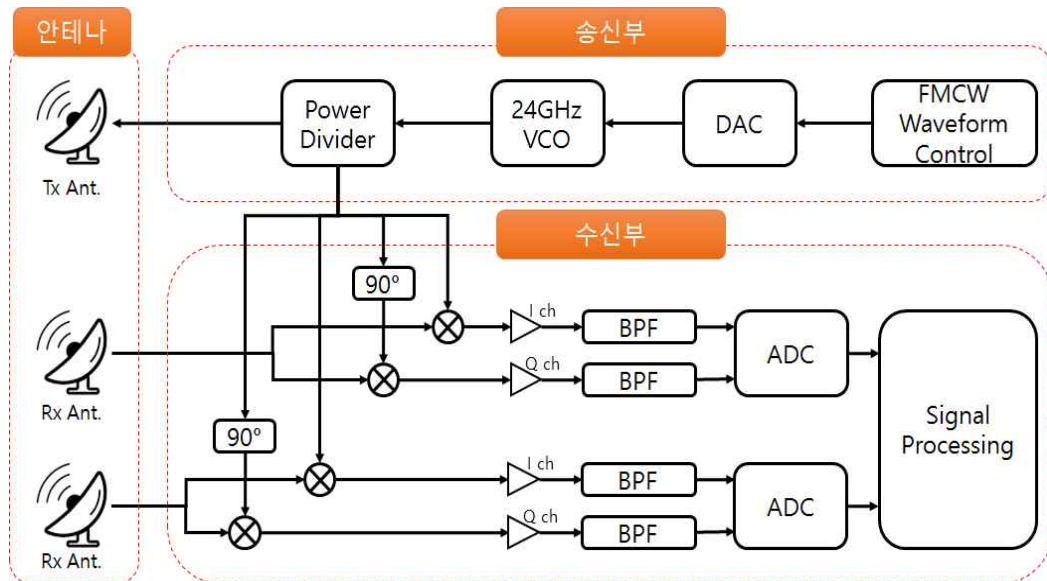
- CoVASS에서 수집하는 V2X 데이터는 도심부 GPS 성능저하 등으로 차로구분이 불가능한 경우가 많음
- 그러나 신호제어를 위해서는 방향류(직진, 좌회전, 우회전 등) 구분이 필수적으로 통합검지시스템은 V2X 데이터와 비매설검지기가 수집한 데이터를 통합하는 시스템으로 요구사항은 아래와 같이 정의함
  - V2X 수집 데이터와 비매설검지기 수집 데이터 매칭이 가능
  - V2X 및 비매설검지기 수집 개별차량 데이터 매칭시 차량의 방위각(진행방향), 차두거리, 차량군 분석 등을 고려
  - V2X 수집 데이터의 차로구분이 가능

<표 16> 통합검지시스템(V2X+비매설) 요구사항 정의

|                |                                                                                                      |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 정 의            | · V2X+비매설 통합검지를 통한 V2X 개별차량 데이터 차로구분(정확도 95%)을 가능하게 하는 통합검지시스템                                       |
| 목 적            | · 향후 2단계 연구에서 제작하고자 하는 V2X+비매설 통합검지시스템 상세설계를 위한 요구사항 도출                                              |
| 요구사항 분석        | · V2X와 비매설검지기 기술을 활용한 통합검지시스템<br>· V2X 데이터와 비매설검지기 데이터 매칭기술 적용<br>· V2X 데이터 차로구분이 가능한 통합검지시스템        |
| 시스템<br>성능목표    | · V2X+비매설 통합검지를 통한 차로구분 정확도 95% 이상<br>· 통합검지 데이터 산출주기 1초 이내                                          |
| 검지 데이터<br>매칭방안 | · 개별차량 방위각(진행방향)을 활용한 V2X 및 비매설검지기 데이터 매칭방안 고려<br>· 인접차량과 차두거리 등 교통류 분석을 통한 V2X 및 비매설검지기 데이터 매칭방안 고려 |

### (4) 상세 설계

- 상세 설계는 개별차량 정보를 초단위로 수집할 수 있는 레이더 기반 비매설검지기를 전제로 함



[그림 52] 비매설검지기 H/W 물리적 구성도

#### ○ 안테나

- 송신 안테나 1개, 수신 안테나 2개로 구성
- 수신 안테나 2개를 이용하여 두 안테나의 합신호와 차신호로부터 각도를 탐지하는 Phase Monopulse 방식을 적용
- 안테나는 배열 안테나 형식으로 동일한 방향성을 가진 형태로 적용

#### ○ 송신부

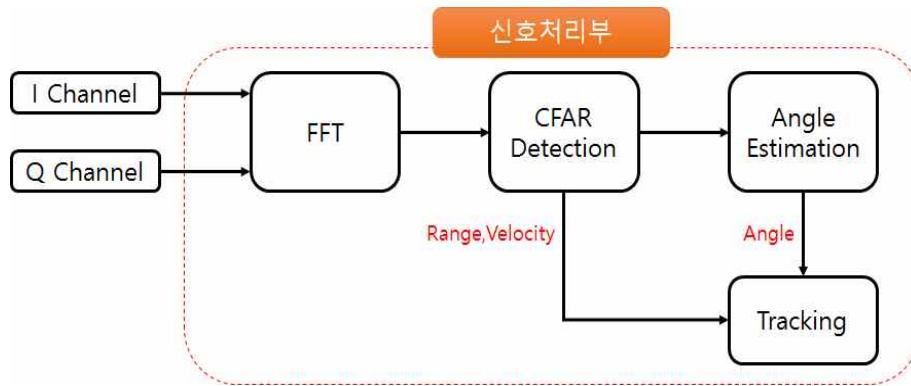
- FMCW 송신신호를 생성하기 위해 VCO의 입력 레벨을 변화시켜 FMCW 변조된 신호 파형 생성
- 송신 신호는 안테나를 통해 공기중으로 전송
- 수신 신호와 믹싱을 위해 수신부로 Power Divider를 사용하여 송신 신호 전송

#### ○ 수신부

- 표적에 반사되어 안테나로 수신된 신호를 송신부에서 전송 받은 송신신호를 I 채널은 동위상, Q 채널은 90° 변경된 신호와 믹싱
- BandPass filter를 통과한 이후 ADC를 통해 샘플링을 수행하여 디지털 데이터 획득

#### ○ 신호처리부

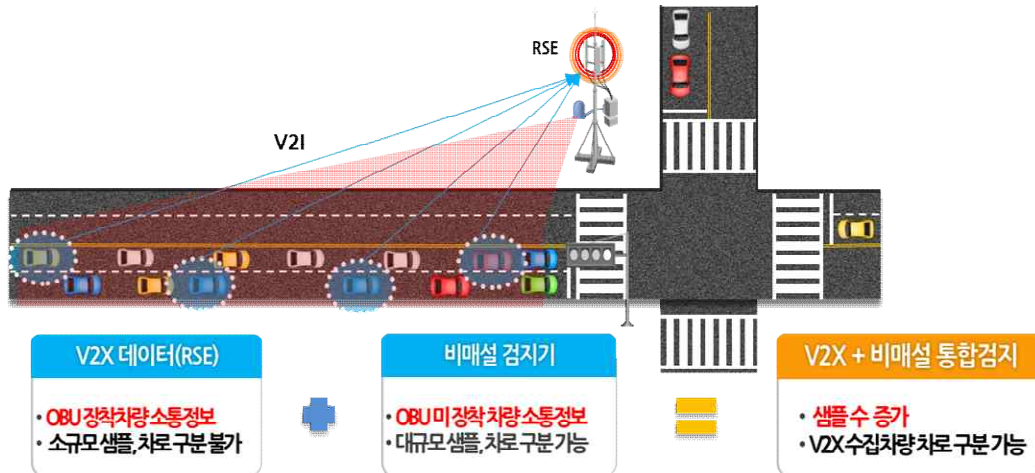
- 믹싱된 신호를 FFT 연산을 통해 주파수 영역으로 변환
- CFAR 연산을 통해 Up, down 비트 주파수 탐지
- 두 비트 주파수를 이용하여 표적의 거리, 속도 계산
- Angle estimation을 수행하여 표적의 각도 탐지



[그림 53] 비매설검지기 SW 논리적 구성도

#### 나. CoVASS 구성 및 정보연계 방안

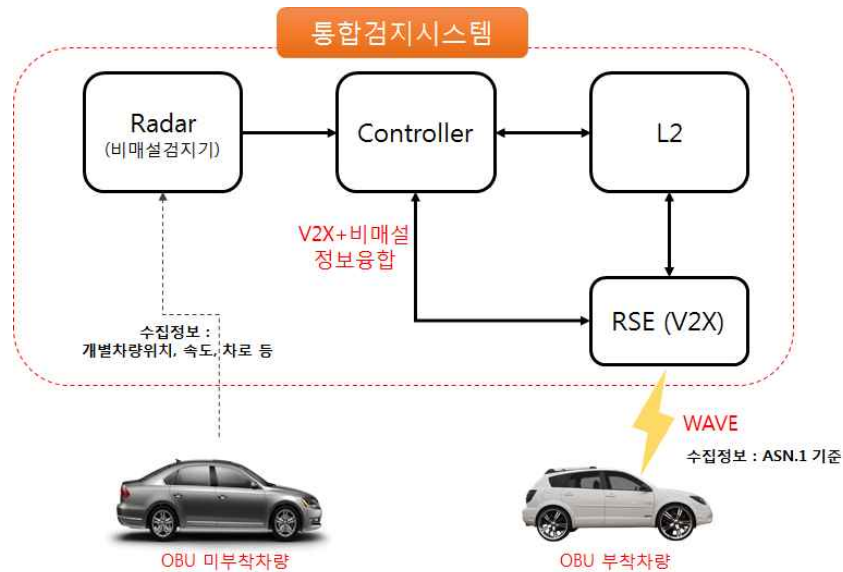
- CoVASS에서 요구하는 검지 시스템은 차세대 ITS에서 OBU<sup>6)</sup>를 장착한 차량의 정보와 OBU 미부착차량의 정보를 융합하여 대규모 샘플 정보를 생성하기 위한 시스템임



[그림 54] 통합검지시스템(V2X+비매설) 개념도

- 또한, OBU 장착이 의무화 되고 100% 보급되기 전 단계에서 과거와 미래를 연결하는 수단으로 활용하는 위상을 가지고 있으며, 통합검지시스템은 인프라 센서와 OBU를 통합한 형태로 구성되어야 함

6) OBU : On Board Unit



[그림 55] 통합검지시스템 하드웨어 구성도

- 또한 비매설 검지기에서 수집되는 개별차량 정보는 알고리즘과의 연계성, C-ITS 통신방식와의 연계성을 위하여 IEEE 802.11p를 사용하는 통신방식의 PVD 메시지를 표준으로 하여 개발함

## 다. CoVASS에 활용 가능한 V2X 데이터 매칭 설계

### (1) 신호교차로용 개별 차량 검지시스템 인터페이스

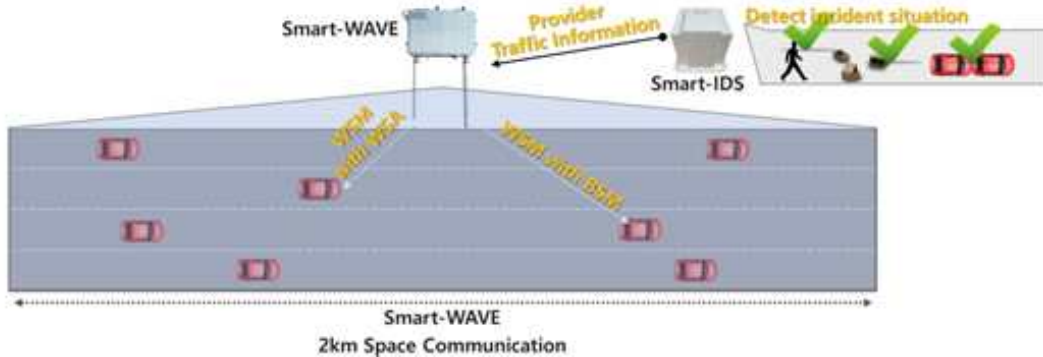
- 교차로로 접근하는 차량의 개별 주행정보는 PVD 메시지로 변환해야 하고, 단말 장착 차량과의 정보 매칭을 통하여 활용 가능성, 수준을 입증해야 함
- 도로 센서에서 감지한 차량 정보는 다음과 같으며, 해당 정보를 기반으로 SAE J2735에 정의된 메시지 중, PVD(ProbeVehicleData) 메시지를 생성할 수 있음

| 항목           | 타입 | 길이(Byte) | 내용                                                   | 비고       |
|--------------|----|----------|------------------------------------------------------|----------|
| 현재시각         | 1  | 8        | 2010년 1월 1일 00:00:00 이후 경과 시간 (단위: 초)                | Unsigned |
| 차량개수         | 1  | 2        | 주행차량 개수                                              | Unsigned |
| 차량ID         | 1  | 2        | 차량 식별자                                               | Unsigned |
| 차량위치(경도)     | 1  | 4        | $(0x7FFFFFFF) / 180.0 \times \text{경도}$ (단위: degree) | Signed   |
| 차량위치(위도)     | 1  | 4        | $(0x3FFFFFFF) / 90.0 \times \text{위도}$ (단위: degree)  | Signed   |
| 차량속도         | 1  | 1        | 속도(단위: km/h)                                         | Signed   |
| 주행차량 개수만큼 반복 |    |          |                                                      |          |

[그림 56] 신호교차로용 개별 차량 검지시스템 인터페이스

- PVD 메시지는 각 차량의 ID, 종류, 속도, 방향과 위치 등 상태 정보 대한 내용을 포함되어 있으며, 해당 정보로 차량의 이력관리 및 주행 기록을 확인할 수 있음

- RSU(Road Side Unit)는 생성된 PVD 메시지를 IEEE 1609 표준에 명시된 WSM 메시지를 통해 주변 차량으로 전송함



[그림 57] 신호교차로용 검지시스템 구조

## (2) 차량 검지시스템 기반의 PVD 데이터 생성

- 신호교차로용 차량 검지시스템 인터페이스 정보에 상응하는 PVD 데이터는 아래와 같음

<표 17> 차량 검지시스템 인터페이스 항목별 PVD 정보

| 신호교차로용 차량 검지시스템 인터페이스 | PVD 데이터           |
|-----------------------|-------------------|
| 차량을 감지한 시각            | Timestamp         |
| 차량 ID                 | probeID           |
| 차량위치(경도)              | startVector.long  |
| 차량위치(위도)              | startVector.lat   |
| 차량속도                  | startVector.speed |

- 레이더 IDS에서 감지된 차량 위치 및 차량 속도 정보는 PVD 메시지 중, FullPositionVector(startVector) 정보에 값을 설정할 수 있음
- 그리고 레이더 IDS에서 제공하는 데이터 형식은 PVD에서 명시되어 있는 데이터 형식으로 변화하는 과정이 필요함

| 필드명                                 | 타입     | 최대 길이 (byte) | 범위 | 설명                                         | 비고                                                     |
|-------------------------------------|--------|--------------|----|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| startVector<br>(FullPositionVector) | Year   | INTEGER      | 3  | UTC 시간<br>(mSec 단위)                        | 0: unknown value                                       |
|                                     | Month  | INTEGER      | 1  |                                            | 0: unknown value                                       |
|                                     | Day    | INTEGER      | 1  |                                            | 0: unknown value                                       |
|                                     | Hour   | INTEGER      | 1  |                                            | 31: unknown value                                      |
|                                     | Minute | INTEGER      | 1  |                                            | 60: unknown value                                      |
|                                     | second | INTEGER      | 2  |                                            | 65535: unknown value                                   |
|                                     | offset | INTEGER      | 2  |                                            | 0: unknown value                                       |
|                                     | 위도     | INTEGER      | 4  | 차량의 위도 좌표                                  | (1800000001: 해당 필드 정보 이용불가)                            |
|                                     | 경도     | INTEGER      | 4  | 차량의 경도 좌표                                  | (900000001: 해당 필드 정보 이용불가)                             |
|                                     | 방향     | INTEGER      | 4  | 차량의 이동 방향<br>북(North)을 기준으로 0.0125도 단위로 표현 | Optional,<br>(28800: 해당 필드 정보 이용불가),<br>Ex) 28799 (북쪽) |

[그림 58] FullPositionVector 정보 정의

### (3) PVD 데이터 검증 시뮬레이터

- J2735에 명시되어 있는 데이터는 WAVE IEEE 1609.3 표준 프로토콜을 통해 전송되며, ASN.1 인코딩/디코딩방식으로 데이터를 송수신함
- 본 과제에는 신호교차로 차량 감지시스템 인터페이스를 기반한 PVD 정보를 ASN.1 인코딩/디코딩하여 송수신하고, PVD 정보를 신호 교차로 차량 감지시스템 인터페이스로 변환하는 과정을 시뮬레이터를 통해 검증함

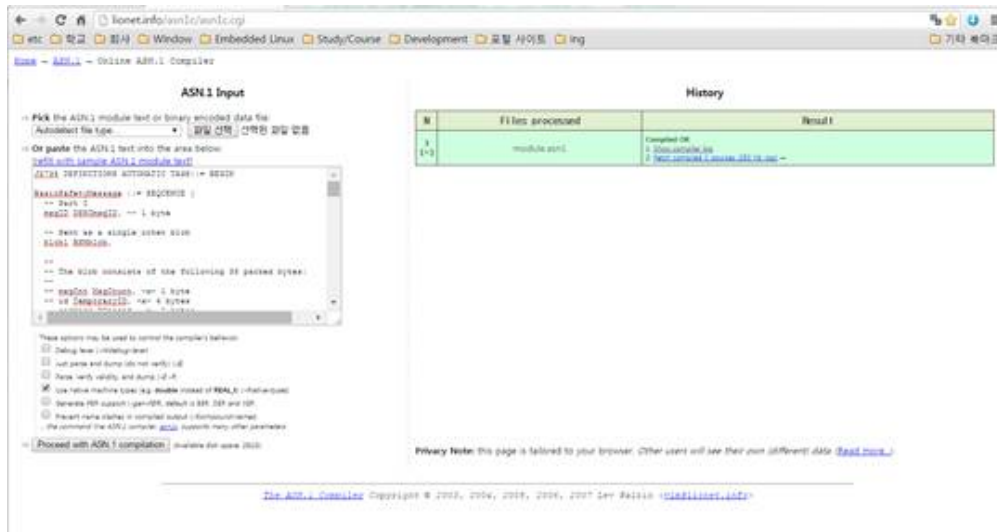
#### (가) J2735 ASN.1 소스파일 추출 과정

- J2735는 ASN.1 문법으로 명시되어 있으며, ASN.1 컴파일러를 통해 개발 소스코드를 추출하여, PVD 데이터를 생성할 수 있음
- J2735(DSRC: Dedicated Short Range Communication) 메시지 셋에 대한 ASN.1 구문을 ASN.1 Compiler를 사용하여 컴파일 시행
- 컴파일을 위해서 <http://lionet.info/asn1c/asn1c.cgi> 사이트에 접속하여 구문을 입력하고 아래 그림과 같이 옵션을 선택하고 컴파일 버튼을 클릭



[그림 59] ASN.1 컴파일러 사이트

- 컴파일이 완료되면 아래의 그림과 같이 결과를 확인할 수 있음



[그림 60] J2735 ASN.1에 대한 소스코드 추출 결과

- 컴파일이 되면 C 소스코드로 만들어지며 압축된 파일을 다운로드 받는다. 화면의 “Fetch compiled C sources..” 부분을 클릭하면 다운로드 진행
- 추출된 소스코드로 PVD 메시지를 생성하고, ASN.1 인코딩/디코딩을 할 수 있음

#### (나) PVD 데이터 검증 시뮬레이터

- 신호교차로용 검지시스템 인터페이스의 정보를 기반한 PVD 메시지 생성 및 검증을 위한 시뮬레이터 구조는 아래와 같음



[그림 61] 비매설 검지시스템 기반 PVD 메시지 인코딩/디코딩 결과

- 비매설 검지기의 데이터 뷰 프로그램에서 신호교차로용 검지시스템 인터페이스의 정보를 기반한 PVD 메시지를 생성하여 해당 데이터를 ASN.1 인코딩하고 TCP/IP 통신을 통해 신호교차로용 검지시스템 인터페이스 검증 프로그램으로 전달
- 신호교차로용 검지시스템 인터페이스 검증 프로그램은 수신한 데이터를 ASN.1 디코

당하여 PVD 데이터를 추출하고, PVD 데이터에서 신호교차로용 검지시스템 인터페이스 정보로 출력

- 그 결과, 레이더 VDS 데이터 뷰에서 출력한 정보와 일치한 것을 확인하여 V2X 기반의 전송데이터로 활용할 수 있는 것을 증명함

#### (4) 데이터 관리

- 수집데이터는 DB 형태로 관리하여 알고리즘에 쉽게 적용될 수 있도록 해야 함
- DB에는 교차로 방향별 개별차량의 위치와 속도, 차량의 구분을 포함하여야 하며, 신호제어 알고리즘에서 사용가능한 부분을 쉽게 찾아서 사용할 수 있도록 구성함
- V2X-i 시스템 기반의 정보를 기준으로 하되, 현재 사용중인 신호제어시스템과의 연동을 위해 기존 시스템 기준을 복합적으로 활용함

<표 18> DB 구성(안)

| DB 항목 | 타입            | 설명                                       | 비고                                         |
|-------|---------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 방면    | integer       | 신호제어기 기준 8방면(E, W, S, N, NE, NE, SE, SW) | V2X Heading은 12방향으로 구분하나 신호제어기 기준 8방향으로 설정 |
| 차로    | integer       | 좌회전, 우회전, 직진으로 구분                        | -                                          |
| ID    | integer       | 비매설 검지기에서 수집한 개별차량 정보의 구분자               | -                                          |
| 시각    | yyyy;hh:mm:ss | 정보 수집 시각                                 | -                                          |
| 위치정보  | integer       | GPS 좌표 체계(위도, 경도)                        | -                                          |
| 속도정보  | integer       | 개별차량의 속도 정보                              | -                                          |

#### (5) 매칭 데이터 검증

- 매칭 데이터는 한국도로공사 여주시험도로에서 DGPS(20cm 이하 급) 비매설 검지기와 위치 정확도 테스트를 진행함
- 테스트 시스템 구성은 아래와 같음



[그림 62] 매칭 테스트 장비 구성

- 검증장비는 REACH RS 제품을 사용하였으며, 위치 정확도는 2.5cm 급으로 매우 정확한 위치 정보를 획득할 수 있음

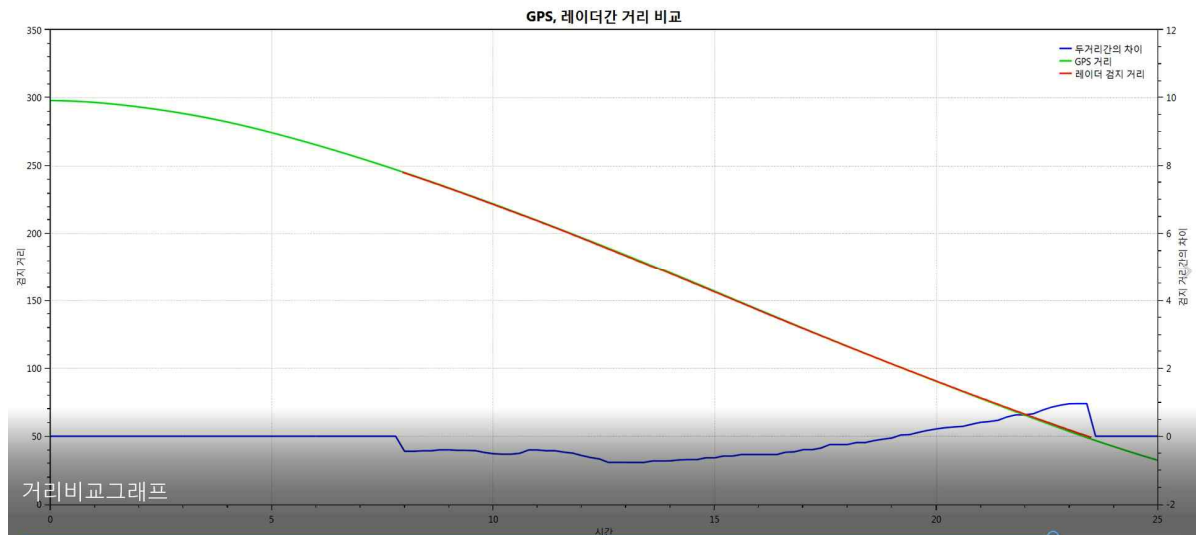


[그림 63] DGPS 외형

| PERFORMANCE                        |                                  | HORIZONTAL UNCERTAINTY                               |       |
|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|-------|
| Max. simultaneous tracked channels | 72                               | phase: RTK rapid static (constant part) [m]          | 0.005 |
| Tracked satellite signals          | GPS/QZSS L1, GLONASS, Galileo E1 | phase: RTK kinematic (constant part) [m]             | 0.025 |
| SBAS differential signals          | WAAS; EGNOS; GAGAN               | phase: static post processing (constant part) [m]    | 0.001 |
| RTK Network Compatibility          | Y                                | phase: kinematic post processing (constant part) [m] | 0.001 |
| No. channels                       | 72                               |                                                      |       |

[그림 64] DGPS 사양

- 테스트 결과는 DGPS로부터 수집한 시험차량 운행정보와 레이더에서 수집한 차량운행정보를 비교하였음



[그림 65] DGPS, 비매설검지기 간 수집정보 비교

- 비교 결과 최대 거리차이는 1m, 최소는 0m 수준으로 C-ITS에서 요구하는 1.5m 수준보다 낮게 측정되었음
- SPSS를 이용한 두 정보간의 상관분석 결과 상관계수 0.01수준에서 유의한 결과과 도출되어 매우 관계가 높은 결과로 분석됨

<표 19> 비매설검지기 및 DGPS 간 상관분석 결과

| 항목           | 구분    | Radar     | Radar     | DGPS      |
|--------------|-------|-----------|-----------|-----------|
| Pearson 상관계수 | Radar | 1         | 1         | 1.000(**) |
| 유의확률 (양쪽)    |       |           |           | .000      |
| N            |       | 78        | 78        | 78        |
| Pearson 상관계수 | Radar | 1.000(**) | 1.000(**) | 1         |
| 유의확률 (양쪽)    |       | .000      | .000      |           |
| N            |       | 78        | 78        | 78        |

\*\* 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의

- 레이더 기반의 비매설 검지기는 차량단말기에서 수집하는 정보 요구사항을 만족시킬 수 있으며, 향후 실도로 테스트를 통해 사용성을 검증 받아야 함

## 라. CoVASS 검지시스템 평가방법 개발

### (1) 사례 연구

#### (가) 인디애나 교통부

##### ○ 평가항목

- 진입 교통량(정지선 상류부 150m 지점) 검지율
- 주행 차량 위치/속도 측정 정확도(0.1초 단위)
- 진출 교통량(정지선) 검지율, 트래킹 교통량 검지율(150m~정지선까지 동일 ID 유지)

##### ○ 평가방법

교통량 검지율은 영상 녹화 및 루프 검지기 자료를 기준값으로 설정

주행차량 위치/속도 오차는 프로브 차량에 장착한 GPS 데이터를 기준값으로 설정(※ GPS 속도 데이터 신뢰성 검증은 차량 OBD 데이터로 수행)

평가기간은 4시간 동안 수행됨

##### ○ 평가결과

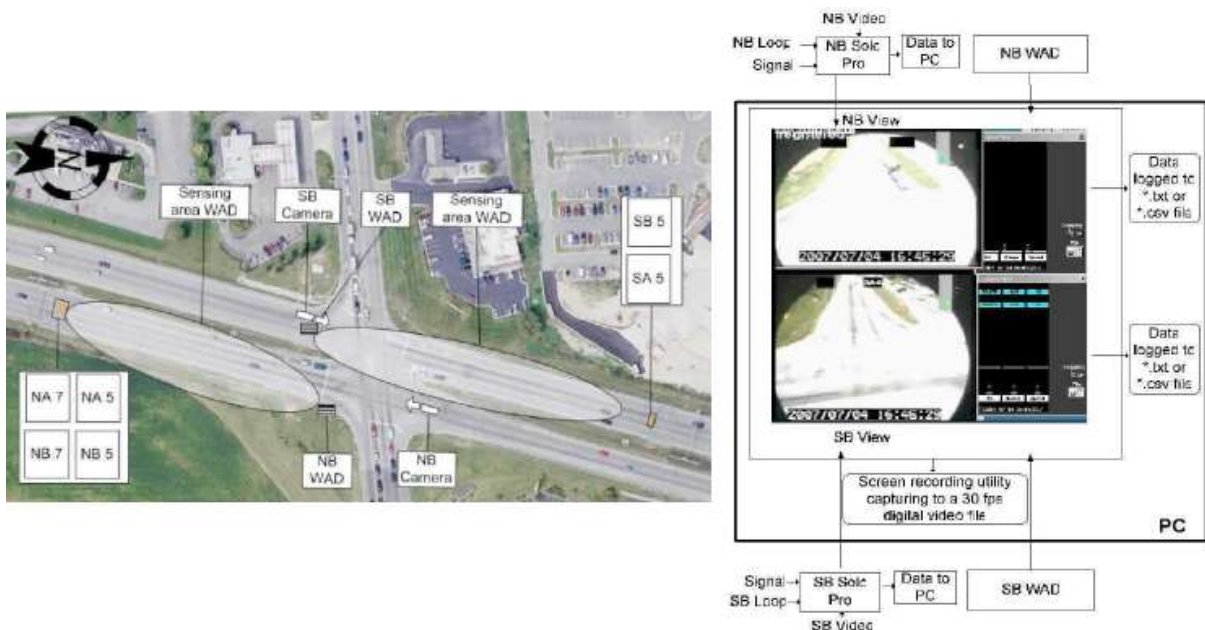
주행차량 위치 오차는 5ft 이내였고, 속도 오차는 2mph로 평가됨

소형차량과 대형차량의 위치 오차 방향 반대

회전차량이 직진차량으로 카운트 되는 사례 있음

Stop-and-Go 상황 발생시 트래킹 교통량 검지율 저하

인접차로에 두 대의 차량이 나란히 주행시 1대 차량으로 검지



[그림 66] 인디애나 교통부 검지기 평가시스템

(나) 텍사스 교통부

○ 평가항목

- 주행 차량 검지율 및 오검지율
- 주행 차량 위치/속도 측정 정확도

○ 평가방법

다양한 기상조건(맑음, 우천, 안개)에서 평가 수행

다양한 조도(주·야간, 전이시간, 음영) 조건, 차종(이륜/승용/SUV/트럭) 조건, 차두거리(vehicle spacing) 조건하에서 평가 수행

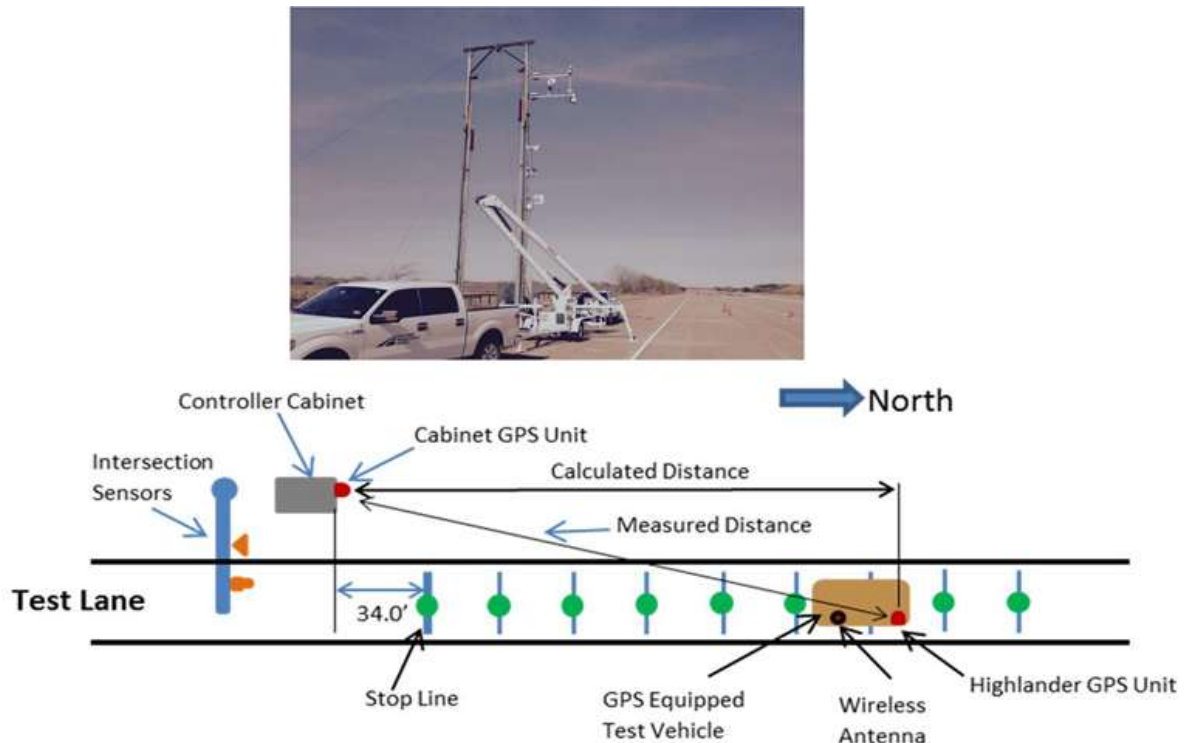
시각동기를 위해 단일 제어기(노트북)를 통한 데이터 수집

○ 평가결과

레이더 센서 기반 검지기이 경우 기상 및 조도의 영향을 받지 않음

좌회전 차로에 2대 이상의 차량이 존재할 경우 Stuck-on(차량이 없는데 차량이 존재하는 것으로 오인식) 오류가 발생할 가능성이 높은 것으로 나타남

| Time Period             | Correct Detections | Missed Calls | False Calls | Dropped Calls | Stuck Calls | Total Calls | % Correct |
|-------------------------|--------------------|--------------|-------------|---------------|-------------|-------------|-----------|
| 9:55 a.m. to 10:55 a.m. | 273                | 1            | 3           | 0             | 19          | 296         | 92.2%     |
| 2:00 p.m. to 3:00 p.m.  | 265                | 0            | 1           | 0             | 24          | 290         | 91.4%     |
| 8:25 p.m. to 9:25 p.m.  | 284                | 1            | 0           | 0             | 0           | 285         | 99.6%     |



[그림 67] 텍사스 교통부 검지기 평가시스템

## (2) 평가 방법론 정립

### ○ 평가 방법론 정립 방안

국외 유사검지기 평가사례를 참고하여 CoVASS 검지시스템 참고

국내 ITS 사업시행지침에 규정되어 있는 ITS 장비 성능평가 기준 준용

### ○ 평가 방법론

| 평가 항목                   | 평가방법                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 목표성능 <sup>7)</sup> |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1<br>교차로 진입교통량<br>검지율   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평가 항목 : 교차로 상류부 진입 교통량</li> <li>- 평가 지점 : 교차로 상류부 250m(가변) 지점</li> <li>- 평가 방법 : 단위시간당 평가지점을 통과한 교통량과 비디오 녹화를 통한 인력식 기준값 자료를 비교</li> <li>- 평가 척도 : 평균 절대 퍼센트 오차(MAPE)</li> <li>- 평가 기간 : 주간, 야간 각 1시간</li> <li>- 분석 단위 시간 : 5분(ITS 장비 성능평가 기준 적용)</li> <li>- 기준값 : 차로별로 분석단위시간(5분)당 측정된 차량대수의 합</li> </ul> $MAPE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{ Y_i - X_i }{Y_i}}{n} \times 100$ <p>· 여기서, <math>Y_i</math> : <math>i</math> 번째 분석단위시간의 기준 값, <math>X_i</math> : <math>i</math> 번째 분석단위 시간의 인증대상 장비 측정값, <math>n</math> : 분석단위시간 개수</p>                                    | 90%                |
| 2<br>주행 차량 위치<br>측정 정확도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평가 항목 : 주행차량 단위시간당 위치 좌표값</li> <li>- 평가 구간 : 교차로 상류부 250m(가변) 지점부터 교차로 정지선</li> <li>- 평가 방법 : 프로브 차량에 DGPS를 장착하고 단위시간(1초)마다 프로브 차량의 위치 데이터와 레이더 검지가 측정한 위치 데이터 비교·분석</li> <li>- 기준값 허용 오차 : 국내외 레이더 및 C-ITS OBU 위치오차가 1.5m로 알려져 있어, 기준값의 오차는 0.15m(평가대상값 오차의 1/10) 이하로 규정</li> <li>- 위치 데이터 : 위치는 평가대상 검지기 설치지점부터 상대적 거리(m) 값을 사용(GPS 측정값을 상대적 거리값으로 변환 적용)</li> <li>- 평가 척도 : 상관 계수(프로브 차량 GPS 데이터와 평가대상 검지 데이터와의 시각동기화 어려움 고려)</li> <li>- 표본수 : 평가를 위한 최소 표본수는 주행차량 200대로 설정(ITS 장비 성능평가 기준 적용)</li> <li>- 차종구성 : 평가대상 구간의 교통량 분포 등을 고려하여 대형차량과 소형차량이 분포되도록 구성</li> </ul> | 0.9                |

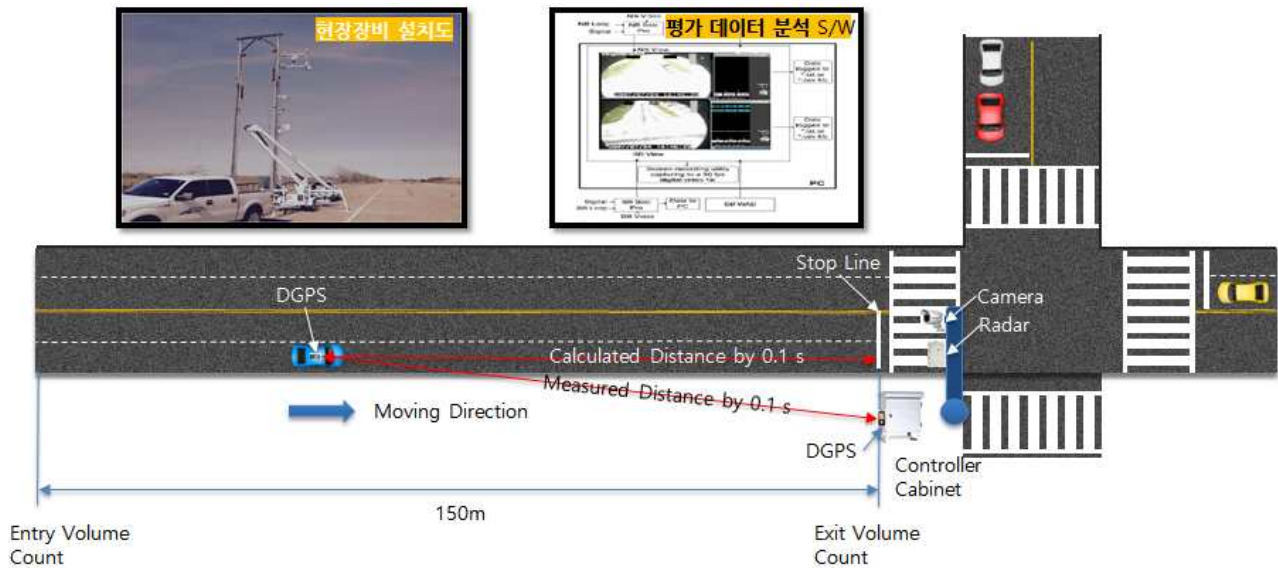
| 평가 항목                   | 평가방법                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 목표성능 <sup>7)</sup> |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|                         | $R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$ <p>여기서, <math>Y_i</math> = 기준값, <math>X_i</math> = 관측값, <math>r</math> = 상관계수,<br/> <math>\sigma_Y</math> = Y의표준편차, <math>\sigma_X</math> = X의표준편차</p>                                                                                                                                                                                                             |                    |
| 3<br>주행 차량 속도<br>측정 정확도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평가 항목 : 주행차량 단위시간당 속도값</li> <li>- 평가 구간 : 교차로 상류부 250m(가변) 지점부터 교차로 정지선</li> <li>- 평가 방법 : 프로브 차량에 DGPS를 장착하고 단위시간(1초)마다 프로브 차량의 속도 데이터와 레이더 검지가 측정한 속도 데이터 비교·분석</li> <li>- 기준값 허용 오차 : 국내외 레이더 센서의 속도오차는 약 5%로 알려져 있어, 기준값의 오차는 1%<sub>m</sub>(평가대상값 오차의 1/5) 이하로 규정</li> <li>- 평가 척도 : 상관 계수(프로브 차량 GPS 데이터와 평가대상 검지 데이터와의 시각동기화 어려움 고려)</li> <li>- 표본수 : 평가를 위한 최소 표본수는 주행차량 200대</li> <li>- 차종구성 : 평가대상 구간의 교통량 분포 등을 고려하여 대형차량과 소형차량이 분포되도록 구성</li> </ul> | 0.9                |
| 4<br>진출 교통량(정지선)<br>검지율 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평가 항목 : 교차로 진입(정지선 통과) 교통량</li> <li>- 평가 지점 : 교차로 정지선 통과 지점</li> <li>- 평가 방법 : 단위시간당 평가지점을 통과한 교통량과 비디오 녹화 통한 인력식 기준값 자료를 비교</li> <li>- 평가 척도 : 평균 절대 퍼센트 오차(MAPE)</li> <li>- 평가 기간 : 주간, 야간 각 1시간</li> <li>- 분석 단위 시간 : 5분(ITS 장비 성능평가 기준 적용)</li> <li>- 기준값 : 차로별로 분석단위시간(5분)당 측정된 차량대수의 합</li> </ul>                                                                                                                                                         | 90%                |
| 5<br>트래킹 교통량<br>검지율     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평가 항목 : 교차로 상류부 250m(가변) 지점부터 교차로 정지선까지 주행차량 검지 정확도</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 90%                |

| 평가 항목       | 평가방법                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 목표성능 <sup>7)</sup> |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평가 지점 : 교차로 상류부 250m(가변) 지점부터 교차로 정지선</li> <li>- 평가 방법 : 단위시간당 평가구간을 주행한 차량대수와 비디오 녹화 통한 인력식 기준값 자료를 비교</li> <li>- 평가 척도 : 퍼센트 오차(PE)</li> <li>- 트래킹(Tracking) 검지 성공 : 교차로 상류부(250m) 지점에서 정지선 까지 동일한 ID를 갖고 1초 단위로 연속적으로 트래킹(시간, 위치, 속도, 주행차로 정보 등 수집)한 차량</li> <li>- 표본수 : 평가를 위한 최소 표본수는 주행차량 200대</li> <li>- 차종구성 : 평가대상 구간의 교통량 분포 등을 고려하여 대형차량과 소형차량이 분포되도록 구성</li> </ul> $PE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \times 100$ <p>· 여기서, <math>T_i</math> : <math>i</math> 번째 주행차량에 대한 트래킹 검지 성공 횟수(0 또는 1), <math>n</math> : 평가대상 차량수</p> |                    |
| 6 차로 구분 정확도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평가 항목 : 교차로 상류부 250m(가변) 지점부터 교차로 정지선까지 주행차량 차로검지 정확도</li> <li>- 평가 지점 : 교차로 상류부 250m(가변) 지점부터 교차로 정지선</li> <li>- 평가 방법 : 평가대상 검지기가 수집한 평가구간 통과차량의 차로 검지 데이터(1초 단위)와 비디오 녹화를 통한 인력식 기준값 자료 비교</li> <li>- 평가 척도 : 퍼센트 오차(PE)</li> <li>- 표본수 : 평가를 위한 최소 표본수는 주행차량 200대</li> <li>- 차종구성 : 평가대상 구간의 교통량 분포 등을 고려하여 대형차량과 소형차량이 분포되도록 구성</li> <li>- 프로브 주행 시나리오 : 좌회전, 직진, 우회전, 유턴 등 다양한 차로로 주행하고, 단독주행과 인접차로 병렬주행 등 다양한 주행 시나리오 설정하여 평가자료 수집</li> </ul>                                                                                        | 90%                |

7) 국토교통부 ITS 장비 성능평가 기준에 의거 상급(90%)으로 목표성능 설정

### (3) 평가 시스템

- 하드웨어 구성 : 교통량 기준값 수집을 위한 영상녹화장치, 속도 및 위치 데이터 측정을 위한 DGPS 장착 프로브, 장비 장착을 위한 이동식 지주시스템
- 소프트웨어 구성 : 평가대상 검지시스템이 수집한 데이터와 기준 값을 매칭 및 분석할 수 있는 소프트웨어



[그림 68] CoVASS 검지기 평가시스템 구성도

## 제2절 HILS 기반 V2X 통신 인프라를 활용한 네트워크 신호제어시스템 성능평가

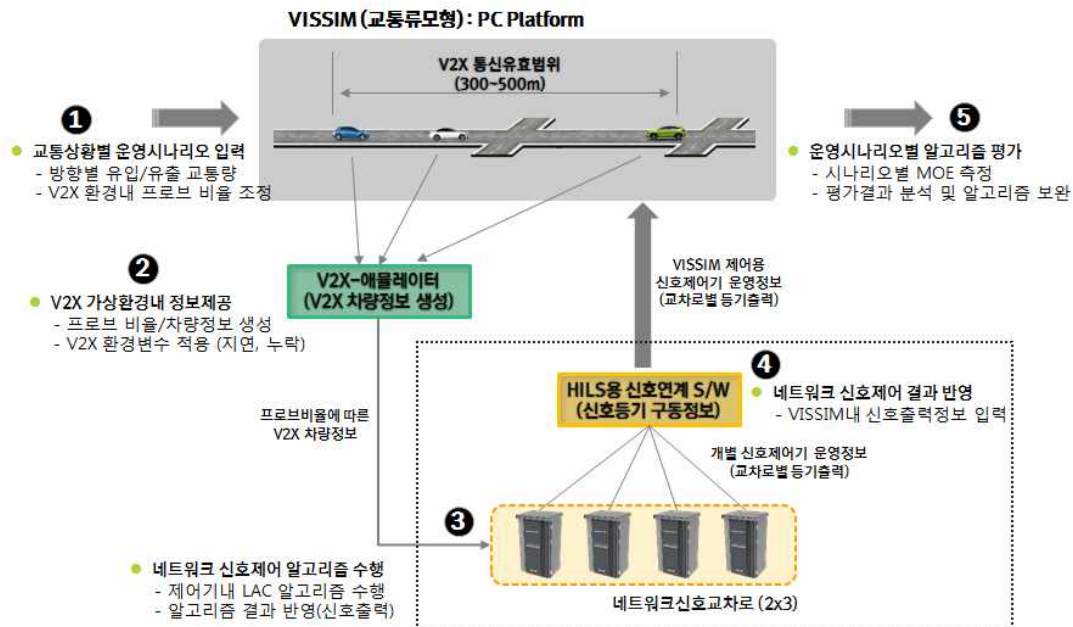
### 1. HILS 기반 4세대 신호제어시스템(CoVASS) 평가시스템 개요

#### 가. HILS 평가시스템 개요

- HiLS 평가시스템은 교통류 시뮬레이션 모형(VISSIM)과 개발된 CoVASS시스템과의 물리적 연결을 통해, 제어알고리즘의 효율성을 보다 현실적으로 평가하기 위하여 실제 운영시스템을 기반으로 한 평가시스템임
- HILS 평가시스템은 본 과업에서 개발한 CoVASS 신호제어 시스템이 현장에 설치 및 시험 운영되기 바로 전 단계 수준의 평가방법으로, 실험실 수준에서 현장과 동일한 환경을 구성하여 평가를 수행함

#### 나. HILS 평가시스템의 기능

- ① 교통류모형 (VISSIM)을 통한 방향별 유입/유출 교통정보 입력
- ② V2X 가상환경에 맞춘 차량정보 생성 - V2X 환경 변수 적용
- ③ 네트워크신호제어 알고리즘 수행
- ④ 신호제어 결과 MOE 반영
- ⑤ 운영시나리오별 알고리즘 평가 - MOE 분석 테이블 및 그래프 표시

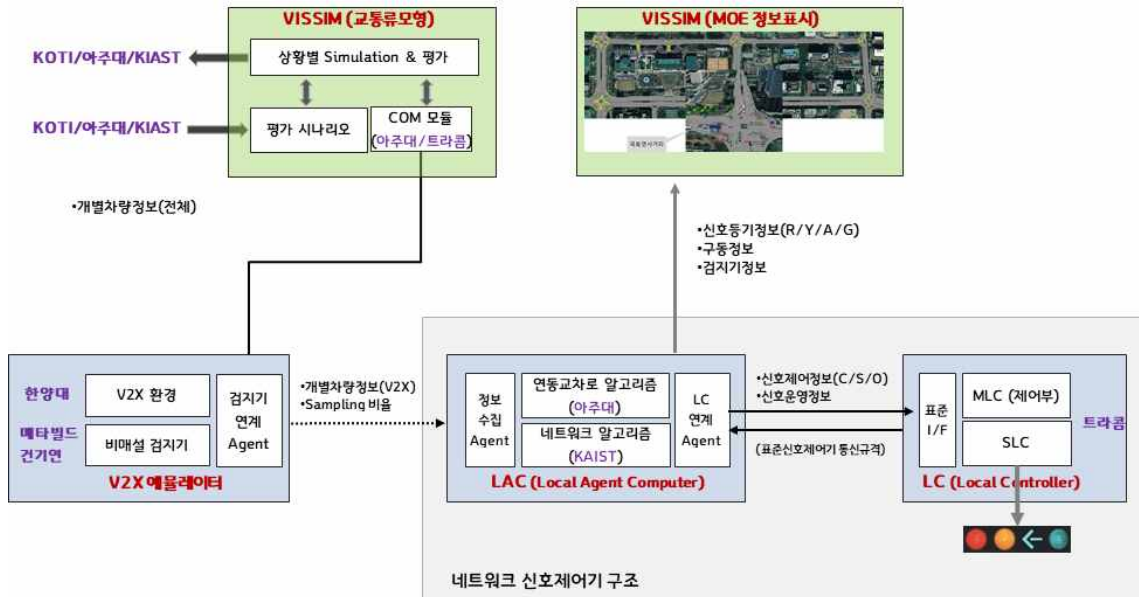


[그림 69] CoVASS-HILS 평가시스템 개요

## 2. HILS 기반 4세대 신호제어시스템(CoVASS) 평가시스템 상세내용

### 가. 평가시스템 아키텍처

- HILS 평가시스템은 VISSIM(교통류모형), V2X 에뮬레이터, 네트워크 신호제어기로 구성됨
- 다음은 HILS 시스템 구축을 위한 기관별 역할 정의를 위하여 다음과 같은 시스템 아키텍처를 설계하였음



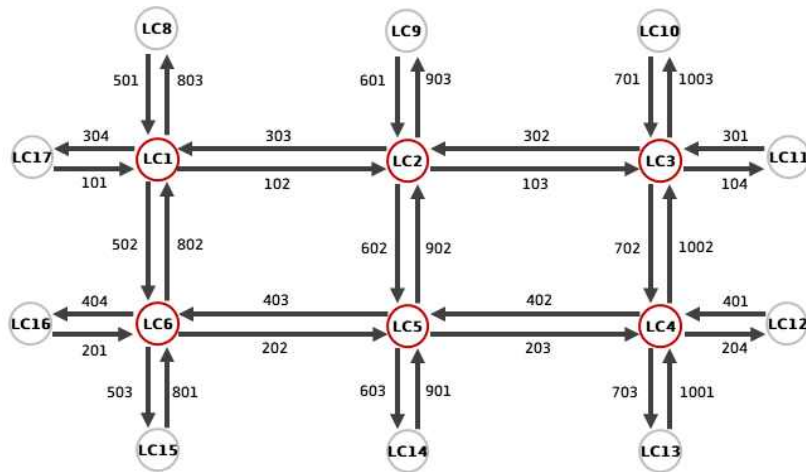
[그림 70] CoVASS-HILS 평가시스템 아키텍처

<표 20> CoVASS-HILS 부문별 기능 정의

| 구분           |                 | 주요기능                                                                                                                                              |
|--------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VISSIM       | 평가시나리오          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평가 시나리오 작성</li> <li>- 시나리오별 사전 입력정보 정의</li> <li>- 시뮬레이션 구성파일 작성 등</li> </ul>                             |
|              | Simulation & 평가 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 평가용 시나리오에 따라서 HILS 평가 및 평가결과에 대한 검토/분석</li> <li>- 알고리즘 수행결과의 분석 및 결과 정리</li> </ul>                       |
| V2X<br>에뮬레이터 | V2X 환경          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sampling 비율에 따른 선별적 전송</li> <li>- 통신 지연, 누락 등 V2X 통신환경 반영 전송</li> <li>- 1차적으로는 100% Bypass 전송</li> </ul> |
|              | 비매설검지기          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 단위시간당 접근로(링크)별 유입/유출 차량수, 비율</li> </ul>                                                                  |
|              | 검지기 연계 Agent    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- V2X 환경과 비매설검지기 정보를 융합하여 신호제어기내 정보수집 Agent로 검지기 정보를 전송하는 통신 Agent</li> </ul>                              |
| LAC          | 정보수집 Agent      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개별차량정보와 접근로별 정보를 알고리즘부에서 참조</li> </ul>                                                                   |
|              | LC연계 Agent      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 표준신호제어기 통신규격에 따라 신호제어기로 전송</li> <li>- 운영결과/상태 정보를 수집하여 알고리즘부에서 참조</li> </ul>                             |
| LC           | 표준제어기 I/F       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 표준신호제어기 통신규격 기반 통신 인터페이스</li> </ul>                                                                      |

## 나. 평가시스템 네트워크

- CoVASS 알고리즘 평가를 위한 신호 네트워크는  $2 \times 3$  교차로 네트워크를 대상으로 함
- 각 교차로는 일반 4지 교차로를 대상으로 하며 시뮬레이션 구성 시 전체 6개 LC, 24개 LINK로 구성됨



[그림 71] 평가모형 및 HILSS 내부 6개 LAC 시스템

## 다. 평가시스템 연계정보 정의

### (1) VISSIM 제공 : 개별차량 정보

- VISSIM 교통류 모형에서 평가 시나리오에 따라 시뮬레이션 시, 매 초단위로 교차로의 개별차량 정보들을 추출
- 이 정보들은 알고리즘에서 필요로 하는 정보들을 대상으로 VISSIM 모형에서 제공할 수 있는 차량정보들을 추출하여 전송

### (2) 비매설 검지기 제공 : 접근로(링크) 별 유입/유출 차량 수 및 비율

- VISSIM 교통류 모형에서 제공되는 개별차량 전체 정보를 기반으로 단위시간당 각 링크별 유입 교통량 및 유출 교통량을 생성
- 정보생성 단위시간 : 1sec
- 유입/유출량 산출 : 사전 교통량 조사로 설정

### (3) LAC-(신호제어기) 연계 : 신호제어기 제어 및 상태정보 수집

- LAC에서 수행되는 알고리즘의 결과를 신호제어기와 연계하여 제어를 수행하고, 제어 결과를 표준신호제어기 연계 프로토콜을 기반으로 연계

(4) 신호제어기 등기구동 정보 : VISSIM 연계

- 신호제어기는 알고리즘 수행결과로 각 교차로별/방향별 신호등 구동정보를 매 100ms 단위로 VISSIM으로 전송

### 3. HILS 기반 4세대 신호제어시스템(CoVASS) 성능평가

#### 가. 평가내용 및 방법

- HILS 기반 평가는 CoVASS 신호제어시스템에 적용될 제어 알고리즘을 대상으로 교통 상황 및 V2X 통신 차내단말기 장착율(%)에 따라 평가 시나리오를 구분하고, 효과척도를 비교하여 수행함

##### (1) 시나리오 선정

- 시나리오-1: Do nothing
  - 기존 신호운영시스템에 따라 TOD 제어로만 제어했을 경우의 시나리오
- 시나리오-2: 연동교차로 교통신호 제어알고리즘
  - 주어진 교통상황별 v/c 조건(비혼잡, 포화, 과포화)에서 차량단말기부터 수집된 개별차량정보(개별차량 속도, 현재위치, 차선, 목적경로 등)에 근거한 실시간 제어
- 시나리오-3: V2X 기반 네트워크 교통신호 제어알고리즘
  - 주어진 교통상황별 v/c 조건(비혼잡, 포화, 과포화)에서 차량단말기부터 수집된 링크정보(차량유입율, 방향별 분할비, 링크 용량, 링크 길이 등)에 근거한 실시간 제어

##### (2) 평가방법

- 교통상황별: 과포화(오전첨두시), 준포화(낮시간), 비포화(밤시간)
- 시나리오별 분석시간: 각 60분씩, 3회 반복
- 효과척도
  - 평균지체(통행시간) : 교차로 네트워크 평균제어지체
  - 평균속도 : 교차로 네트워크 평균통행속도
  - 차량대수 : 교차로 네트워크 차량대수
  - 대기행렬길이 : 교차로 접근로별 평균대기행렬길이
  - 정지횟수 : 차량들이 신호교차로에서 정지하는 횟수
  - 통행시간 변동성 : 네트워크에서 발생된 차량들의 차량대수 편차
  - 기타 효과 척도

<표 21> 평가내용 및 방법

| 구 분          | 내 용                                                                                                                                                               |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 평가방법         | - HILS기반 평가시스템 이용                                                                                                                                                 |
| 평가 대상 제어알고리즘 | - 연동교차로 교통신호 제어알고리즘<br>- V2X 기반 네트워크 교통신호 제어알고리즘                                                                                                                  |
| 평가 시나리오      | - 교통상황별 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 비포화 : 밤시간</li> <li>▪ 준포화 : 낮시간</li> <li>▪ 과포화 : 오전첨두시</li> </ul>                                                 |
| 평가 지표        | - 공 통 : 속도, 차량 평균지체, 통과교통량<br>- 각 제어알고리즘별 특성에 따른 지표 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 평균지체</li> <li>▪ 평균 속도</li> <li>▪ 차량대수</li> <li>▪ 기타 효과 척도</li> </ul> |

### (3) 샘플 네트워크

- CoVASS 신호제어시스템의 평가를 위하여 안양시 평촌역, 안양시청 주변 6개 교차로를 샘플 네트워크로 선정하였음
- 본 구간은 2 × 3 네트워크로 4지 교차로 5개와 3지 교차로 1개로 구성되어 있고 각 교차로의 간격은 약 500m임. 또한 주도로(동서축)는 편도 4~5차로로 구성되어 있고 부도로(남북축)는 편도 2~3차로로 구성됨
- 본 대상지는 현재 ITS사업으로 중앙센터에 의해 신호관제가 이루어지고 있는 구간으로 CCTV, 검지기 등이 구축되어 있어 교통정보에 대한 관측이 가능함



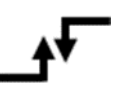
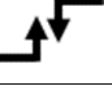
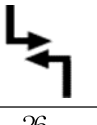
①KT사거리 ②평촌도서관사거리 ③법원삼거리 ④평촌역사거리 ⑤국토연사거리 ⑥시청사거리

[그림 72] 샘플 네트워크

<표 22> 교차로 교통량 및 교통특성 현황

| 구 분          | 방향별 교통량 | 교통 특성                                                                                                                                        |
|--------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1) KT사거리     |         |                                                                                                                                              |
| 2) 평촌도서관 사거리 |         |                                                                                                                                              |
| 3) 법조타운삼거리   |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 오전첨두(과포화) :<br/>2017년 3월 28일(화) 08시~09시</li> <li>- 낮(준포화) :<br/>2017년 3월 28일(화) 14시~15시</li> </ul>  |
| 4) 평촌역사거리    |         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 밤(비포화) :<br/>2017년 3월 27일(월) 22시~23시</li> <li>- 교통량 : 각 시간대에 대한 영상자료 (CCTV, ITS 카메라)를 이용</li> </ul> |
| 5) 국토연사거리    |         |                                                                                                                                              |
| 6) 시청사거리     |         |                                                                                                                                              |

<표 23> 교차로 신호현시체계 현황

| entry       | 시각    | 주기  | offset | 1현시                                                                                 | 2현시                                                                                 | 3현시                                                                                  | 4현시                                                                                   | 5현시                                                                                   | 비고   |
|-------------|-------|-----|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1. KT사거리    |       |     |        |    |    |    |    |                                                                                       |      |
| 1           | 0:00  | 150 | 56     | 70                                                                                  | 23                                                                                  | 38                                                                                   | 19                                                                                    |                                                                                       |      |
| 2           | 6:00  | 160 | 103    | 80                                                                                  | 23                                                                                  | 38                                                                                   | 19                                                                                    |                                                                                       | 오전첨두 |
| 3           | 10:00 | 160 | 106    | 80                                                                                  | 23                                                                                  | 38                                                                                   | 19                                                                                    |                                                                                       | 낮시간  |
| 4           | 22:00 | 150 | 56     | 70                                                                                  | 23                                                                                  | 38                                                                                   | 19                                                                                    |                                                                                       | 밤시간  |
| 2. 평촌도서관사거리 |       |     |        |    |    |    |    |                                                                                       |      |
| 1           | 0:00  | 150 | 99     | 63                                                                                  | 19                                                                                  | 42                                                                                   | 26                                                                                    |                                                                                       |      |
| 2           | 6:00  | 160 | 126    | 73                                                                                  | 19                                                                                  | 42                                                                                   | 26                                                                                    |                                                                                       | 오전첨두 |
| 3           | 10:00 | 160 | 126    | 73                                                                                  | 19                                                                                  | 42                                                                                   | 26                                                                                    |                                                                                       | 낮시간  |
| 4           | 22:00 | 150 | 99     | 63                                                                                  | 19                                                                                  | 42                                                                                   | 26                                                                                    |                                                                                       | 밤시간  |
| 3. 법조타운삼거리  |       |     |        |    |    |     |                                                                                       |                                                                                       |      |
| 1           | 0:00  | 150 | 24     | 77                                                                                  | 36                                                                                  | 37                                                                                   |                                                                                       |                                                                                       |      |
| 2           | 6:00  | 160 | 25     | 87                                                                                  | 36                                                                                  | 37                                                                                   |                                                                                       |                                                                                       | 오전첨두 |
| 3           | 10:00 | 150 | 24     | 77                                                                                  | 36                                                                                  | 37                                                                                   |                                                                                       |                                                                                       | 낮시간  |
| 4           | 22:00 | 150 | 24     | 77                                                                                  | 36                                                                                  | 37                                                                                   |                                                                                       |                                                                                       | 밤시간  |
| 4. 평촌역사거리   |       |     |        |  |  |  |  |                                                                                       |      |
| 1           | 0:00  | 150 | 110    | 37                                                                                  | 48                                                                                  | 43                                                                                   | 22                                                                                    |                                                                                       |      |
| 2           | 6:00  | 160 | 19     | 40                                                                                  | 55                                                                                  | 43                                                                                   | 22                                                                                    |                                                                                       | 오전첨두 |
| 3           | 10:00 | 160 | 19     | 47                                                                                  | 48                                                                                  | 43                                                                                   | 22                                                                                    |                                                                                       | 낮시간  |
| 4           | 22:00 | 150 | 110    | 37                                                                                  | 48                                                                                  | 43                                                                                   | 22                                                                                    |                                                                                       | 밤시간  |
| 5. 국토연구원사거리 |       |     |        |  |  |  |  |                                                                                       |      |
| 1           | 0:00  | 150 | 21     | 58                                                                                  | 20                                                                                  | 46                                                                                   | 26                                                                                    |                                                                                       |      |
| 2           | 6:00  | 160 | 38     | 68                                                                                  | 20                                                                                  | 46                                                                                   | 26                                                                                    |                                                                                       | 오전첨두 |
| 3           | 10:00 | 160 | 38     | 68                                                                                  | 20                                                                                  | 46                                                                                   | 26                                                                                    |                                                                                       | 낮시간  |
| 4           | 22:00 | 150 | 16     | 58                                                                                  | 20                                                                                  | 46                                                                                   | 26                                                                                    |                                                                                       | 밤시간  |
| 6. 시청사거리    |       |     |        |  |  |  |  |  |      |
| 1           | 0:00  | 150 | 90     | 25                                                                                  | 37                                                                                  | 25                                                                                   | 43                                                                                    | 20                                                                                    |      |
| 2           | 6:00  | 160 | 23     | 30                                                                                  | 42                                                                                  | 25                                                                                   | 43                                                                                    | 20                                                                                    | 오전첨두 |
| 3           | 10:00 | 160 | 19     | 30                                                                                  | 42                                                                                  | 25                                                                                   | 43                                                                                    | 20                                                                                    | 낮시간  |
| 4           | 22:00 | 150 | 90     | 25                                                                                  | 37                                                                                  | 25                                                                                   | 43                                                                                    | 20                                                                                    | 밤시간  |

#### (4) HILS 운영 결과

##### ○ System 환경

- LAC x 6대 : intel i5-2.6Ghz, 4GB DDR3-RAM, 128GB SSD, Ubuntu O/S
- Server x 4대 : CentOS Ver.7 서버, 4개의 병렬처리 (Kafka 클러스터링)
- Database : MySQL 5.7
- 사용언어 : Python, JAVA, HTML5, JavaScript, CSS
- 교통류모형 : VISSIM 10.x
- Graphic tool : Grafana v5.2

##### ○ 교차로 운영상태 모니터링 화면

- 6개 교차로의 TOD정보를 입력 후 운영상태 모니터링



[그림 73] HILS LAC1~6 운영상태 표시화면(1)

|             |     |     |    |    |    |             |     |     |    |    |    |
|-------------|-----|-----|----|----|----|-------------|-----|-----|----|----|----|
| 1번 KT사거리    |     |     |    |    |    | 2번 평촌도서관사거리 |     |     |    |    |    |
| LC_ID       | 1   | 상태  | 0  | S1 | 80 | LC_ID       | 2   | 상태  | 0  | S1 | 73 |
| OPCODE      | 16  | 예비1 | 11 | S2 | 23 | OPCODE      | 16  | 예비1 | 10 | S2 | 19 |
| SC          | 63  | 예비2 | 14 | S3 | 38 | SC          | 63  | 예비2 | 5  | S3 | 42 |
| Cycle       | 160 | 예비3 | 0  | S4 | 19 | Cycle       | 160 | 예비3 | 0  | S4 | 26 |
| T-Cycle     | 160 | 예비4 | 0  | S5 | 0  | T-Cycle     | 160 | 예비4 | 0  | S5 | 0  |
| Offset      | 106 | 예비5 | 0  | S6 | 0  | Offset      | 126 | 예비5 | 0  | S6 | 0  |
| Delta       | 0   | 예비6 | 0  | S7 | 0  | Delta       | 0   | 예비6 | 0  | S7 | 0  |
| Phase       | 3   | 예비7 | 0  | S8 | 0  | Phase       | 3   | 예비7 | 0  | S8 | 0  |
| 3번 법조타운삼거리  |     |     |    |    |    | 4번 평촌역사거리   |     |     |    |    |    |
| LC_ID       | 3   | 상태  | 0  | S1 | 75 | LC_ID       | 4   | 상태  | 0  | S1 | 47 |
| OPCODE      | 16  | 예비1 | 10 | S2 | 35 | OPCODE      | 16  | 예비1 | 4  | S2 | 48 |
| SC          | 143 | 예비2 | 5  | S3 | 36 | SC          | 63  | 예비2 | 44 | S3 | 43 |
| Cycle       | 150 | 예비3 | 0  | S4 | 0  | Cycle       | 160 | 예비3 | 0  | S4 | 22 |
| T-Cycle     | 146 | 예비4 | 0  | S5 | 0  | T-Cycle     | 160 | 예비4 | 0  | S5 | 0  |
| Offset      | 24  | 예비5 | 0  | S6 | 0  | Offset      | 19  | 예비5 | 0  | S6 | 0  |
| Delta       | 146 | 예비6 | 0  | S7 | 0  | Delta       | 0   | 예비6 | 0  | S7 | 0  |
| Phase       | 3   | 예비7 | 0  | S8 | 0  | Phase       | 1   | 예비7 | 0  | S8 | 0  |
| 5번 국토연구원사거리 |     |     |    |    |    | 6번 시청사거리    |     |     |    |    |    |
| LC_ID       | 5   | 상태  | 0  | S1 | 68 | LC_ID       | 6   | 상태  | 0  | S1 | 37 |
| OPCODE      | 16  | 예비1 | 3  | S2 | 20 | OPCODE      | 16  | 예비1 | 7  | S2 | 50 |
| SC          | 63  | 예비2 | 25 | S3 | 46 | SC          | 63  | 예비2 | 37 | S3 | 30 |
| Cycle       | 160 | 예비3 | 0  | S4 | 26 | Cycle       | 160 | 예비3 | 0  | S4 | 51 |
| T-Cycle     | 160 | 예비4 | 0  | S5 | 0  | T-Cycle     | 192 | 예비4 | 0  | S5 | 24 |
| Offset      | 38  | 예비5 | 0  | S6 | 0  | Offset      | 19  | 예비5 | 0  | S6 | 0  |
| Delta       | 0   | 예비6 | 0  | S7 | 0  | Delta       | 30  | 예비6 | 0  | S7 | 0  |
| Phase       | 1   | 예비7 | 0  | S8 | 0  | Phase       | 2   | 예비7 | 0  | S8 | 0  |

[그림 74] HILS LAC1~6 운영상태 표시화면(2)

## ○ 운영이력 및 교통정보 표시 화면

- 6개 교차로의 운영이력, 표시되는 각 항목은 사용자에게 의해 선택가능

제어기 번호 1번 2번 3번 4번 5번 6번

날짜 선택 2018-09-30  (KT사거리)

| 시간       | SC  | CYCLE | T-Cycle | OFFSET | DELTA | PHASE | STATUS | 예비1 | SPLIT1 | SPLIT2 | SPLIT3 | SPLIT4 | SPLIT5 | SLC1_OUT | SLC2_OUT | SLC3_OUT |
|----------|-----|-------|---------|--------|-------|-------|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|
| 15:16:26 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 15:16:26 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 15:13:54 | 114 | 160   | 153     | 106    | 153   | 1     | 1      | 1   | 78     | 21     | 36     | 18     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 15:13:46 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 15:11:06 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 15:08:26 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 15:05:46 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 15:03:06 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 15:00:26 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:57:46 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:55:06 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:52:26 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:49:46 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:47:06 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:44:26 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:41:46 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:39:06 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:36:26 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:33:46 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:31:06 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:28:26 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:25:46 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:23:06 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:20:26 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:17:46 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:15:06 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |
| 14:12:26 | 106 | 160   | 160     | 106    | 0     | 1     | 0      | 1   | 80     | 23     | 38     | 19     | 0      | 9f88     | a8a8     | 8888     |

[그림 75] HILS LAC 운영이력 정보표시

- 링크 교통정보 저장이력 표시 화면, LINK\_ID는 국토부의 표준에 의해 할당

제어기 번호

1번

2번

3번

4번

5번

6번

날짜 선택

2018-09-30

필터

(KT사거리)

원활

서행

지체

정체

30km/h ↑

20~30km/h

10~20km/h

10km/h ↓

| 경신시간     | LC_ID | LINK_ID    | 도로명 | 링크번호 | 통행시간(초) | 평균속도(km/h) | 혼잡도 |
|----------|-------|------------|-----|------|---------|------------|-----|
| 15:11:10 | 1     | 2090059500 | 평촌로 | 8    | 38      | 31         | 원활  |
| 15:11:10 | 1     | 2090059400 | 평촌로 | 7    | 36      | 32         | 원활  |
| 15:11:10 | 1     | 2090059300 | 동안로 | 6    | 43      | 36         | 원활  |
| 15:11:10 | 1     | 2090059200 | 동안로 | 5    | 48      | 33         | 원활  |
| 15:11:10 | 1     | 2090055500 | 평촌로 | 4    | 14      | 29         | 서행  |
| 15:11:10 | 1     | 2090055400 | 평촌로 | 3    | 21      | 20         | 지체  |
| 15:11:10 | 1     | 2090053700 | 동안로 | 2    | 44      | 33         | 원활  |
| 15:11:10 | 1     | 2090053600 | 동안로 | 1    | 51      | 29         | 서행  |
| 15:06:03 | 1     | 2090059500 | 평촌로 | 8    | 44      | 26         | 서행  |
| 15:06:03 | 1     | 2090059400 | 평촌로 | 7    | 36      | 32         | 원활  |
| 15:06:03 | 1     | 2090059300 | 동안로 | 6    | 35      | 44         | 원활  |
| 15:06:03 | 1     | 2090059200 | 동안로 | 5    | 47      | 33         | 원활  |
| 15:06:03 | 1     | 2090055500 | 평촌로 | 4    | 12      | 32         | 원활  |
| 15:06:03 | 1     | 2090055400 | 평촌로 | 3    | 20      | 20         | 지체  |
| 15:06:03 | 1     | 2090053700 | 동안로 | 2    | 43      | 33         | 원활  |
| 15:06:03 | 1     | 2090053600 | 동안로 | 1    | 45      | 32         | 원활  |
| 15:01:21 | 1     | 2090059500 | 평촌로 | 8    | 41      | 28         | 서행  |
| 15:01:21 | 1     | 2090059400 | 평촌로 | 7    | 36      | 32         | 원활  |
| 15:01:21 | 1     | 2090059300 | 동안로 | 6    | 41      | 38         | 원활  |
| 15:01:21 | 1     | 2090059200 | 동안로 | 5    | 47      | 33         | 원활  |
| 15:01:21 | 1     | 2090055500 | 평촌로 | 4    | 12      | 32         | 원활  |
| 15:01:21 | 1     | 2090055400 | 평촌로 | 3    | 20      | 20         | 지체  |
| 15:01:21 | 1     | 2090053700 | 동안로 | 2    | 43      | 33         | 원활  |
| 15:01:21 | 1     | 2090053600 | 동안로 | 1    | 45      | 32         | 원활  |
| 14:56:10 | 1     | 2090059500 | 평촌로 | 8    | 44      | 26         | 서행  |
| 14:56:10 | 1     | 2090059400 | 평촌로 | 7    | 36      | 32         | 원활  |
| 14:56:10 | 1     | 2090059300 | 동안로 | 6    | 33      | 46         | 원활  |

[그림 76] HILS 교통정보 표시

○ 그래프 표시 : 주기/현시/평균속도, 링크 평균통과시간/평균속도



[그림 77] 교차로별 주기/현시/평균속도 그래프



[그림 78] 링크별 평균통과시간 및 평균속도 그래프

#### (5) VISSIM을 이용한 HILS 정보의 표현

○ VISSIM의 Graphic GUI와 교통분석툴을 활용하여 시스템 데이터들을 연계 시키면 HILS에 강력한 Graphic Display 기능 도입 가능함

○ 독일의 항공우주국(DLR)은 SUMO Simulator를 결합하여 Traffic Monitoring / Traffic Simulation & Prediction 및 Traffic Control을 하는 시스템 개발임

([https://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-1237/5441\\_read-7889](https://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-1237/5441_read-7889))

○ 본연구에서는 HILS와 VISSIM의 Runtime으로 연동하는 설계를 완료함

○ VISSIM을 이용한 교차로 운영정보 표현

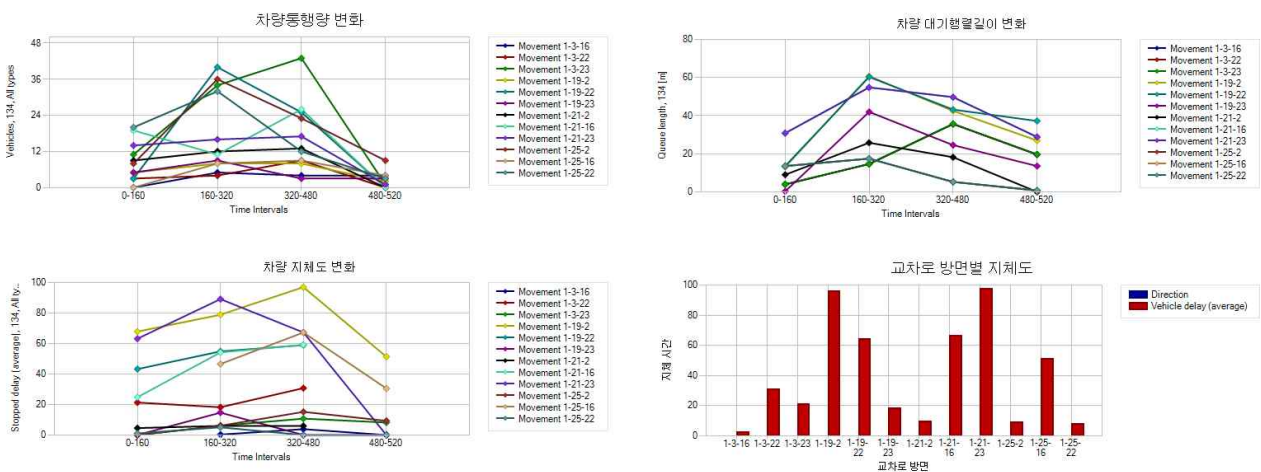
- 각 교차로의 차로 및 링크를 입력하고 교통정보 및 신호정보를 GUI로 표현



[그림 79] VISSIM GUI

○ VISSIM을 이용한 교통정보 분석그래프

- VISSIM 내장된 교통정보 분석툴을 이용하여 교차로 및 링크의 교통정보를 분석함으로써 적용된 알고리즘의 효과에 대한 유용한 분석 결과를 도출
- 통행량, 대기길이, 차량지체도, 방면별 지체도 변화 그래프



[그림 80] VISSIM MOE 분석 그래프

## 나. 효과분석

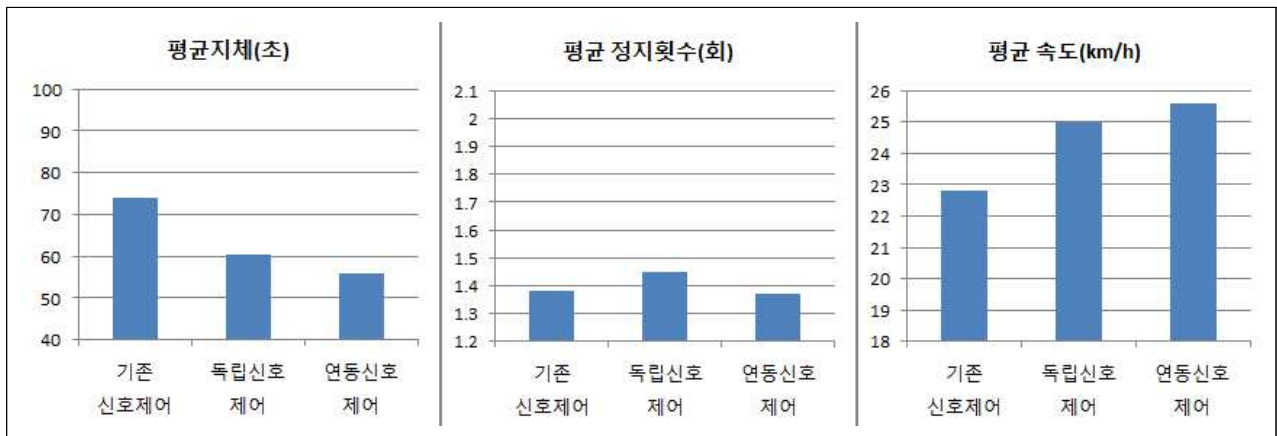
### (1) 연동교차로 교통신호제어 알고리즘

#### (가) 비포화 시

- 비포화 시 효과분석 결과는 아래 <표 24>와 같음
- 평균지체는 15% 이상 감소하였고, 그 외 효과척도 또한 연동신호제어 알고리즘을 적용하였을 때 개선되었음을 확인할 수 있음

<표 24> 비포화 시 효과분석 결과

| 구분          | 기존 신호제어 | 독립신호 제어 | 연동신호 제어 | 독립신호 개선비율 | 연동신호 개선비율 |
|-------------|---------|---------|---------|-----------|-----------|
| 평균지체(초)     | 73.83   | 60.48   | 55.92   | 18.1%     | 24.3%     |
| 평균 정지횟수(회)  | 1.38    | 1.45    | 1.37    | -         | -         |
| 평균 속도(km/h) | 22.81   | 24.98   | 25.61   | 9.5%      | 12.3%     |



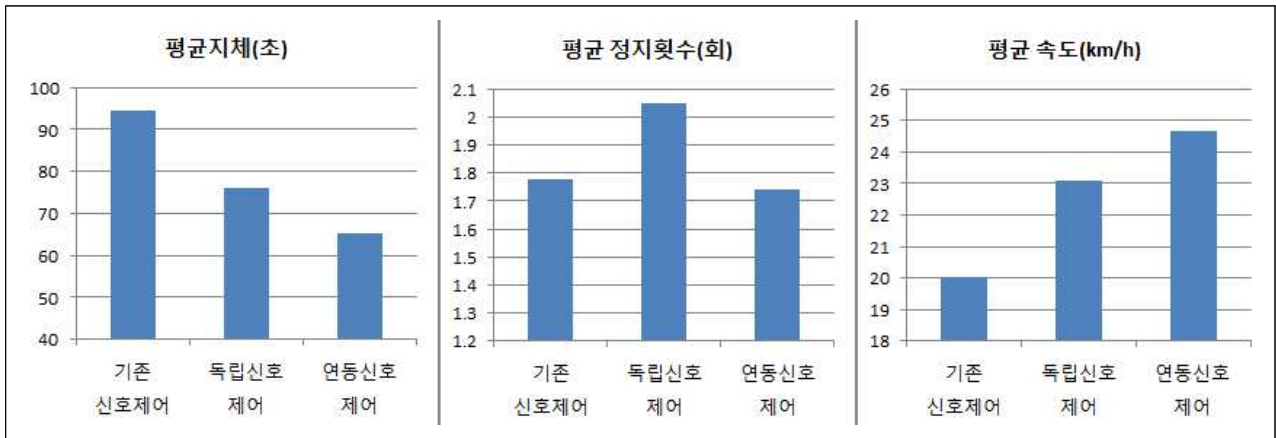
[그림 81] 비포화 시 효과분석 결과

#### (나) 준포화 시

- 준포화 시 효과분석 결과는 아래 <표 25>와 같음
- 평균지체는 15% 이상 감소하였고, 그 외 효과척도 또한 연동신호제어 알고리즘을 적용하였을 때 개선되었음을 확인할 수 있음

<표 25> 준포화 시 효과분석 결과

| 구분          | 기존 신호제어 | 독립신호 제어 | 연동신호 제어 | 독립신호 개선비율 | 연동신호 개선비율 |
|-------------|---------|---------|---------|-----------|-----------|
| 평균지체(초)     | 94.43   | 76.18   | 65.26   | 19.3%     | 30.9%     |
| 평균 정지횟수(회)  | 1.78    | 2.05    | 1.74    | -         | -         |
| 평균 속도(km/h) | 20.02   | 23.10   | 24.66   | 15.4%     | 23.2%     |



[그림 82] 준포화 시 효과분석 결과

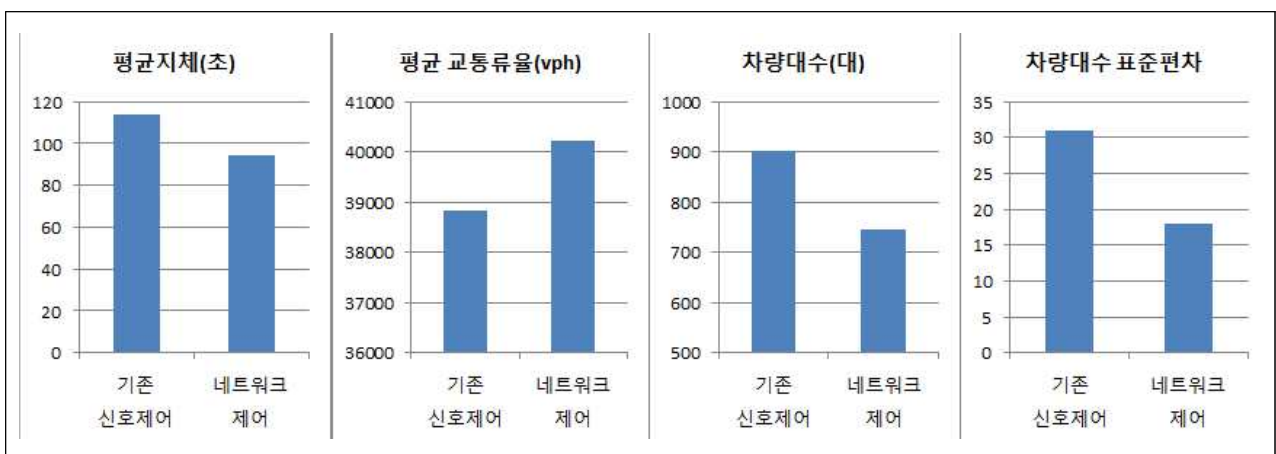
## (2) 네트워크 교통신호제어 알고리즘

### ○ 과포화 시

- 과포화 시 효과분석 결과는 아래 <표 26>과 같음
- 평균지체는 15% 이상 감소하였고, 그 외 효과적도 또한 연동신호제어 알고리즘을 적용하였을 때 개선되었음을 확인할 수 있음

<표 26> 과포화 시 효과분석 결과

| 구분           | 기존 신호제어  | 네트워크 제어  | 개선비율   |
|--------------|----------|----------|--------|
| 평균지체(초)      | 114.10   | 94.63    | 17.1%  |
| 평균 교통류율(vph) | 38839.80 | 40229.23 | 3.58%  |
| 차량대수(대)      | 902.95   | 745.28   | 17.46% |
| 차량대수 표준편차    | 30.91    | 17.94    | 41.98% |

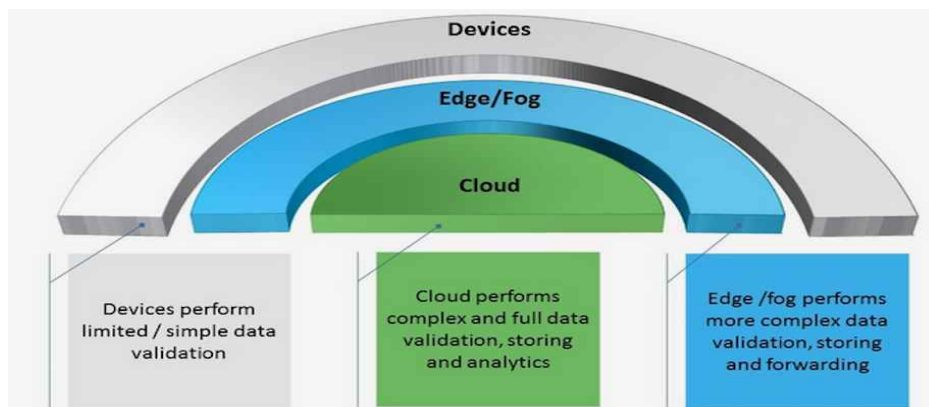
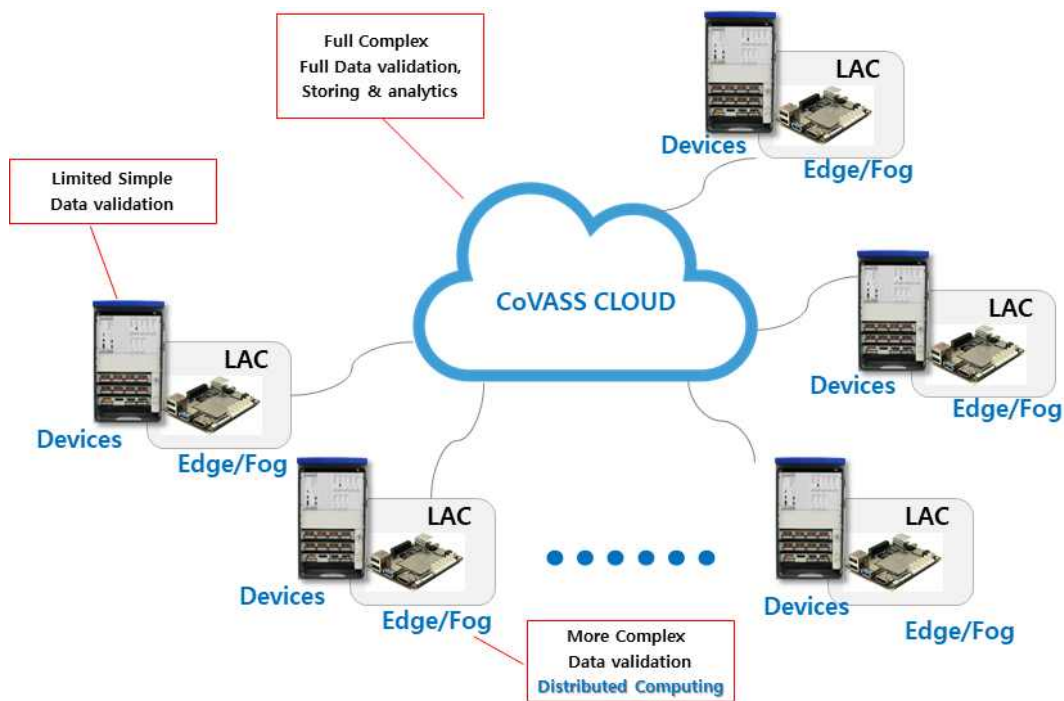


[그림 83] 과포화 시 효과분석 결과

## 4. 광역 네트워크 확장 제어

### 가. 광역 네트워크 확장 제어 개요

- CoVASS 신호체계에서 LAC에 중앙제어기의 역할을 담당할 수 있도록 기능을 부여함
- 실시간 차량 데이터에 따라  $n \times m$  네트워크를 가변적으로 구성할 수 있도록 전략을 수립함
- 지역제어기에 기능 중 오프라인/온라인 제어기능, 네트워크 제어기능, 정보수집 및 처리기능, 실시간 통신 인터페이스 기능 등을 기본기능으로 설계함
- 데이터 저장 및 가공기능, 네트워크 신호시간 배정 기능 등을 에지컴퓨팅(Edge computing) 방식으로 구현하여 그 역할을 분산함으로써 광역의 네트워크로 확장되더라도 중앙서버의 확장 없이 가능하도록 구현함
- 분산컴퓨팅(Distributed Computing) 방식을 도입하여 광역 네트워크로 확장 시 성능확대(scalability)와 고가용성(High Availability)을 고려하여 설계함

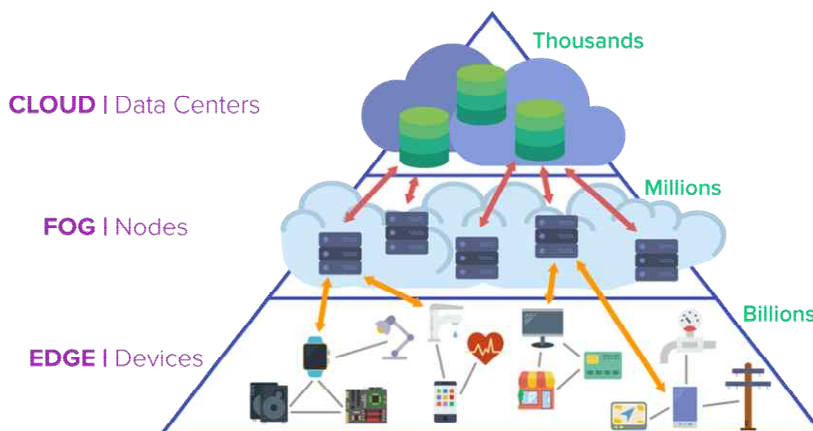


[그림 84] 광역 네트워크 확장 제어 개념

## 나. 광역 네트워크 확장 제어 방안

### (1) 에지 컴퓨팅 (Edge computing) 기술 도입

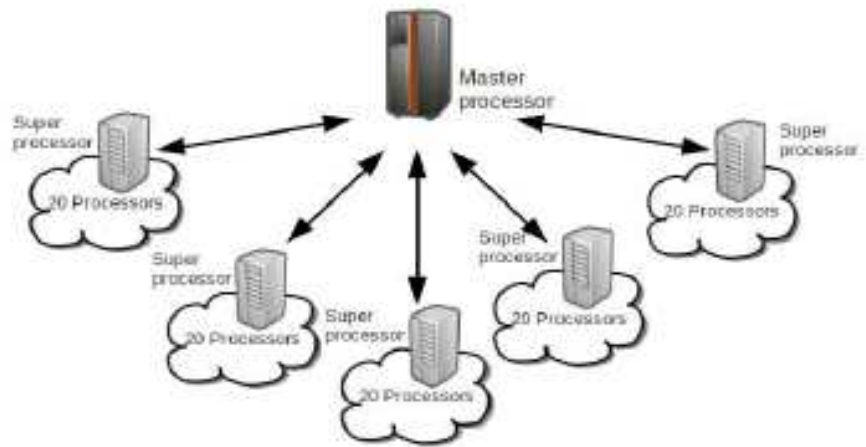
- 에지 컴퓨팅이란 분산되어 있는 소형 서버가 데이터를 실시간 처리하는 기술임
  - 네트워크 가장자리(Edge)에서 먼저 데이터를 처리하는 기술
- 중앙 서버가 모든 데이터를 처리하는 클라우드 컴퓨팅(cloud computing)과 대비하여 소형 서버가 실시간으로 처리하도록 기능설계
  - 2x3 네트워크가 광역 네트워크로 확장되면 실시간으로 처리해야 할 데이터가 폭증하고 데이터가 증가하면서 이것을 모두 관장하는 중앙서버에 부담이 되어 데이터 처리 속도 또한 오래 걸림
  - CoVASS는 교통데이터를 실시간으로 처리해야 하는 시스템이므로, 중앙서버에서만 처리하여 데이터 처리 속도가 떨어지는 것은 시스템에 치명적인 단점이 됨
- 따라서 해결방안으로 LAC 장비에서 실시간으로 분석하고 처리할 수 있는 데이터는 중앙 서버가 아닌 LAC에서 즉시 처리하게 시스템 구조로 변경
  - 중앙 서버에 부담을 줄여주고 데이터 처리속도 향상



[그림 85] 에지 컴퓨팅 다이어그램

### (2) 분산 컴퓨팅 (Distributed Computing)으로 구조변경

- 여러 대의 컴퓨터를 연결하여 상호 협력하게 함으로써 컴퓨팅의 성능과 효율을 높임
- 분산컴퓨팅은 여러 개의 컴퓨팅 자원을 하나의 시스템 안에 결합하여 연결한 병렬컴퓨팅까지 포함
- 분산컴퓨팅의 기본적인 목적은 성능확대(scalability)와 고가용성(High Availability) 지양
- 장애극복을 위한 2중화와 Failover 기능 및 로드 밸런싱



[그림 86] 분산 컴퓨팅 구조

## 제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

### 제1절 목표 달성도

#### 【 V2X 통신 인프라를 활용한 네트워크 신호운영 알고리즘 개발 】

| 핵심연구성과<br>(level1) |                                                          | 단위 성과<br>(level2) |                            | 질적성과지표                  | 목표치                                                 | 측정방법        | 달성여부 | 해당<br>기관                  | 정량목표                                                              |
|--------------------|----------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| A                  | 실시간 교통상황을<br>반영한 연동교차로<br>교통신호 제어<br>알고리즘                | A-1               | 연동교차로 C<br>판단 알고리즘         | 알고리즘개발 및<br>효과평가        | 연동교차로<br>평균지체<br>15% 감소                             | 교통시물<br>레이션 |      | 아주대                       | 계획<br>논문 : <u>1 건</u><br><br>성과<br>논문 : <u>1 건</u>                |
|                    |                                                          | A-2               | 연동교차로최적<br>화교통신호제어<br>알고리즘 | 알고리즘개발 및<br>효과평가        | 연동교차로<br>평균지체<br>15% 감소                             | 교통시물<br>레이션 |      | 아주대                       | 계획<br>논문 : <u>1 건</u><br><br>성과<br>특허 : 출원 1 건<br>논문 : <u>2 건</u> |
| B                  | V2X 기반 네트워크<br>교통신호 제어<br>알고리즘                           | B-1               | 네트워크<br>교통신호 제어<br>알고리즘    | 알고리즘 성능 평가<br>지표 선정     | 지표제시                                                | 지표제시        |      | 한국과학<br>기술원               | 계획<br>논문 : <u>2 건</u><br><br>성과<br>논문 : <u>2 건</u>                |
|                    |                                                          |                   |                            | 완충구간 개념정립<br>및 생성 전략 수립 | 완충구간<br>개념정립                                        | 전문가<br>검증   |      |                           |                                                                   |
|                    |                                                          |                   |                            | 교통신호 최적화<br>알고리즘 개발     | 네트워크<br>평균지체<br>15% 감소                              | 교통시물<br>레이션 |      |                           |                                                                   |
| C                  | 교통/통신 통합<br>시뮬레이션을 이용한<br>네트워크 신호제어<br>알고리즘 성능 평가<br>결과서 | C-1               | 통합<br>미시교통시물레<br>이션 평가 모형  | 알고리즘성능평가                | -                                                   | 효과평가<br>보고서 |      | University<br>of Virginia | 계획<br>논문 : <u>2 건</u><br><br>성과<br>논문 : <u>2 건</u>                |
|                    |                                                          |                   |                            | 알고리즘개선                  | 차량통행시<br>간 15%<br>감소 및<br>네트워크차<br>량 상충횟수<br>15% 감소 | -           |      |                           |                                                                   |
| 계                  |                                                          |                   |                            |                         |                                                     |             |      |                           | 계획<br>논문 : <u>6 건</u><br><br>성과<br>특허 : 출원 1 건<br>논문 : <u>7 건</u> |

【 교차로 네트워크 신호시스템 검증기준 및 시험평가 기술 개발 】

| 핵심연구성과<br>(level1) |                                                                               | 단위 성과<br>(level2) |                                                 | 질적성과지표                                     | 목표치                                                       | 측정방법                                      | 달성여부 | 해당<br>기관         | 정량목표                                                                                                         |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A                  | 개별차량 소통정보<br>수집용 비매설 검지기<br>상세설계서                                             | A-1               | 요구사항 도출                                         | 요구사항 분석서                                   | 1건                                                        | 보고서                                       |      | 건기연<br>메타<br>빌드주 | 계획<br>논문: <u>1 건</u><br>성과<br>논문: <u>0 건</u>                                                                 |
|                    |                                                                               | A-2               | 비매설 검지기<br>상세 설계                                | HW 상세 설계서<br>SW 상세 설계서                     | 2건                                                        | 보고서                                       |      | 건기연<br>메타<br>빌드주 | 계획<br>특허: 출원 1 건<br>논문: <u>1 건</u><br>성과<br>특허: 출원 1 건<br>논문: <u>1 건</u>                                     |
| B                  | V2X+비매설<br>통합검지시스템<br>상세설계서                                                   | B-1               | 요구사항 도출                                         | 요구사항 분석서                                   | 1건                                                        | 보고서                                       |      | 건기연<br>메타<br>빌드주 | 계획<br>논문: <u>1 건</u><br>성과<br>논문: <u>1 건</u>                                                                 |
|                    |                                                                               | B-2               | 통합검지 시스템<br>상세 설계                               | 통합검지 시스템<br>상세 설계서                         | 1건                                                        | 보고서                                       |      | 건기연<br>메타<br>빌드주 | 계획<br>특허: 출원 1 건<br>논문: <u>1 건</u><br>성과<br>특허: 출원 1 건<br>논문: <u>0 건</u>                                     |
| C                  | 기존 검지기<br>평가계획서                                                               | C-1               | 기존 검지기<br>평가 계획 수립                              | 기존 검지기<br>평가계획서                            | 1건                                                        | 보고서                                       |      | 건기연              | 계획<br>논문: <u>1 건</u><br>성과<br>논문: <u>1 건</u>                                                                 |
| D                  | V2X-i 통신 기반 신호<br>교차로용 WAVE MAC<br>통신혼잡 제어<br>알고리즘을 적용한<br>신호제어기 통신 사양<br>보고서 | D-1               | V2X-i 통신 사양<br>도출 및 통신<br>사양 보고서                | V2X-i 통신 사양 및<br>신호제어기용 통신<br>사양서          | 신호제어기<br>정보 송수신<br>성공률 90%<br>이상                          | C++ 기반<br>Ns-2<br>시뮬레이<br>터               |      | 한양대              | 계획<br>기타: <u>2 건</u><br>성과<br>기타: <u>2 건</u>                                                                 |
| E                  | WAVE MAC 혼잡제어<br>알고리즘 Emulation<br>SW 및 Data Set                              | E-1               | WAVE PVD<br>Emulation SW<br>제작 및 Data Set<br>도출 | 신호제어기 정보<br>WAVE PVD<br>Emulator 제작        | Data Set<br>도출                                            | C++환경<br>기반<br>Emulation<br>SW            |      | 한양대              | 계획<br>SW: <u>1 건</u><br>성과<br>SW: <u>1 건</u>                                                                 |
|                    |                                                                               |                   |                                                 | 신호제어기 정보<br>WAVE PVD<br>Emulator 검증<br>보고서 | PVD<br>Message set                                        | 시뮬레이<br>션 결과<br>보고서                       |      | 한양대              | 계획<br>기타: <u>1 건</u><br>성과<br>기타: <u>1 건</u>                                                                 |
|                    |                                                                               | E-2               | V2X-i Mac layer<br>통신혼잡 제어<br>알고리즘              | MAC layer 네트워크<br>통신혼잡도 개선                 | 교차로<br>V2X-i 차량<br>바울 대비<br>Mac layer<br>통신혼잡도<br>개선률 20% | V2X-i Mac<br>layer 혼잡<br>제어<br>알고리즘<br>SW |      | 한양대              | 계획<br>특허: 출원 1 건<br>논문: <u>2 건</u><br>SW: <u>1 건</u><br>성과<br>특허: 출원 1 건<br>논문: <u>5 건</u><br>SW: <u>1 건</u> |
| F                  | 교차로 네트워크<br>신호시스템 검증기준<br>및 시험표준(안)                                           | F-1               | 시스템 시험표준                                        | 시험표준 요구분석<br>및 시험표준 모델                     | 1건                                                        | 보고서                                       |      | KOTI             | 계획<br>논문: <u>1 건</u><br>기타: <u>1 건</u><br>성과<br>논문: <u>2 건</u><br>기타: <u>1 건</u>                             |

|   |                                                     |     |                                            |                                                  |    |     |  |                |                                                                                                                                                                      |
|---|-----------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|----|-----|--|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G | 네트워크<br>신호제어시스템 개발<br>및 HILS 기반<br>성능평가 환경 구축       | G-1 | HILS 기반<br>네트워크<br>신호제어시스템<br>성능평가<br>환경구축 | HILS 평가용<br>네트워크<br>신호제어시스템<br>제작                | 1식 | 시작품 |  | (주)트리콤         | 계획<br>SW: <u>1 건</u><br>기타: <u>1 건</u><br>(시작품)<br><br>성과<br>SW: <u>1 건</u><br>기타: <u>1 건</u><br>(시작품)                                                               |
| H | HILS 기반 교차로<br>네트워크 신호시스템<br>시험평가 및 혼잡<br>개선 효과 결과서 | H-1 | 시험평가 및<br>효과분석                             | HILS 기반<br>네트워크<br>신호제어시스템<br>시험평가 및 시스템<br>효과분석 | 1건 | 보고서 |  | KOTI<br>(주)트리콤 | 계획<br>논문: <u>1 건</u><br>기타: <u>1 건</u><br><br>성과<br>논문: <u>2 건</u><br>기타: <u>1 건</u>                                                                                 |
| I | 기본 네트워크 간<br>신호제어 연계방안                              | I-i | 광역 네트워크<br>신호제어 연계<br>방안                   | 광역 네트워크<br>신호제어 연계<br>방안 제시                      | 1건 | 보고서 |  | KOTI           | 계획<br>논문: <u>1 건</u><br>기타: <u>1 건</u><br><br>성과<br>논문: <u>1 건</u><br>기타: <u>1 건</u>                                                                                 |
| J | V2X-i 기반 검지<br>데이터 프레임(SW)<br>설계                    | J-i | V2X-i 기반 검지<br>데이터<br>프레임(SW) 설계           | 4세대 신호제어에<br>활용가능 수준의<br>검지데이터 V2X<br>매칭 설계      | 1건 | 보고서 |  | 메타빌드<br>(주)    | 계획<br>기타: <u>1 건</u><br><br>성과<br>기타: <u>1 건</u>                                                                                                                     |
|   |                                                     |     |                                            | 4지 교차로<br>수집데이터 저장 및<br>제공기술 설계                  | 1건 | 보고서 |  | 메타빌드<br>(주)    |                                                                                                                                                                      |
| 계 |                                                     |     |                                            |                                                  |    |     |  |                | 계획<br>특허: <u>출원 3 건</u><br>논문: <u>11 건</u><br>SW: <u>3 건</u><br>기타: <u>8 건</u><br><br>성과<br>특허: <u>출원 3 건</u><br>논문: <u>13 건</u><br>SW: <u>3 건</u><br>기타: <u>8 건</u> |

## 제2절 관련 분야 기여도

- 기존 연구들의 경우 혼잡도가 낮은 교통네트워크의 신호최적화 연구에만 국한되었지만, 본 연구에서 개발한 새로운 신호 최적화 알고리즘은 높은 혼잡도에서 대기행렬을 분산적으로 제어할 수 있어 그 효과가 상당히 클 것으로 기대됨
- 기존의 방법 대비 제안된 신호 최적화 방법론은 단순 명료한 파라미터를 설정하여 신호시간을 계산하는데 소요되는 시간을 줄임으로써, 광범위한 네트워크에서도 쉽게 적용 가능함
- 향후에 V2X 기반의 정밀한 데이터와 인공지능(AI) 기반 정확한 교통수요 예측기술과 함께 융합연구가 수행된다면, ITS 분야에서의 상당한 기술적 파급효과가 기대됨
- 본 연구에서 개발한 새로운 WAVE MAC 통신 혼잡제어 알고리즘을 통해 통신 시도 차량을 분산하여 메시지를 원활히 공급할 수 있으며, 이를 통해 신뢰성 있는 신호제어 및 안전 서비스를 제공할 수 있을 것이라 기대됨
- 본 연구에서 사용된 SAE J2735 PVD뿐만 아니라, TIM, RSA 등 다른 메시지 셋에도 적용 가능할 것이라 판단됨
- V2X 기반 신호교차로 적용 비매설 검지기의 성능평가 방법론을 제시함에 따라 개발 기술의 신뢰성 있고 객관적인 성능검증이 가능함
- 4세대 신호제어시스템은 LAC의 클러스터링 기능을 활용하여 서버의 기능을 분산처리함으로써 고가의 서버환경 구축 비용 절감 가능함
- HILS 평가시스템은 본 과업에서 개발한 CoVASS 신호제어 시스템이 현장에 설치 및 시험 운영되기 바로 전 단계 수준의 평가방법으로, 현장과 동일한 환경을 구성하여 평가를 수행함으로써 관련기술 개발이 용이함
- 또한, HILS 평가시스템은 VISSIM의 강력한 Graphic GUI와 교통분석툴을 도입함으로써 교통분석시스템과 Runtime 시스템이 결합된 새로운 모델을 제시함
- 결과적으로 V2X 통신 인프라를 활용한 네트워크 신호운영 알고리즘 및 시스템(CoVASS)은 현재 국가적으로 추진중인 자율주행시스템 개발 중에서 도심형 자율주행 서비스에 직접적으로 적용이 가능한 기술 기반을 확보함

## 제5장 연구개발성과의 활용 계획

- 과제 기획단계에서의 계획 상으로는 본 과제 1단계에서 V2X 통신 인프라 및 신호운영 알고리즘, HILS 기반 신호제어시스템을 구축하고 2단계에서 시스템 보완 및 현장 적용을 수행하기로 하였으나 2단계 연구가 진행되지 않음
- 따라서 현장적용이 가능한 V2X 통신인프라 기반 신호제어시스템의 기반 기술은 확보하였으나 실제 도로환경에서 적용 및 분석을 수행하지 못한 한계가 있음
- 당초 본 과제의 기획단계에서 제시된 3세대 신호제어시스템 개발(경찰청 주도) 및 4세대 신호제어시스템 개발(국토교통부 주도)에 관한 원 계획대로 2단계 시스템 개발 및 현장 적용을 위한 과제가 연속적으로 진행 되는 것에 직접 활용 되어야 함
- 최근 진행 중이거나 진행 예정인 도심형 자율주행시스템 개발 및 서비스 적용을 위해 본 과제에서 개발된 네트워크 신호제어알고리즘이 연계 활용 될 수 있을 것으로 판단됨

## 제6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

---

- 해당 없음

---

## 제7장 연구개발성과의 보안등급

| 보안등급 분류 | 보안                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 일반 |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ○  |
| 결정 사유   | ○ 본 과제는 일반과제로 분류함                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|         | <div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center;"><b>- 국토교통기술 연구개발사업 보안관리규칙 -</b></p> <p style="text-align: center;"><b>제3장 보안등급 분류</b></p> <p><b>제7조(등급분류 기준)</b> ① 공동관리규정 제6조제2항제6호에 따른 연구개발과제 보안등급은 다음 각 호와 같이 분류한다.</p> <p>1. 보안과제 : 연구개발결과물 등이 외부로 유출될 경우 기술적·재산적 가치에 상당한 손실이 예상되어 보안조치가 필요한 경우로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 과제</p> <p>가. 세계 초일류 기술제품의 개발과 관련되는 연구개발과제</p> <p>나. 외국의 기술이전을 거부하여 국산화가 추진 중인 기술 또는 미래핵심기술로서 보호의 필요성이 인정되는 연구개발과제</p> <p>다. 「산업기술의 유출방지 및 보호에 관한법률」 제2조제2호의 국가핵심기술과 관련된 연구개발과제</p> <p>라. 「대외무역법」 제19조제1항 및 같은 법 시행령 제32조의2에 따른 수출허가 등의 제한이 필요한 기술과 관련된 연구개발과제</p> <p>마. 그 밖에 장관이 보안과제로 분류되어야 할 사유가 있다고 인정하는 과제</p> <p>2. 일반과제 : 보안과제로 지정되지 아니한 과제</p> </div> |    |

## 제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

| 구입<br>기관 | 연구시설/<br>연구장비명 | 규격<br>(모델명) | 수량 | 구입 연월일 | 구입 가격<br>(천원) | 구입처<br>(전화번호) | 비고<br>(설치 장소) | NTIS장비<br>등록 번호 |
|----------|----------------|-------------|----|--------|---------------|---------------|---------------|-----------------|
|          |                |             |    |        |               |               |               |                 |

## 제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

- 【연구실 안전환경 조성에 관한 법률 시행규칙 별표 1】에 의거, 다음과 같은 각 연구기관별 안전교육 실시

| 교육과정       | 교육대상         | 교육시간             | 교육내용                                                                                                                                                                  |
|------------|--------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 정기 교육 · 훈련 | 연구원          | 6시간/반기 이상        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 관련 법규</li> <li>• 연구실 내 위험 · 위해요인</li> <li>• 물질안전보건자료(MSDS)</li> <li>• 연구개발 수행활동 시 주의 사항</li> <li>• 기타 안전관리에 관한 사항</li> </ul> |
| 신규 채용시     | 신규 채용<br>연구원 | 8시간 이상<br>(입사 시) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 정기교육 · 훈련 교육 내용</li> <li>• 당사 연구실 안전관리규정</li> <li>• 보호장비 및 안전장치 취급과 사용 방법</li> <li>• 당사 연구실 내 안전표지에 관한 사항</li> </ul>         |
| 특별 교육 · 훈련 | 필요시          | 2시간 이상           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 연구개발 수행활동 시 주의 사항</li> <li>• 연구개발 시 사용되는 물질의 물질안전보건자료(MSDS)에 관한 사항</li> <li>• 기타 연구개발 안전관리에 관한 사항</li> </ul>                 |

○ 현장 조사 시

- 현장조사 참여연구원에 대한 특별 교육 · 훈련 실시
- 개인 보호구 지급 예정
- 차량 이동 시 주기적 휴식시간 확보

○ 장치 또는 시스템 개발 시

- 외주가공품 검수 시 안전모 등 안전장비 착용, 검수항목 철저 검수
- 주기적 기자재 안전점검 실시

## 제10장 연구개발과제의 대표적 연구 실적

### - 국내외 논문 게재 및 발표

| 번호 | 논문명                                                                                                                             | 소속<br>기관명 | 논문 게재지명/<br>논문발표회의명                                               | 논문 게재일<br>/논문 발표일 | 사사 여부<br>(단독 사사<br>또는<br>중복 사사) | 특기 사항<br>(SCI<br>여부/인용<br>횟수 등) |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1  | V2X 통신환경에서의<br>독립교차로 신호 최적제어<br>알고리즘 개발 연구                                                                                      | 아주대학교     | 한국ITS학회논문지                                                        | 2016.12.01.       | 단독사사                            | 비SCI                            |
| 2  | V2I 통신환경을 활용한<br>연동교차로 교통신호<br>실시간 제어 연구                                                                                        | 아주대학교     | 한국ITS학회논문지                                                        | 2018.06.28        | 단독사사                            | 비SCI                            |
| 3  | 딥러닝 기반의 대기길이를<br>적용한 감응식 신호 운영<br>연구                                                                                            | 아주대학교     | 한국ITS학회 논문지                                                       | 2018.08.31        | 단독사사                            | 비SCI                            |
| 4  | Case Study of Queue<br>Growth Equalization for<br>Urban Traffic Signal<br>Optimization                                          | 한국과학기술원   | 2016 ITS world<br>Congress                                        | 2016.10.11        | 단독사사                            | 비SCI                            |
| 5  | Enhanced Queue Growth<br>Equalization(eQGE) for<br>Urban Traffic Signal<br>Optimization                                         | 한국과학기술원   | 2017 ITS world<br>Congress                                        | 2017.10.31        | 단독사사                            | 비SCI                            |
| 6  | Eco approaching at an<br>isolated signalized<br>intersection under partially<br>connected and automated<br>vehicles environment | 버지니아대학교   | Transportation<br>Research Part C:<br>Emerging<br>Technologies 79 | 2017.04.02        | 중복 사사                           | SCIE                            |
| 7  | Field evaluation of vehicle<br>to infrastructure<br>communication based<br>eco-driving guidance and<br>eco-signal system        | 버지니아대학교   | Transportation<br>Research Record                                 | 2018.03.06        | 중복 사사                           | SCI                             |
| 8  | Event-driven 방식을<br>기반으로 하는 Simulator를<br>통한 BSM Packet Collision<br>연구                                                         | 한양대학교     | 한국통신학회                                                            | 2016.01.20        | 단독사사                            | 비SCI                            |
| 9  | 교차로 내 IEEE 1609.4 -<br>Multi-Channel Access 기반<br>안전 메시지 수신 유효 증대<br>알고리즘 연구                                                    | 한양대학교     | 한국통신학회                                                            | 2018.01.18        | 단독사사                            | 비SCI                            |

|    |                                                                                                                            |           |                                                                         |            |      |      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------|------------|------|------|
| 10 | Design and Development of a WAVE Simulator Interoperable with Traffic Simulators                                           | 한양대학교     | ICUFN 2018                                                              | 2018.07.04 | 단독사사 | 비SCI |
| 11 | V2X-i for CoVASS                                                                                                           | 한양대학교     | 2016 ITS world Congress                                                 | 2016.10.11 | 단독사사 | 비SCI |
| 12 | V2X-i for CoVASS                                                                                                           | 한양대학교     | 2017 ITS world Congress                                                 | 2017.10.31 | 단독사사 | 비SCI |
| 13 | Outlier filtering algorithm for travel time estimation using dedicated short-range communications probes on rural highways | 한국건설기술연구원 | IET Intelligent Transport Systems, Vol. 10, Iss. 6                      | 2016       | 단독사사 | SCIE |
| 14 | Travel Time Estimation Using Probe Data on Signalized Arterial                                                             | 한국건설기술연구원 | Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 12 | 2017       | 단독사사 | 비SCI |
| 15 | Detection System for CoVASS                                                                                                | 메타빌드      | 2016 ITS world Congress                                                 | 2016.10.11 | 단독사사 | 비SCI |
| 16 | Core Technologies for Connected Vehicle Adaptive Signal Control System (CoVASS)                                            | 한국교통연구원   | Automated Vehicle Symposium 2016                                        | 2016.07.19 | 단독사사 | 비SCI |
| 17 | Connected Vehicle Adaptive Signal Control System (CoVASS)                                                                  | 한국교통연구원   | 2016 ITS world Congress                                                 | 2016.10.11 | 단독사사 | 비SCI |
| 18 | CoVASS Application in Urban Intersections                                                                                  | 한국교통연구원   | Automated Vehicle Symposium 2017                                        | 2017.07.12 | 단독사사 | 비SCI |
| 19 | Smart ITS and Digital Infrastructure towards Industry 4.0                                                                  | 한국교통연구원   | 2017 ITS world Congress                                                 | 2017.10.31 | 단독사사 | 비SCI |
| 20 | Connected Automated Driving and CoVASS                                                                                     | 한국교통연구원   | US-Korea Conference 2018                                                | 2018.08.02 | 단독사사 | 비SCI |

- 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

| 번호 | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)        | 국 명  | 출원                     |            |                     | 등 록            |                |                   |
|----|---------------------------------|------|------------------------|------------|---------------------|----------------|----------------|-------------------|
|    |                                 |      | 출원인                    | 출원일        | 출원번호                | 등록인            | 등록일            | 등록번호              |
| 1  | 교통 시뮬레이터와 연동 가능한<br>WAVE 시뮬레이터  | 대한민국 | 한양<br>대학교<br>산학<br>협력단 | 2018.05.25 | 10-2018-00<br>59466 | -              | -              | -                 |
| 2  | 교차로 신호의 제어 방법 및 장치              | 대한민국 | 아주<br>대학교<br>산학<br>협력단 | 2016.11.07 | 10-2016-01<br>47671 | 아주대학교<br>산학협력단 | 2018.08.1<br>3 | 10188987100<br>00 |
| 3  | 차량 궤적 정보를 이용한 차로<br>구분 시스템 및 방법 | 대한민국 | 메타<br>빌드               | 2016.10.21 | 10-2016-01<br>37708 | -              | -              | -                 |
| 4  | 실시간 차량속도에 따른 유동적<br>차로 활용 방법    | 대한민국 | 메타<br>빌드               | 2016.10.25 | 10-2016-01<br>38944 | -              | -              | -                 |

- 저작권(소프트웨어, 서적 등)

| 번호 | 저작권명                                                 | 창작일        | 저작자명                | 등록일        | 등록번호          | 저작권자명          | 기여율 |
|----|------------------------------------------------------|------------|---------------------|------------|---------------|----------------|-----|
| 1  | 네트워크 신호제어기<br>외부 인터페이스<br>소프트웨어                      | 2016.09.26 | 주식회사<br>세인          | 2016.10.05 | C-2016-023588 | 주식회사 세인        | -   |
| 2  | IEEE 1609.4 기반<br>교차로 내 안전 서비스<br>메시지 수신율 향상<br>알고리즘 | 2017.10.27 | 이상선,<br>이원화,<br>권태훈 | 2018.02.07 | C-2018-003726 | 한양대학교<br>산학협력단 | -   |
| 3  | 교차로 내 차량용 통신<br>단말기를 장착한 차량<br>선별 알고리즘               | 2017.10.27 | 이상선,<br>이원화,<br>권태훈 | 2018.02.07 | C-2018-003727 | 한양대학교<br>산학협력단 | -   |

## 제11장 기타 사항

### 전문 연구 인력 양성

#### <아주대학교>

| 기준<br>연도 | 현황  |    |    |    |   |     |    |
|----------|-----|----|----|----|---|-----|----|
|          | 학위별 |    |    | 성별 |   | 지역별 |    |
|          | 박사  | 석사 | 학사 | 남  | 여 | 수도권 | 기타 |
| 2016     | 3   | 6  | 3  | 11 | 1 | 9   | 3  |
| 2017     | 5   | 6  | 4  | 13 | 2 | 13  | 2  |
| 2018     | 4   | 4  | 6  | 11 | 3 | 12  | 2  |
| 합계       | 12  | 16 | 13 | 35 | 6 | 34  | 7  |

#### <한국과학기술원>

| 기준<br>연도 | 현황  |    |    |    |   |     |    |
|----------|-----|----|----|----|---|-----|----|
|          | 학위별 |    |    | 성별 |   | 지역별 |    |
|          | 박사  | 석사 | 학사 | 남  | 여 | 수도권 | 기타 |
| 2016     | -   | 2  | -  | 2  | - | -   | 2  |
| 2017     | -   | -  | -  | -  | - | -   | -  |
| 2018     | 1   | 2  | -  | 1  | 2 | -   | 3  |
| 합계       | 1   | 4  | -  | 3  | 2 | -   | 5  |

#### <버지니아대학교>

| 기준<br>연도 | 현황  |    |    |    |   |     |       |
|----------|-----|----|----|----|---|-----|-------|
|          | 학위별 |    |    | 성별 |   | 지역별 |       |
|          | 박사  | 석사 | 학사 | 남  | 여 | 수도권 | 기타    |
| 2016     | 2   | 1  | 0  | 1  | 2 | 0   | 3(해외) |
| 2017     | 2   | 1  | 0  | 1  | 2 | 0   | 3(해외) |
| 2018     | 1   | 2  | 0  | 2  | 1 | 0   | 3(해외) |
| 합계       |     |    |    |    |   |     |       |

#### <한양대학교>

| 기준<br>연도 | 현황  |    |    |    |   |     |    |
|----------|-----|----|----|----|---|-----|----|
|          | 학위별 |    |    | 성별 |   | 지역별 |    |
|          | 박사  | 석사 | 학사 | 남  | 여 | 수도권 | 기타 |
| 2016     |     |    |    |    |   |     |    |
| 2017     |     | 3  |    | 3  |   | 3   |    |
| 2018     |     | 6  |    | 6  |   | 6   |    |
| 합계       |     | 9  |    | 9  |   | 9   |    |

## 제12장 참고 문헌

- [1] IEEE, "Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specifications amendment 6: Wireless access in vehicular environments," IEEE Standard 802.11p-2010, July 2010.
- [2] IEEE, "IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments(WAVE)–Networking Services," IEEE Standard 1609.3-2016, Jan. 2016.
- [3] IEEE, "IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments(WAVE)–Multi-Channel Operation," IEEE Standard 1609.4-2016, Jan. 2016.
- [4] Q. Chen, et al., "Overhaul of IEEE 802.11 modeling and simulation in NS-2," Proceedings of the 10th ACM Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems, Chania, Greece, Oct. 2007, pp. 159 - 168.
- [5] I. Alocci, S. Murphy, A. Nafaa, and J. Murphy, "Development of an IEEE 802.11s simulation model for QualNet," Proceedings of Networking and Electronic Commerce Research Conference, Riva del Garda, Italy, Sep. 2008.
- [6] "SAE INTERNATIONAL" <http://standards.sae.org/>
- [7] US DOT, "Vehicle Safety Communications - Applications (VSC-A) Final Report", Sep. 2011.
- [8] Bottou L.(1998), Online Algorithms and Stochastic Approximations, Online Learning and Neural Networks, Cambridge University Press.
- [9] Doh(2017), Transportation Engineering, ChungMoonGak.
- [10] Duchi et al.(2011), "Adaptive subgradient methods for online learning and stochastic optimization," The Journal of Machine Learning Research, vol. 12, pp.2121-2159.
- [11] Jeong et al.(2005), "Development of The Signal Control Algorithm Using Travel Time Informations of Sectional Detection Systems," The Journal of Korean Society of Transportation, vol. 23, no. 8, pp.181-191.
- [12] Kingma D. P. and Ba J. L.(2014), ADAM: A Method for Stochastic Optimization, arXiv:1412.6980.
- [13] Lee et al.(2018), "Development of Vehicle Queue Length Estimation Model Using Deep Learning," The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systems, vol. 17, no. 2, pp.39-57.
- [14] McCulloch W. S. and Pitts W.(1943), "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity," Bulletin of mathematical biophysics, 5, pp.115-133.
- [15] Minsky M. and Papert S.(1969), Perceptrons : An Introduction to Computational Geometry, The MIT Press.
- [16] Roger P.(2010), Traffic Engineering, PEARSON.
- [17] Rosenblatt F.(1958), "The perceptron : A probabilistic model for information storage and organization in the brain," Psychological Review, vol. 65, no. 6, pp.386-408.
- [18] Russell S. J. and Norvig P.(2003), Artificial Intelligence : A Modern Approach, 2nd ed., Prentice Hall.
- [19] Tieleman T. et al.(2012), Lecture 6.5-RMSProp, COURSERA : Neural Networks for Machine Learning, Technical report.
- [20] Jong, D. de. (2012). The Effect of Network Structure and Signal Settings on the Macroscopic Fundamental Diagram. Delft University of Technology.
- [21] Ren, Y., Wang, Y., Yu, G., Liu, H., & Xiao, L. (2016). An Adaptive Signal Control Scheme to Prevent Intersection Traffic Blockage. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, pp. 1 - 10. <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2609917>
- [22] Jang, K., Kim, H., & Jang, I. G. (2015). Traffic Signal Optimization for Oversaturated Urban Networks: Queue Growth Equalization. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 16(4), 2121 - 2128. <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2398896>
- [23] Miloslavov et al. (2010) "Details of the integrated VISSIM-NCTUns vehicular-wireless simulation platform," University of Virginia, Technical report

- [24] OMNET SUMO PDF," Retrieved Sept. 28th from [omnetplusplus.com/omnet-sumo-pdf](http://omnetplusplus.com/omnet-sumo-pdf), [veins.car2x.org](http://veins.car2x.org)
- [25] J. Lee and B. Park (2012), "Development and Evaluation of a Cooperative Vehicle Intersection Control Algorithm Under the Connected Vehicles Environment," in *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 81-90
- [26] Y. Zhang, A. A. Malikopoulos, and C. G. Cassandras (2016), "Optimal Control and Coordination of Connected and Automated Vehicles at Urban Traffic Intersections," in *Proceedings of the American Control Conference*, pp. 6227 - 6232.
- [27] Dan Middleton, Eun Sug Park, Ryan Longmire, and Hassan Charara, "IMPROVEMENTS TO VIDEO IMAGING DETECTION FOR DILEMMA ZONE PROTECTION", Texas Transportation Institute, 2009
- [28] Pengfei Li, Montasir Abbas & Raghu Pasupathy (2015) A Stochastic Dilemma Zone Protection Algorithm Based on the Vehicles' Trajectories, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 19:2, 181-191.
- [29] Juan C. Medina, Hani Ramezani, and Rahim (Ray) F. Benekohal, "Evaluation of Microwave Radar Vehicle Detectors at a Signalized Intersection Under Adverse Weather Conditions", *Transportation Research Record*, 2013.
- [30] Anuj Sharma, Matthew Harding, Brad Giles, Darcy M. Bullock, and James R. Sturdevant, "Performance Requirements and Evaluation Procedures for Advance Wide Area Detectors", University of Nebraska - Lincoln, 2008

## 주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 교통물류연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

