제 출 문

국토교통부 장관 (국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 " 자동차와 트램 교통신호 통합운영기술 개발에 관한 연구 "과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016 . 1. 18.

주관연구기관명 : 서울시립대학교 산학협력단
주관연구책임자 : 김 영 찬
연 구 원 : 김 도 경
" : 이 인 규
" : 한 여 희
" : 이 민 형
" : 김 준 원
" : 오 윤 근
" : 정 다 운
" : 정 희 정
" : 조 은 희

공동연구기관명 : ㈜세인
공동연구책임자 : 김 용 길

요 약

1. 연구배경 및 목적

○ 최근에 도시부 녹색교통체계 구축의 일환으로 기존의 도시철도, 버스와는 다른 친환경 신교통수단의 도입에 대한 요구가 증가하고 있고, 국내 교통의 환경문제에 대한 패러다임도 변화하여 지속가능한 교통수단의 일환으로 무가선 트램 시스템 도입이 검토되고 있음

○ 트램은 현재 유럽과 북미의 선진국에서는 도심교통의 주요 수단으로 사용되고 있고, 다양한 신호운영기법을 통해 신호운영의 효율성과 안전성을 향상시키고 있음

○ 대중교통으로 수단전환을 위해 지속적인 투자가 이루어지고 있으나, 자가용의 이용률은 지속적으로 증가하는 반면, 대중교통의 이용률은 답보 상태에 있음

○ 철도기반의 도시부 대중교통수단인 트램을 도입하고자 무가선 트램, 바이모달 트램 등의 H/W에 관련된 다양한 연구가 진행되는 반면, 트램을 기존 도로에 운영할 경우, 관련 교통법규, 도로구성기준, 신호운영기술 등 기존 도시교통환경에 적용, 운영하기 위한 S/W적 측면의 연구는 상대적으로 미비함

○ 도시부의 간선도로에 트램 시스템이 도입될 경우, 전체 도시부 신호제어 및 교통류 흐름을 저해하지 않으면서 운영 효율을 증대시킬 수 있도록 도시부 도로교통의 관점에서 제어기술 및 원활한 운영을 지원할 수 있는 신호운영기술 개발이 반드시 필요함

○ 본 연구에서는 이러한 국내 미래교통의 지향점 변화에 따라서 도시부 교통수단으로 트램, 자동차, 보행자 등 복수 개의 교통수단이 혼재할 경우에 대비하여 도시부 복합도로의 신호운영기술과 제반운영기술을 개발함으로서 궁극적으로 도시부 간선도로의 대중교통 이용률 증진, 국민의 이동성 확보 및 온실가스를 감축하는 것을 목적으로 함

○ 본 연구의 목표는 트램과 자동차의 통합 신호운영 및 제어기술 연구를 통해 트램 시스템에 적용을 위한 통합 신호제어기 시작품을 개발하고, HILS 시스템을 개발하여 실용성을 평가함

2. 연구개발의 전체 주요내용

가. 다수단 복합도로의 통합신호제어 시스템 및 운영전략 개발

○ 다수단 복합도로의 통합신호운영전략을 개발하고, 통합신호운영 알고리즘의 구현 및 평가를 수행

나. 다수단 복합도로의 통합신호운영을 위한 현장장비 개발

○ 다수단 통합신호제어기 개발 수행

○ 개발된 통합신호제어기를 평가하기 위해 평가방법론 및 통합신호제어 실시간 통합 신호제어 시뮬레이터(HILS)를 개발

다. 통합 신호제어 시스템의 평가

○ 시스템 평가를 통한 통합 신호제어기 성능 고도화 및 안정화

○ 실시간 통합신호제어 시뮬레이터를 통한 시나리오 별 평가 수행

○ 알고리즘 및 시스템 평가를 통한 알고리즘 최적화 및 시스템 고도화

3. 연구개발 성과

○ 연구개발 결과는 총 6개의 단위 성과목표로 구성

○ 단위 성과목표 및 연구결과의 요약은 <표 1>과 같음

<표 1> 연구개발 결과 요약

단위 성과목표		연구결과
1-1	다수단 통합신호제어 방향 설정	- 국내외 통합신호제어 사례 및 동향분석 - 통합신호제어 요구기능 정립 - 통합 신호운영전략 알고리즘 개발
1-2	다수단 복합도로 통합 신호운영 알고리즘 개발	- 3단계 계층적 신호제어 전략 개발 - 각 단계별 신호제어 알고리즘 개발 - 시뮬레이션을 통한 신호운영 알고리즘의 평가 수행
1-3	다수단 복합도로의 통합 신호운영 알고리즘의 구현 및 평가	- 개발된 통한신호제어 알고리즘의 HILS 적용을 위한 S/W 개발 - HILS 적용을 위한 VISSIM 모형의 COM Interface 적용을 위한 S/W 개발 - HILS 기반의 신호제어전략 평가 수행
2-1	대중교통 신호제어 평가방법론 수립	- 국내외 평가시스템에 대한 문헌조사를 통한 평가시스템 장단점 및 본 연구 평가방법론 수립 - HILS기반의 신호제어 평가시스템 구축방향 정립
2-2	다수단 통합 신호제어기 개발	- 통합 신호제어기 S/W 구현 - 통합신호제어 알고리즘 S/W를 개발하고, 시험평가를 수행 - 기존 표준 신호제어기 규격에 준용한 통합신호제어기 H/W 개발
2-3	다수단 통합 신호제어 시뮬레이터 개발	- 시뮬레이터 구동 S/W 설계 및 구현 - 통합신호제어 모니터링 및 정보교환을 위한 GUI S/W 개발 - 시뮬레이터 인터페이스 H/W 설계 및 제작

4. 연구성과 활용계획

○ 본 연구에서 개발된 통합신호제어시스템은 다음과 같이 활용 가능함

- 트램 도입 예정 지역의 통합신호운영시스템 핵심기술로서 적용
- BRT 등의 대중교통 우선신호 시스템의 핵심기술에 적용
- 통합신호제어시스템을 표준화/실용화하여 ITS 분야의 무선통신 기반 신호제어시스템 관련 사업 추진

○ 본 연구의 실용화 계획은 <표 2>와 같음

<표 2> 연구성과의 실용화 계획

구분	수행기간	내용
1. 경찰청 표준화	2016.3 ~	도로교통공단과 협의를 통해 표준화 작업 수행
2. 통합신호제어기 홍보	2016.08~	성과품의 기능 및 시험결과서를 통해 홍보활동
3. 산출물의 추가기능 개발	2016.10~	통합신호제어기의 BRT 시스템 전략 개발

SUMMARY

1. Project Background

- ○ Trams provide high-quality service and are an urban transportation mode suitable for solving problems related to energy deficiency and weather changes.
- ○ Currently, Trams are used as the significant urban transportation mode around Europe and North America, improving the efficiency and safety through the various signal operational strategies.
- ○ For trams to gain more popularity ad public transportation vehicles, it is necessary to develop a new signal control strategy that reflects the trams' natural traits while maximizing the efficiencies of trams and general vehicles.
- ○ Although the studies on wireless tram, bi-modal tram for introduction of railroad based urban public transit tram are ongoing, the studies for S/W such as traffic regulations, road design, signal operation systems are insufficient.

- The purpose of this project is to develop a traffic signal operation technique suitable for the complex roads in cities where secondary public transit modes such as trams and surface transportation coexist; the aim is to improve utilization rate of public transportation in the arterial roads in a city while securing mobility and reducing greenhouse gas emission.
- The objective of this work is to develop the prototype of signal controller and to test the practicality through the HILS system by studying integrating signal operation strategies for tram and private vehicles.

2. Executive summary of Research and Development Task

A. Development of Traffic signal control strategy for Multimodal complex road

- Develop the signal operation strategy and test the algorithm of integrating signal control.

B. Development of Field equipment for Multimodal traffic signal controller

- Implement the development of multimodal traffic signal controller
- Develop the performance evaluation methodology and signal control simulator HILS to test the integrating signal controller

C. Test for integrating traffic signal control system

- Technical enhancement and mechanical stabilization of integrating signal controller by testing the system
- Implement the test for each strategy and scenario by the Real-time integrating signal control simulator
- Optimization of signal control algorithm and technical enhancement by the test

3. Research and Development Output

○ There are 3 performance objectives in this research and development.

- Implement and test the Multimodal complex road integrating signal operation algorithm
- Develop Multimodal integrating signal controller
- Develop Multimodal integrating signal control simulator

○ Table 1 shows the output of this research

<Table 1> Research and Development output

Performance Objectives of this year	Performance Standards	Contents
Implementation and Test of the multimodal traffic signal operation algorithm	- Develop S/W to apply integrating signal control algorithm to HILS - Test for signal control strategy based on HILS	- Revision of the signal control algorithm and strategy - Develop VISSIM COM Interface S/W for HILS - Quantitative experiment and analysis of Do-nothing signal control strategy and Integrating signal control strategy
Development of Multimodal integrating signal controller	- Implement the S/W for integrating signal controller - Develop the H/W for integrating signal controller	- Develop and Test the Integrating signal control algorithm S/W - Develop H/W of Integrating signal controller meets the standardized specification
Development of Multimodal integrating signal control simulator	- Design and implement the simulator S/W - Produce the Simulator interface of H/W	- Develop the GUI S/W for signal control monitoring and exchange of information - Improve H/W of simulator interface

4. Application of Research and Development output

◦ The signal control strategy from this Project can be used in these areas:

- Apply to the integrating signal operation system where a tram is to be introduced

- Priority signal control of public transit like BRT

- Promote business related to ITS by Standardization/Application of Integrating signal control system

◦ The plans for practical use of this study are shown in <Table 2>

<Table 2> Plans for practical use of Research and Development

Strategy	Project Period	Contents
1. Korean National Police Standardization	2016.3 ~	Implement Standardization with KoROAD
2. Promotion of Integrating Signal Controller	2016.08~	Promote the integrating signal controller using the function and test report
3. Development of additional function	2016.10~	Development BRT strategy of integrating signal controller

CONTENTS

SUMMARY

Chapter 1 Introduction of Research and Development ····· **1**

Part 1 The purpose and need for the Research and Development / 1

1. Background and need for the Study / 1
2. Purpose of the Study / 3

Part 2 Definition and Objective of the Research and Development / 4

1. Definition and Range of the Research and Development / 4
2. Goal of the Research and Development / 6

Part 3 Current state of Technology development home and abroad / 8

1. Studies on Public Transit Signal Priority / 8
2. Case study on introduction of Tram / 12
3. Studies on Tram Operation system / 16
4. Studies on Arterial Traffic Signal optimization / 36
5. Studies on Evaluation system of Signal operation / 38
6. Current state of Legal system home and abroad / 45
7. Review on Precedent studies / 53

Part 4 Excellence and Discrimination on Output of the Study / 56

Chapter 2 Research and Development Content and Effect ····· 59

Part 1 Strategy and Methodology of the Study / 59

1. Flow and Strategy of the Project / 59
2. Definition on function of Integrating signal control / 62
3. Configuration of Integrating signal control Strategy / 66
4. Definition on Integrating signal operation system / 72

Part 2 Development of Integrating signal operation strategy / 85

1. Overview on Signal operation strategy of Tram / 85
2. Development of Progression Control strategy / 91
3. Development of Tram-Stop Signal Control strategy / 109
4. Development of Tram Priority Control strategy / 125
5. Implement S/W of Integrating signal control algorithm / 136
6. Performance evaluation of Integrating signal operation strategy / 151

Part 3 Development of Multimodal Integrating Signal Controller / 169

1. Development of Information linkage module / 169
2. Produce Information linkage module / 172
3. Functional test of Information linkage module / 174
4. Implement of signal controller algorithm S/W / 175
5. Manufacture Integrating signal controller / 194

Part 4 Development of Integrating signal control Simulator / 199

1. Performance evaluation Methodology on Transit signal control / 199
2. Development of Integrating signal control simulator / 206

Part 5 Test for Multimodal traffic signal control strategy / 243

1. Summary of Simulation analysis / 243
2. Design of plan for simulation analysis / 244
3. Results of simulation analysis / 260

Chapter 3 The final Output of Research and Development ····· 331

Part 1 Output of the Research and Development / 331

1. Content and Result of the Study / 332
2. Summary of the Research and Development Output / 335

Part 2 Major performance of the Study / 342

1. Excellence of the Output of the Study / 342
2. Technology Maturity / 344

Part 3 Market Prospect on Output of the technical development / 346

1. National demand of Integrating signal system of Tram / 346
2. Forecast the Scale of the market abroad / 350

Chapter 4 Purpose Achievement of the Project ····· 354

Part 1 Final Research objective achievement / 354

Part 2 Effect analysis of the Research and Development / 356

1. Expected effect on Technological aspect / 356
2. Expected effect on Scientific aspect / 356
3. Expected effect on Public equity / 356
4. Expected effect on Industrial aspect / 356
5. Close the Technological gap / 358

Chapter 5 Application of the Output and Henceforth Task ····· 359

Part 1 Application of the Output of the Study / 359

1. Plan for the Application of the Output / 359
2. Practical use plan for the Application of the Output / 362
3. Connection among the outputs of the Studies / 365

Part 2 Need for the Henceforth Task / 367

Reference ····· 368

목 차

요 약

제1장 연구개발과제 개요 ····· **1**

제1절 연구개발의 목적 및 필요성 / 1

1. 연구의 배경 및 필요성 / 1
2. 연구의 목적 / 3

제2절 연구개발의 정의 및 목표 / 4

1. 연구개발의 정의 및 범위 / 4
2. 연구개발의 최종목표 / 6

제3절 국내 · 외 기술개발 현황 / 8

1. 대중교통 우선신호 사례 분석 / 8
2. 트램의 도입 사례 분석 / 12
3. 트램 운영 시스템 사례 분석 / 16
4. 간선도로 신호최적화 관련 연구 / 36
5. 신호운영 평가 시스템 관련 연구 / 38
6. 국내·외 법제도 현황 분석 / 45
7. 선행연구 검토 결과 / 53

제4절 연구결과의 우수성 및 차별성 / 56

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 59

제1절 연구수행 전략 및 방법론 / 59

1. 연구의 흐름 및 추진체계 / 59
2. 통합 신호제어의 요구기능 정의 / 62
3. 통합 신호제어 전략의 구성 / 66
4. 통합 신호운영 시스템 정의 / 72

제2절 통합 신호운영전략의 개발 / 85

1. 통합 신호운영전략의 개요 / 85
2. Progression Control 전략 개발 / 91
3. Tram-Stop Signal Control 전략 개발 / 109
4. Tram Priority Control 전략 개발 / 125
5. 통합 신호제어 알고리즘 개발 및 S/W 구현 / 136
6. 통합 신호제어 알고리즘 평가 / 151

제3절 다수단 통합신호제어기 개발 / 169

1. 정보연계모듈 개발 / 169
2. 정보연계모듈 제작 / 172
3. 정보연계모듈 기능 시험 / 174
4. 신호제어기 알고리즘 S/W 구현 / 175
5. 통합 신호제어기 제작 / 194

제4절 다수단 통합신호제어 시뮬레이터 개발 / 199

1. 대중교통 신호제어 평가 방법론 개발 / 199
2. 통합 신호제어 시뮬레이터 개발 / 206

제5절 통합 신호운영전략의 평가 결과 / 243

1. 시뮬레이션 분석 개요 / 243
2. 시뮬레이션 계획 설계 / 244
3. 시뮬레이션 결과 분석 / 260

제3장 최종 연구성과 및 실적 ····· **331**

제1절 연구 개발 실적 / 331

1. 연구수행 내용 및 성과 / 332
2. 연구 산출물 요약 / 335

제2절 주요 연구성과 / 342

1. 연구성과의 우수성 / 342
2. 기술성숙도 수준 / 344

제3절 기술개발 성과의 국내 · 외 시장 전망 / 346

1. 국내 트램 통합신호제어기 및 시스템 수요예측 / 346
2. 해외 시장규모 예측 / 350

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· **354**

제1절 연구개발 최종목표 달성도 / 354

제2절 연구개발 성과 효과분석 / 356

1. 기술적 측면의 기대효과 / 356
2. 학술적 측면의 기대효과 / 356
3. 공공적 측면의 기대효과 / 356
4. 경제·산업적 측면의 기대효과 / 356
5. 선진 기술과의 격차해소 / 358

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구의 필요성 ····· **359**

제1절 연구성과의 향후 활용방안 / 359

1. 연구성과의 활용계획 / 359
2. 연구성과의 실용화 계획 / 362
3. 과제 간 성과물 연계 방안 / 365

제2절 추가연구의 필요성 / 367

참 고 문 헌 ····· **368**

표목차

<표 1-1> 연구수행 범위 ····· 4
<표 1-2> 연구개발 수행목표 ····· 6
<표 1-3> 해외 트램 신호운영 현황 ····· 19
<표 1-4> 트램 운영 방식별 주요 특성 ····· 23
<표 1-5> 주행차로의 종류 ····· 27
<표 1-6> 정류장의 위치별 특성 ····· 29
<표 1-7> 평가범위에 의한 HILS 구분 ····· 40
<표 1-8> VISSIM의 효과척도 ····· 44
<표 1-9> 노면전차관련 법령 ····· 45
<표 1-10> 노면전차관련 법률안 발의 주요 내용 ····· 48
<표 1-11> 일본의 철도사업법과 궤도법 비교 ····· 50
<표 1-12> 독일의 여객운수업 규정 ····· 51
<표 1-13> 독일의 노면전차 건설 및 운행에 관한 규칙 ····· 52
<표 1-14> 유사 연구개발과제 중복성 및 연계활용성 검토 ····· 57
<표 2-1> 연구추진 전략 및 방법 ····· 61
<표 2-2> 연구의 가정 및 조건 ····· 63
<표 2-3> 트램 정류장 위치 ····· 76
<표 2-4> 교통정보 수집 사례분석 ····· 80
<표 2-5> 트램과 일반차량의 검지자료 정의 ····· 82

<표 2-6> 트램 전용차로 구간의 SA 선정 기준 ····· 93
<표 2-7> 트램 전용차로 유무에 따른 기준 ····· 94
<표 2-8> 트램 정류장 유무에 따른 기준 ····· 94
<표 2-9> 트램의 회전/교차에 따른 SA 선정기준 ····· 95
<표 2-10> 교차로 간 거리에 따른 SA 선정기준 ····· 95
<표 2-11> 도로의 위계에 따른 SA 선정기준 ····· 96
<표 2-12> 교통패턴의 연속성에 따른 SA 선정기준 ····· 96
<표 2-13> 트램 정류장 정차시간 제어 순서 ····· 111
<표 2-14> 제어단위 간 우선신호 제어의 트램 정류장 정차시간 보정 순서 ····· 124
<표 2-15> 시스템 교환정보 정의 ····· 142
<표 2-16> 분석구간 교차로 현황(창원시) ····· 152
<표 2-17> 시뮬레이션 평가조건 ····· 154
<표 2-18> 효과분석 시나리오 ····· 155
<표 2-19> 시나리오 분석을 위한 효과척도 선정 ····· 156
<표 2-20> 트램차량 분석 결과 ····· 163
<표 2-21> 일반차량 분석 결과 ····· 164
<표 2-22> 평균 사람당 제어지체 분석 결과 ····· 166
<표 2-23> 환경지표 분석 결과 ····· 167
<표 2-24> 정보연계모듈 주요 설계기능 ····· 169
<표 2-25> Process 별 주요 기능 ····· 171
<표 2-26> 정보연계모듈 시작품 사양 ····· 172
<표 2-27> 정보연계모듈 기능시험 항목 ····· 174
<표 2-28> 검지기 타입 별 기능 및 정보 ····· 175
<표 2-29> 정보연계모듈-PPC 시뮬레이터 간 연계 내용 ····· 177
<표 2-30> 정보연계모듈-시뮬레이터 인터페이스 간 주요 연계내용 ····· 178
<표 2-31> 우선신호제어 Process 별 주요 기능 ····· 179
<표 2-32> 우선신호 알고리즘 수행 결과 ····· 194
<표 2-33> 트램우선신호제어 방식 ····· 199
<표 2-34> 트램 정류장이 있는 진입 링크의 검지기 체계 ····· 199

<표 2-35> 트램 정류장이 없는 진입 링크의 검지기 체계 ····· 200
<표 2-36> 시뮬레이션 모형 별 특성 ····· 203
<표 2-37> 국외 시뮬레이션 모형 별 구현범위 ····· 204
<표 2-38> 교통시뮬레이터의 ITS 서비스 분석기능 비교 ····· 205
<표 2-39> COSMOS와 개발 시스템의 구성 비교 ····· 207
<표 2-40> COSMOS 시스템 S/W 구조 및 개발시스템 적용 방안 ····· 208
<표 2-41> 개발시스템에 적용할 주요기능과 소프트웨어 구조 ····· 208
<표 2-42> COSMOS와 개발 시스템의 SW 구조 비교 ····· 209
<표 2-43> 시뮬레이터 구동 서버 S/W 구조 ····· 209
<표 2-44> 공유 메모리 구성 ····· 210
<표 2-45> 교차로그룹 주간 운영계획 정보 구조(예) ····· 212
<표 2-46> 교차로그룹 일일 운영계획 정보 구조 ····· 212
<표 2-47> 교차로그룹 신호계획 정보 구조 ····· 213
<표 2-48> 교차로 신호계획 정보 구조 ····· 214
<표 2-49> 개발시스템에 적용할 주요기능과 소프트웨어 구조 ····· 215
<표 2-50> 경찰청 “교통신호제어기 표준규격서”의 통신 프로토콜 구분 ····· 216
<표 2-51> 운전 프로토콜의 시뮬레이션 구동 서버 구현 범위 ····· 216
<표 2-52> 정보 표시 화면 구성 ····· 218
<표 2-53> 시뮬레이터 구동 S/W Check List 항목 ····· 220
<표 2-54> 세부 정보 표시 화면 ····· 225
<표 2-55> 운영 OPCODE ····· 226
<표 2-56> G-POLL 메시지 구조 ····· 226
<표 2-57> 신호운영정보 메시지 구조 ····· 227
<표 2-58> 검지기 이벤트 정보 메시지 구조 ····· 228
<표 2-59> 검지기 이벤트 ACK 정보 메시지 구조 ····· 228
<표 2-60> 시뮬레이터 인터페이스 모듈 Check List 항목 ····· 230
<표 2-61> 시뮬레이터 인터페이스 모듈 Check List 항목 ····· 239
<표 2-62> 시험 대상 교차로 현시 구성 ····· 240
<표 2-63> 신호등 출력신호 검출, 전달 시험 결과표 ····· 241

<표 2-64> 시뮬레이션 평가조건 ····· 252
<표 2-65> 신호전략에 따른 효과분석 시나리오 ····· 253
<표 2-66> 교통량 수준에 따른 효과분석 시나리오 ····· 253
<표 2-67> 트램 배차간격에 따른 효과분석 시나리오 ····· 254
<표 2-68> 효과척도 선정 결과 ····· 257
<표 2-69> 시나리오별 신호계획 ····· 257
<표 2-70> 일반차량 기준 (S0) 최적화 신호계획 현시순서 ····· 258
<표 2-71> 트램차량 기준 (S1, S2, S3) 최적화 신호계획 현시순서 ····· 259
<표 2-72> 2019년 장래 교통량에서의 트램 전 구간 통행시간 및 지체 ····· 271
<표 2-73> V/C = 0.3 교통량에서의 트램 전 구간 통행시간 및 지체 ····· 271
<표 2-74> V/C = 0.6 교통량에서의 트램 전 구간 통행시간 및 지체 ····· 272
<표 2-75> V/C = 0.9 교통량에서의 트램 전 구간 통행시간 및 지체 ····· 272
<표 2-76> 2019년 장래 교통량에서의 트램의 통행시간 변화 통계 분석 ····· 273
<표 2-77> V/C = 0.3 교통량에서의 트램의 통행시간 변화 통계 분석 ····· 274
<표 2-78> V/C = 0.6 교통량에서의 트램의 통행시간 변화 통계 분석 ····· 274
<표 2-79> V/C = 0.9 교통량에서의 트램의 통행시간 변화 통계 분석 ····· 275
<표 2-80> 2019년 장래 교통량에서의 트램의 지체 변화 통계 분석 ····· 276
<표 2-81> V/C = 0.3 교통량에서의 트램의 지체 변화 통계 분석 ····· 277
<표 2-82> V/C = 0.6 교통량에서의 트램의 지체 변화 통계 분석 ····· 278
<표 2-83> V/C = 0.9 교통량에서의 트램의 지체 변화 통계 분석 ····· 279
<표 2-84> 2019년 예측 교통량에서의 트램의 정지수 및 녹색시간도착비율 ····· 281
<표 2-85> V/C= 0.3 교통량에서의 트램의 정지수 및 녹색시간도착비율 ····· 281
<표 2-86> V/C= 0.6 교통량에서의 트램의 정지수 및 녹색시간도착비율 ····· 282
<표 2-87> V/C= 0.9 교통량에서의 트램의 정지수 및 녹색시간도착비율 ····· 282
<표 2-88> 2019년 장래 교통량에서의 트램의 정지수 변화 통계 분석 ····· 283
<표 2-89> V/C = 0.3 교통량에서의 트램의 정지수 변화 통계 분석 ····· 284
<표 2-90> V/C = 0.6 교통량에서의 트램의 정지수 변화 통계 분석 ····· 284
<표 2-91> V/C = 0.9 교통량에서의 트램의 정지수 변화 통계 분석 ····· 285
<표 2-92> 2019년 장래 교통량에 대한 일반차량의 평균제어지체 ····· 288

<표 2-93> V/C = 0.3 교통량에 대한 일반차량의 평균제어지체 ····· 289
<표 2-94> V/C = 0.6 교통량에 대한 일반차량의 평균제어지체 ····· 289
<표 2-95> V/C = 0.9 교통량에 대한 일반차량의 평균제어지체 ····· 290
<표 2-96> 2019년 장래 교통량에 대한 SA1 주방향 지체 변화 통계 분석 ····· 290
<표 2-97> V/C = 0.3 교통량에 대한 SA1 주방향 지체 변화 통계 분석 ····· 291
<표 2-98> V/C = 0.6 교통량에 대한 SA1 주방향 지체 변화 통계 분석 ····· 292
<표 2-99> V/C = 0.9 교통량에서의 SA1 주방향 지체 변화 통계 분석 ····· 293
<표 2-100> 2019년 교통량에 대한 일반차량의 연료소모량 및 COx배출량 ····· 295
<표 2-101> V/C = 0.3 교통량에 대한 일반차량의 연료소모량 및 COx배출량 · 295
<표 2-102> V/C = 0.6 교통량에 대한 일반차량의 연료소모량 및 COx배출량 · 296
<표 2-103> V/C = 0.9 교통량에 대한 일반차량의 연료소모량 및 COx배출량 · 296
<표 2-104> 2019년 장래 교통량에 대한 연료소모량 변화 통계 분석 ····· 297
<표 2-105> V/C = 0.3 교통량에 대한 연료소모량 변화 통계 분석 ····· 298
<표 2-106> V/C = 0.6 교통량에 대한 연료소모량 변화 통계 분석 ····· 298
<표 2-107> V/C = 0.9 교통량에 대한 연료소모량 변화 통계 분석 ····· 299
<표 2-108> 2019년 장래 교통량에 대한 COx 배출량 변화 통계 분석 ····· 300
<표 2-109> V/C = 0.3 교통량에 대한 COx 배출량 변화 통계 분석 ····· 301
<표 2-110> V/C = 0.6 교통량에 대한 COx 배출량 변화 통계 분석 ····· 302
<표 2-111> V/C = 0.9 교통량에 대한 COx 배출량 변화 통계 분석 ····· 303
<표 2-112> 2019년 장래 교통량에 대한 사람당 총 운영지체 ····· 305
<표 2-113> V/C = 0.3 교통량에 대한 사람당 총 운영지체 ····· 305
<표 2-114> V/C = 0.6 교통량에 대한 사람당 총 운영지체 ····· 306
<표 2-115> V/C = 0.9 교통량에 대한 사람당 총 운영지체 ····· 306
<표 2-116> 2019년 교통량에 대한 사람당 네트워크 총 지체 변화 통계 분석 ·· 307
<표 2-117> V/C=0.3 교통량에 대한 사람당 네트워크 총 지체 변화 통계 분석 308
<표 2-118> V/C=0.6 교통량에 대한 사람당 네트워크 총 지체 변화 통계 분석 309
<표 2-119> V/C=0.9 교통량에 대한 사람당 네트워크 총 지체 변화 통계 분석 310
<표 2-120> 2019년 장래 교통량에 대한 시간당 최대 승객 수송용량 ····· 312
<표 2-121> V/C=0.3 교통량에 대한 시간당 최대 승객 수송용량 ····· 312

<표 2-122> V/C=0.6 교통량에 대한 시간당 최대 승객 수송용량 ····· 313
<표 2-123> V/C=0.9 교통량에 대한 시간당 최대 승객 수송용량 ····· 313
<표 2-124> 2019년 장래 교통량에 대한 능동식 우신신호 제어횟수 ····· 317
<표 2-125> V/C=0.3 교통량에 대한 능동식 우신신호 제어횟수 ····· 317
<표 2-126> V/C=0.6 교통량에 대한 능동식 우신신호 제어횟수 ····· 318
<표 2-127> V/C=0.9 교통량에 대한 능동식 우신신호 제어횟수 ····· 318
<표 2-128> 트램 배차간격과 신호전략에 따른 트램 운영지체 변화 ····· 321
<표 2-129> 배차간격과 신호전략에 따른 트램 지체 민감도 통계 분석 결과 ···· 321
<표 2-130> 일반 교통량과 신호전략에 따른 일반차량의 제어지체 변화 ····· 323
<표 2-131> 트램 배차간격과 신호전략에 따른 일반차량 제어지체 변화 ····· 324
<표 2-132> 교통량과 신호전략에 따른 일반차량 지체 민감도 통계분석 결과 ·· 324
<표 2-133> 배차간격과 신호전략에 따른 일반차량 지체 민감도 통계분석 결과 325
<표 2-134> 일반 교통량과 신호전략에 따른 사람당 총 지체 변화 ····· 327
<표 2-135> 트램 배차간격과 신호전략에 따른 사람당 총 지체 변화 ····· 328
<표 2-136> 교통량과 신호전략에 따른 사람당 총 지체 민감도 통계분석결과 ·· 328
<표 2-137> 배차간격과 신호전략에 따른 사람당 지체 민감도 통계 분석 결과 329
<표 3-1> 연구개발 성과 요약 ····· 332
<표 3-2> 연구개발 목표 달성 여부 ····· 334
<표 3-3> 연구 양적 성과 내용 ····· 335
<표 3-4> 2010년 지방청별 교통신호기 설치현황 ····· 346
<표 3-5> 도시별 교통신호제어기 설치 운영 현황 ····· 347
<표 3-6> 통합 신호제어기 예상 시장규모 (2015년 기준) ····· 348
<표 3-7> 지자체 트램 도입 추진 현황 ····· 349
<표 3-8> 트램 사업추진 대상 교차로 개수 ····· 350
<표 4-1> 기대성과 및 파급효과 ····· 357
<표 5-1> 연구의 실용화 계획 일정 ····· 364

그림목차

<그림 1-1> 자동차와 트램 통합신호운영기술 개발 개념도 ····· 2
<그림 1-2> 서울시 대중교통 수송분담율 변화 (서울시, 2009) ····· 3
<그림 1-3> 전체 연구범위 정의 ····· 5
<그림 1-4> 연구 최종 산출물 개념도 ····· 7
<그림 1-5> MOVA 시스템 ····· 9
<그림 1-6> SCOOT 시스템 ····· 9
<그림 1-7> 고양시 시스템 구성 ····· 11
<그림 1-8> 청라-강서 버스우선신호 시스템 구성 예 ····· 12
<그림 1-9> LA 트램 ····· 14
<그림 1-10> 슈투트가르트 트램 ····· 14
<그림 1-11> 고텐부르크 트램과 전용 신호등 ····· 14
<그림 1-12> 멜버른 트램과 전용 신호등 ····· 15
<그림 1-13> 셰필드 트램과 전용신호 표출 방식 ····· 15
<그림 1-14> 튜린 트램 ····· 16
<그림 1-15> 낭트 트램 ····· 16
<그림 1-16> 헬싱키 트램과 전용 신호등 ····· 16
<그림 1-17> 경전철 차량의 교차로 도착시간 예측 확률밀도 함수 ····· 21
<그림 1-18> 트램과 일반차량의 연동폭 산출 ····· 22
<그림 1-19> 트램 주행차로의 위치 ····· 27

<그림 1-20> 미국 경전철 신호등 운영 기준 ····· 32
<그림 1-21> 영국의 노면전차 전용신호* ····· 33
<그림 1-22> 파리 T3 노선 트램 우선신호 운영현황* ····· 33
<그림 1-23> BRT의 차량정보 수집 체계 구성 예 ····· 36
<그림 1-24> HILS 기반 평가시스템 구성 및 동작개념 ····· 39
<그림 1-25> 철도 교통수단관련 법령체계 ····· 47
<그림 1-26> 일본 철도육법 체계 ····· 50
<그림 1-27> 기존 연구 대비 차별성 검토 ····· 56
<그림 2-1> 연차별 연구 흐름도 ····· 60
<그림 2-2> 트램의 운영목표 및 요구기능 정의 ····· 65
<그림 2-3> Passer + T-7F 결합모형 ····· 67
<그림 2-4> 능동식 우선신호제어 순서 ····· 69
<그림 2-5> 3단계 계층적 우선신호 제어전략 개념도 ····· 71
<그림 2-6> 트램 운영 시스템 정의 ····· 72
<그림 2-7> 통합 신호운영 시스템 구성 ····· 73
<그림 2-8> 구성요소 간 통신방식 ····· 75
<그림 2-9> 트램 정류장 위치 ····· 75
<그림 2-10> 트램 전용 신호등 설치 위치 ····· 77
<그림 2-11> 독일의 트램 전용 신호등 설치 예 ····· 78
<그림 2-12> Local Level의 고양시 시스템 구성 ····· 81
<그림 2-13> Center Level의 고양시 시스템 구성 ····· 81
<그림 2-14> 청라-강서 버스우선신호 시스템 구성 예 ····· 82
<그림 2-15> 트램차량 정보수집을 위한 검치체계 구성 ····· 83
<그림 2-16> 트램 전용차로를 위한 현시체계 구성방안 ····· 84
<그림 2-17> 3단계 계층적 우선신호 제어전략 수립 ····· 85
<그림 2-18> 통합 신호제어 전략 수행과정 ····· 86
<그림 2-19> 신호제어 알고리즘의 수행 순서도 ····· 89
<그림 2-20> 트램 우선신호 제어 순서도 ····· 90

<그림 2-21> 제어단위 구성방법 ····· 92
<그림 2-22> 제어단위 및 중요교차로 선정 절차 ····· 92
<그림 2-23> 트램의 제어단위 설계 과정 ····· 98
<그림 2-24> 고정식 트램 우선신호 제어 개념도 ····· 99
<그림 2-25> Passer + T-7F 결합모형 ····· 99
<그림 2-26> 트램차량의 연동폭 산출 개념도 ····· 100
<그림 2-27> Passer 모형의 신호최적화 과정 ····· 101
<그림 2-28> 현시순서 제약에 따른 연동폭 변화 ····· 102
<그림 2-29> 여유녹색시간을 활용한 지체개선 전략 ····· 105
<그림 2-30> T-7F 모형의 신호최적화 보정 과정 ····· 106
<그림 2-31> T-7F 모형의 신호최적화 보정결과 예 ····· 107
<그림 2-32> TOD 제어 원리 ····· 108
<그림 2-33> 정류장 정차시간 제어 순서 ····· 110
<그림 2-34> 트램 정류장 위치 경우의 수 ····· 114
<그림 2-35> 링크 양쪽방향에 정류장이 있는 경우 제어 방법 ····· 114
<그림 2-36> 양쪽방향 정류장 링크의 대향방향 상충판단 알고리즘 ····· 115
<그림 2-37> 링크 한쪽방향에 정류장이 있는 경우 제어 방법 ····· 115
<그림 2-38> 한쪽방향 정류장 링크의 대향방향 상충판단 알고리즘 ····· 116
<그림 2-39> 링크 양방향에 정류장이 없는 경우 제어방법 ····· 116
<그림 2-40> 양방향 정류장이 없는 링크의 대향방향 상충판단 알고리즘 ····· 117
<그림 2-41> G.E, E.G 기법을 이용한 알고리즘의 한계 - 1 ····· 118
<그림 2-42> G.E, E.G 기법을 이용한 알고리즘의 한계 - 2 ····· 118
<그림 2-43> 기존기법 + Phase Insertion 효과 (한쪽방향 정류장) ····· 119
<그림 2-44> 기존전략 + Phase Insertion 효과 (양쪽방향에 정류장이 없는 경우) 120
<그림 2-45> 정류장에 유무에 교차로 정차발생 경우의 수 ····· 120
<그림 2-46> 링크 한 쪽 방향에만 정류장이 있는 경우 제어방법 ····· 121
<그림 2-47> 링크 한 쪽 방향에만 정류장이 있는 경우 대항방향 상충알고리즘 ·· 121
<그림 2-48> 링크 양방향에 정류장이 없는 경우 제어방법 ····· 122

<그림 2-49> 링크 양방향에 정류장이 없는 경우 대항방향 상충판단 알고리즘 ···· 122
<그림 2-50> 정류장 위치에 따른 제어단위 간 우선신호 제어 방법 ····· 123
<그림 2-51> 제어단위 간 우선신호 제어 개념도 ····· 124
<그림 2-52> 능동식 우선신호제어 순서 ····· 126
<그림 2-53> Early Green 및 Green Extension의 제어원리 ····· 128
<그림 2-54> 능동형 트램 우선신호 중 Green Extension, Early Green의 개념 ···· 128
<그림 2-55> Phase Insertion 기법의 적용 방식 ····· 129
<그림 2-56> 우선신호 결정 알고리즘 ····· 131
<그림 2-57> 통합 신호제어 전략 수행과정 ····· 136
<그림 2-58> 신호제어 알고리즘의 개략 순서도 ····· 138
<그림 2-59> 신호제어 알고리즘의 수행 순서도 ····· 139
<그림 2-60> HILS 시스템 정의 ····· 141
<그림 2-61> HILS 시스템 수행 절차 ····· 142
<그림 2-62> 시스템 객체간의 통신절차 ····· 143
<그림 2-63> COM Interface 실행화면 ····· 144
<그림 2-64> COM Interface 적용 예 ····· 145
<그림 2-65> CoClass의 개념 ····· 145
<그림 2-66> VISSIM 인터페이스의 구성 ····· 146
<그림 2-67> Intelligence로 Method 검색하는 모습 ····· 147
<그림 2-68> Com Interface 구조 ····· 149
<그림 2-69> 효과분석 대상구간의 위치 ····· 150
<그림 2-70> SA1의 Passer-II 일반차량 기준 신호최적화 결과 시공도 ····· 158
<그림 2-71> SA1의 Progression Control 전략을 이용한 신호최적화 결과 시공도 159
<그림 2-72> SA2의 Passer-II 일반차량 기준 신호최적화 결과 시공도 ····· 160
<그림 2-73> SA2의 Progression Control 신호최적화 결과 시공도 ····· 161
<그림 2-74> 트램의 평균통행시간 (초/대) ····· 163
<그림 2-75> 트램의 평균 정지수 (회/대) ····· 163
<그림 2-76> 일반차량의 주방향 평균 제어지체 (초/대) ····· 165

<그림 2-77> 일반차량의 네트워크 평균 제어지체 (초/대) ····· 165
<그림 2-78> 트램과 일반차량의 평균 사람당 제어지체 (초/인) ····· 166
<그림 2-79> 트램과 일반차량의 연료소비량 (gal/대) ····· 168
<그림 2-80> 트램과 일반차량의 배기가스 배출량 (g/대) ····· 168
<그림 2-81> 정보연계모듈 내 Process 구성 ····· 170
<그림 2-82> 정보연계모듈 내부 Data Flow ····· 172
<그림 2-83> 정보연계모듈 시작품 ····· 173
<그림 2-84> 통합신호제어기 외부 연계 프로토콜 ····· 176
<그림 2-85> 경찰청 표준 프로토콜 주요내용 ····· 176
<그림 2-86> SCAN Process 기능 Flow ····· 180
<그림 2-87> LCMAIN Process 기능 Flow ····· 181
<그림 2-88> ACT Process 기능 Flow ····· 183
<그림 2-89> 신호제어기내 우선신호 알고리즘 적용모드 선정 ····· 191
<그림 2-90> 통합신호제어기 개발방향 ····· 195
<그림 2-91> 통합신호제어기 개발목표 ····· 196
<그림 2-92> 통합신호제어기 하드웨어 구성(정보연계모듈 적용) ····· 197
<그림 2-93> 통합신호제어기 구성 ····· 197
<그림 2-94> 통합신호제어기 외부시스템 연계구성 ····· 198
<그림 2-95> HILS 기반 평가 대상시스템 구성 ····· 200
<그림 2-96> 통합신호시스템에 대한 HILS 기반 평가 시스템 구성 ····· 201
<그림 2-97> WDT 프로그램 Data Flow Diagram ····· 210
<그림 2-98> TOD 프로그램 Data Flow Diagram ····· 211
<그림 2-99> PMG 프로그램 Data Flow Diagram ····· 213
<그림 2-100> LOG 프로그램 Data Flow Diagram ····· 214
<그림 2-101> LIF 프로그램의 Data Flow Diagram ····· 215
<그림 2-102> 메인 운영 화면 ····· 217
<그림 2-103> 시뮬레이터 인터페이스 H/W 내부 구성 ····· 222
<그림 2-104> 시뮬레이터 인터페이스 H/W 모듈 ····· 222

<그림 2-105> 통신 중계기 프로그램 구성 ····· 223
<그림 2-106> 메인 운영 화면 ····· 224
<그림 2-107> VISSIM COM 인터페이스 S/W 메인화면 ····· 229
<그림 2-108> Signal Plan Manager 화면 ····· 229
<그림 2-109> 통합신호제어기 및 신호제어기 시뮬레이터 구성 ····· 231
<그림 2-110> HILS 기반 트램 우선신호 시험/평가시스템 구성 ····· 232
<그림 2-111> 시뮬레이터 구동 S/W 운영 화면 - Main 운영화면 ····· 233
<그림 2-112> 프로세스 구동 상태 화면 ····· 233
<그림 2-113> 교차로그룹 신호운영 화면 ····· 234
<그림 2-114> 교차로 신호운영상태 화면 ····· 234
<그림 2-115> 교차로 동작상태 화면 ····· 235
<그림 2-116> 교차로 현시구성 설정화면 ····· 235
<그림 2-117> 시뮬레이터 인터페이스 S/W - 메인 운영 화면 ····· 236
<그림 2-118> 신호기 운영상태 화면 ····· 236
<그림 2-119> LSU 등기/트램신호출력상태 화면 ····· 237
<그림 2-120> 트램검지기록 화면 ····· 237
<그림 2-121> 트램차량 검지정보 흐름도 ····· 238
<그림 2-122> 신호등 출력정보 흐름도 ····· 240
<그림 2-123> 우선신호제어 관련 정보 흐름도 ····· 242
<그림 2-124> 우선신호 알고리즘 적용 화면 ····· 242
<그림 2-125> 통합 신호운영 평가환경 구성 ····· 243
<그림 2-126> 시뮬레이션 평가 환경 ····· 244
<그림 2-127> 효과분석 대상구간의 위치(위례시) ····· 245
<그림 2-128> 효과분석 대상구간의 기하구조 SA1 (교차로 1~2) ····· 246
<그림 2-129> 효과분석 대상구간의 기하구조 SA1 (교차로 3~5) ····· 247
<그림 2-130> 효과분석 대상구간의 기하구조 SA1 (교차로 6~7) ····· 248
<그림 2-131> 효과분석 대상구간의 기하구조 SA1 (교차로 8~9) ····· 249
<그림 2-132> 효과분석 대상구간의 기하구조 SA1 (교차로 10~11) ····· 250

<그림 2-133> 2019년 교통량 기준 SA1 신호최적화 결과 시공도(S0: 일반차량 기준 최적화) ····· 263
<그림 2-134> V/C = 0.3, 0.6, 0.9 교통량 기준 SA1 신호최적화 결과 시공도(S1: 트램 연동폭 최대화) ····· 264
<그림 2-135> V/C = 0.3, 0.9 교통량 SA1 최적화 결과 시공도(S2: 트램 연동폭 + 일반차량 지체 고려) ····· 265
<그림 2-136> V/C = 0.6 교통량 SA1 최적화 결과 시공도(S2: 트램 연동폭 확보 + 일반차량 지체 고려) ····· 266
<그림 2-137> 2019년 교통량 기준 SA1 신호최적화 결과 시공도(S1: 트램 연동폭 최대화) ····· 267
<그림 2-138> 2019년 교통량 기준 SA1 최적화 결과 시공도(S2: 트램 연동폭 확보+일반차량 지체 고려) ····· 268
<그림 2-139> 최적화 결과 트램 시공도(S1, S2) ····· 269
<그림 2-140> 배차간격 5분의 사람당 평균 지체 변화 ····· 307
<그림 2-141> 트램 배차간격 3분 운영시, 최대 승객 수송용량 변화 ····· 314
<그림 2-142> 트램 배차간격 5분 운영시, 최대 승객 수송용량 변화 ····· 314
<그림 2-143> 트램 배차간격 10분 운영시, 최대 승객 수송용량 변화 ····· 315
<그림 2-144> SA1의 능동식 우선신호 제어횟수 변화 ····· 319
<그림 2-145> SA2의 능동식 우선신호 제어횟수 변화 ····· 319
<그림 2-146> 트램의 지체에 대한 트램 배차간격과 신호전략의 상호 작용 ····· 322
<그림 2-147> 일반차량의 지체에 대한 교통량과 신호전략의 상호 작용 ····· 325
<그림 2-148> 일반차량의 지체에 대한 트램 배차간격과 신호전략의 상호 작용 326
<그림 2-149> 사람당 총 지체에 대한 교통량과 신호전략의 상호 작용 ····· 329
<그림 2-150> 사람당 총 지체에 대한 트램 배차간격과 신호전략의 상호 작용 ···· 330
<그림 3-1> 기존 신호운영체계 및 버스우선신호 제어기법의 한계점 ····· 342
<그림 3-2> 수단별 신호제어 최적화 개념 ····· 343
<그림 3-3> 시스템 수준에 따른 3단계 신호제어 전략 적용 ····· 344
<그림 3-4> 세계 ITS 시장비율 (%) ····· 352

<그림 3-5> ATMS 부문 세계 ITS 시장예측 (단위 : 백만 $) ····· 352
<그림 3-6> PVMS 부문 세계 ITS 시장예측 (단위 : 백만 $) ····· 353
<그림 5-1> 연구결과의 기타 대중교통 시스템에 적용 방안 ····· 361
<그림 5-2> 연구 산출물 활용방안 ····· 363
<그림 5-3> 연구결과의 사업화 계획 ····· 365
<그림 5-4> 연구 공조체제 구축 및 성과품 활용방안 ····· 366

제1장 연구개발과제 개요

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

제 2 절 연구개발의 정의 및 목표

제 3 절 국내·외 기술개발 현황

제 4 절 연구결과의 우수성 및 차별성

제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구의 배경 및 필요성

○ 최근 10년간 우리나라의 승용차 자동차 보유대수가 꾸준히 증가하여 2014년도에는 2000만대를 돌파하였으며, 승용차이용률의 증가로 인해 도시부 도로의 혼잡은 매년 증가되고 있는 상황

○ 도시부 녹색교통체계 구축의 일환으로 무가선 트램과 같은 기존의 도시철도, 버스와는 다른 친환경 신교통수단의 도입에 대한 요구도가 증가함

○ 트램(Tram)이란 영미권에서는 Streetcar, 유럽에서는 Tramway로 불리는 철도를 기반으로 발전한 도시교통수단으로써 1970년대 후반부터 발전된 전기견인엔진, 저상차량, 모듈화 된 차체 등 다양한 현대화된 시스템을 적용하기 시작하여 최근에 도시교통을 책임지는 한 축으로 성장함

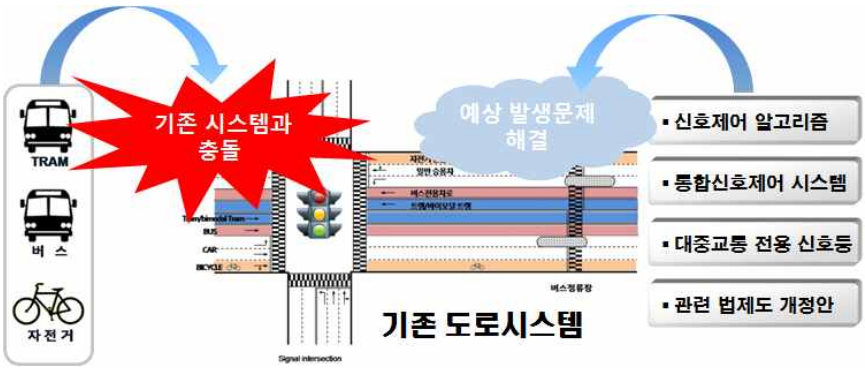
○ 우리나라에서는 서울, 평양 및 부산 등에서 대한제국 시기인 1899년 개통된 적이 있으며, 본격적인 산업화 이전인 1968년 운행이 폐지되어 트램에 대한 신호운영기술이 전무함

○ 현재 극심한 교통 혼잡을 겪는 대도시 간선도로의 통행수단과 대규모 건설비가 투자되는 지하철 등을 대체하기 위한 수단으로써 트램의 재도입이 검

토되고 있음

○ 위례 신도시, 수원시, 동탄 신도시, 성남시 등의 지방자치단체에서 친환경 신교통수단으로 트램의 도입을 추진하고 있음

○ 현 도로 시스템에 트램 운영체계를 도입 시, 일반 교통류와 트램의 교통이 혼재할 경우에 각 이동류의 효율성과 안전성에 문제가 발생함



<그림 1-1> 자동차와 트램 통합신호운영기술 개발 개념도

○ 교통분야의 환경문제에 대한 관심으로 최근에 저탄소 녹색성장이란 화두와 함께 세계적인 에너지 및 환경에 대한 요구와 관련 협약에 발맞추어 새로운 친환경 교통수단의 도입에 대한 관심이 증대되고 있음

○ 교통의 환경문제에 대한 패러다임도 변화하여 저탄소 녹색성장 기본법(2010.01.13)을 통해 녹색기술과 녹색산업의 육성을 지원하고 있고, 지속가능 교통 물류 발전법(2009.06.09)에서는 비동력 무탄소 교통수단의 활성화 방안에 대해서 명시하여 트램 도입의 당위성과 그에 대한 준비를 필요로 함

○ 도시교통의 수요와 공급의 불균형 문제를 해결하기 위한 방안으로, 도로확충 등의 물리적인 공급확대 보다는 승용차 위주의 교통체계 악순환을 해결할 수 있는 대중교통 시설을 확충하고 개선하는 방법이 제시되고 있으나, 기존의 버스나 지하철 등의 대중교통 수단만으로 문제를 해결하는데 한계가 있음

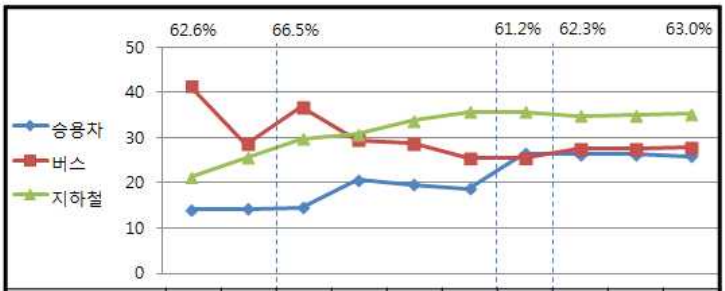
○ 국내 대중교통에 대해서 지속적인 투자가 이루어지고 있으나 자가용의 이

용률은 지속적으로 증가하는 반면, 대중교통의 수단분담율은 답보 상태

○ 도시부 혼잡을 해소하기 위한 대중교통 활성화 정책의 일환으로 트램과 같은 신교통수단의 도입을 통해 도시부 혼잡감소에 기여할 수 있음

○ 하지만 트램은 신 대중교통 수단으로써 기존에 있는 일반차량, 버스에 비해 차량의 통행특성이 다르므로 도시부 도로에 그대로 적용하여 운영할 경우 각 이동류의 효율성과 안전성에 문제가 발생하게 될 것으로 예상됨

○ 따라서 도시부 도로에 트램이 도입될 경우 전체 도시부의 신호제어 및 교통류 흐름을 저해하지 않으며 운영효율을 증대할 수 있는 신호운영기술이 필요함



연도		1991	1993	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009
도로율(%)		18.1	19.3	19.6	20.4	20.9	21.2	21.5	21.7	21.8	22.0
자동차수 (십만)		13.8	16.4	19.9	22.5	23.0	27.8	27.8	28.1	29.3	30.0
통행속도		21.6	23.6	21.7	21.1	25.4	22.4	22.4	22.9	23.4	24.0
수단 분담율	버스	41.4	28.6	36.7	29.5	28.8	25.6	25.6	27.5	27.6	27.8
	지하철	21.2	25.6	29.8	30.8	33.8	35.6	35.6	34.8	34.9	35.2
	승용차	14.1	14.2	14.5	20.6	19.6	26.4	26.4	26.3	26.3	25.9
주요사업		1기 지하철 완료					2기 지하철 완료		대중교통 체계개편		

<그림 1-2> 서울시 대중교통 수송분담율 변화 (서울시, 2009)

2. 연구의 목적

○ 본 연구에서는 장래 도시부 간선도로에 트램 시스템이 도입될 것에 대비하여 트램, 자동차, 버스, 보행자 등 복수 개의 교통수단이 혼재되어 운영될 경우 발생할 문제점을 파악하고, 이를 해결하기 위한 도시부 복합도로의 신호운영기술과 제반시스템기술을 개발함

제2절 연구개발의 정의 및 목표

1. 연구개발의 정의 및 범위

가. 연구개발의 정의

○ 본 연구에서는 도시부 교통수단으로 자동차, 버스, 트램 등 복수 개의 대중교통수단이 도로상에 혼재할 경우, 대중교통의 통행시간과 정시성을 향상시키고, 일반차량의 지체까지 고려하는 통합신호제어 전략과 통합교통신호운영시스템의 개발을 주요내용으로 제시하며, 본 과업에서 요구되는 주요기술을 다음과 같이 정의 함

- 다수단 복합도로의 통합신호제어 전략 개발 및 평가
- 통합 신호제어기 개발
- 통합 신호제어전략 및 신호제어기의 평가 시스템 개발

나. 연구개발의 범위

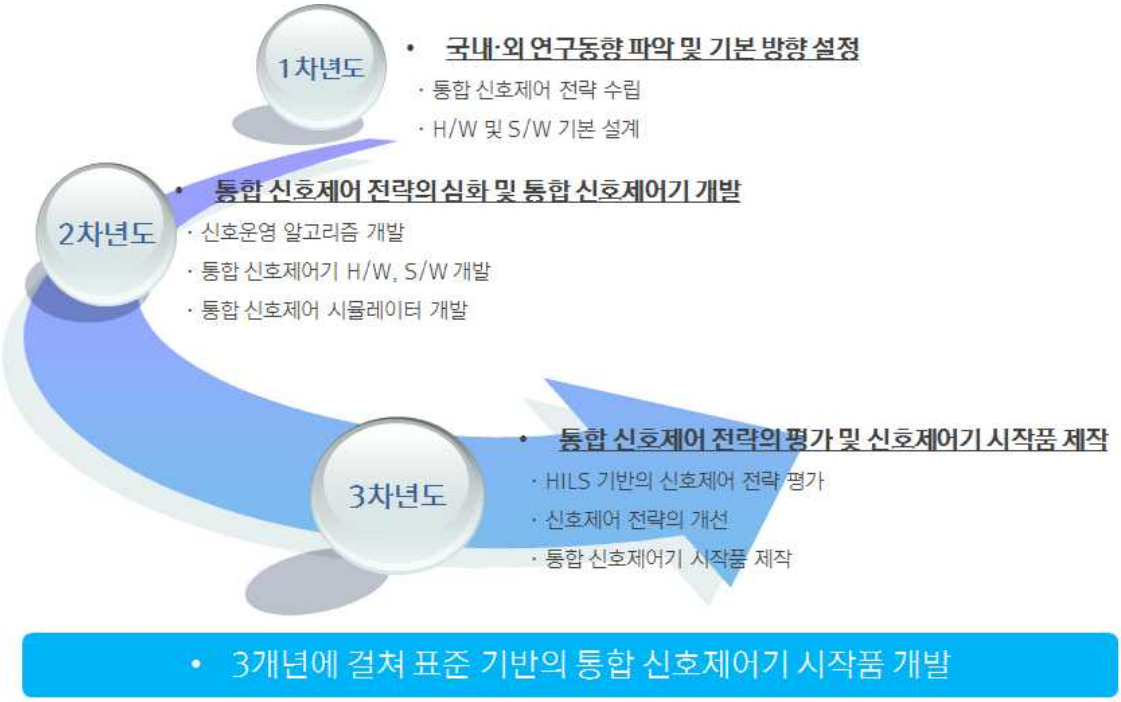
○ 총 3차년에 걸쳐 통합신호제어전략, 다수단 통합신호제어기 시작품 개발과 실시간 통합신호제어 시뮬레이터 개발 및 시작품 개발까지를 본 연구의 수행범위로 제시함

○ <표 1-1>은 주관연구기관과 협동연구기관의 연구수행 범위를 나타냄

<표 1-1> 연구수행 범위

구 분	주관연구기관 서울시립대학교	협동연구기관 ㈜세인
1차년도	- 통합신호제어 전략 - 통합 신호운영 최적화 알고리즘	- 트램 통합신호 제어기의 인터페이스 설계(H/W)
2차년도	- 신호제어 프로세스 및 S/W 개발	- 대중교통 신호제어 평가 방법론 수립 - 통합 신호제어기 개발 - HILS 시스템 개발
3차년도	- 통합 신호운영 시스템 평가	- 시스템 고도화 및 안정화 - 통합 신호제어기 및 평가용 시뮬레이터 시스템 평가

○ 3개년도에 걸친 개략적인 전체 연구범위는 <그림 1-3>와 같음



<그림 1-3> 전체 연구범위 정의

○ 연구의 개략적인 구성은 1차년도 연구의 방향설정부터 2차년도 알고리즘 및 시작품 개발과 3차년도의 시작품 제작 및 평가로 구분할 수 있음

○ 1차년도의 연구범위는 동향분석 및 신호제어 전략 수립 단계로 구성

○ 2차년도의 연구범위는 신호제어 전략의 수행을 위한 구체적인 알고리즘 개발 및 신호제어기와 시뮬레이터의 설계로 구성

○ 3차년도의 연구범위는 신호제어 전략과 알고리즘의 수정 및 통합 신호제어기와 시뮬레이터의 제작을 수행하고, 제작된 S/W와 H/W의 평가 수행

2. 연구개발의 최종목표

가. 연구개발 수행목표

○ 본 연구의 최종목표는 트램과 같은 제2의 대중교통수단의 도입을 대비하여 대중교통과 도로교통이 공존하는 도시부 복합도로의 제반운영기술 및 신호제어기 개발을 수행함으로서 궁극적으로 도시부 간선도로의 대중교통 이용률 증진, 이동성 확보 및 온실가스 감축을 최종 목적으로 함

○ <표 1-2>에는 연구수행 목표와 세부 수행목표를 정의하였음

<표 1-2> 연구개발 수행목표

구분	세부수행목표
다수단 복합도로의 통합신호제어시스템 및 운영전략 개발	▪ 수단간 통합신호 연동프로세스 및 소프트웨어 개발 ▪ 신호운영을 위한 검지체계 개발 ▪ 트램 신호등 운영전략 개발 ▪ 다수단 통합신호제어시스템의 시뮬레이션 효과평가 ▪ 실용화를 위한 유관기관별 지원방안 및 Action Plan 제시
다수단 복합도로의 통합신호운영을 위한 현장장비 개발	▪ 다수단 통합 교통신호제어기 개발 및 시작품 제작 ▪ 트램 전용 신호등 개발 및 시작품 제작 ▪ HILS 기반의 다수단 통합 신호제어시스템 시작품 제작

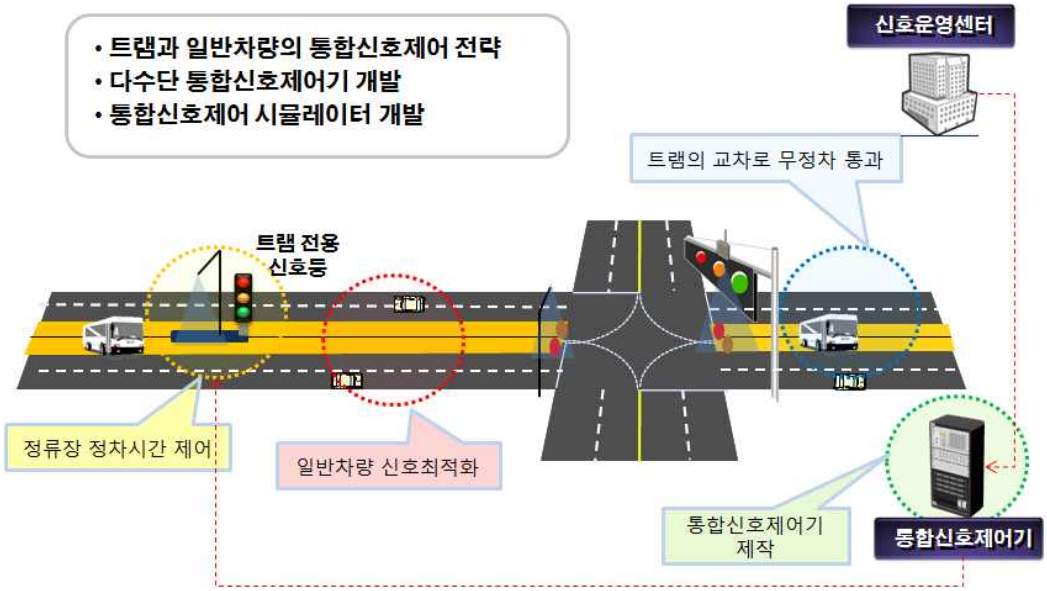
나. 최종 개발 시스템 정의

○ 통합 신호운영 알고리즘 : 자동차와 트램을 위한 신호제어 전략 및 고정식 우선신호와 능동식 우선신호를 포함한 통합 신호제어 알고리즘을 포함

○ 통합 신호제어기 : 통합 신호운영에 필요한 신호제어 알고리즘(S/W)과 장비(H/W)를 모두 포함하는 표준 신호제어기 기반의 시작품

○ 통합 신호제어 시뮬레이터 : 개발된 통합 신호제어기의 성능을 평가하기 위해서 PC, PC 기반의 평가도구(VISSIM 모형), 통합 신호제어기 간의 연동 및 데이터 교환을 통해 실제 도로환경과 통합신호제어기 간을 연계하는 역할을 수행하는 제작품

○ <그림 1-4>은 전체 연구개발의 최종산출물을 나타냄



<그림 1-4> 연구 최종 산출물 개념도

다. 연구개발 단계(TRL) 수준

○ 통합제어기의 기술성숙도(TRL; Technology Readiness Level) 수준은 유사환경 기술시범 단계인 Level 6으로 예상함

○ 통합 신호제어기 개발기술은 이용자의 안전과 관련 법률의 영향에 따른 해당기술의 특성상 실제 환경에서 테스트가 이루어지기는 어려우며, 연구비용에 현장테스트 비용이 포함되지 않았으므로 기술성숙도 수준은 Level 6 단계로 설정함

○ 본 연구의 최종 산출물인 통합신호제어기는 2011년 기준의 경찰청 표준 신호제어기를 기본으로 제작되며, 파일럿 규모의 시작품을 제작하고 평가하는 단계임

○ 본 연구에서 함께 개발하는 통합 신호제어 시뮬레이터(HILS)를 이용하여 수요처의 적용환경과 유사하게 환경을 구축한 후, 다양한 시험환경에 대한 자체 테스트를 수행하여 목표 성능을 만족시킴

제3절 국내·외 기술개발 현황

1. 대중교통 우선신호 사례 분석

○ 해외의 경우 대중교통 우선처리를 위한 신호전략은 1970년대부터 본격적으로 구축되기 시작했고, 1990년대에는 대중교통 우선신호에 대한 연구가 활발히 이루어짐

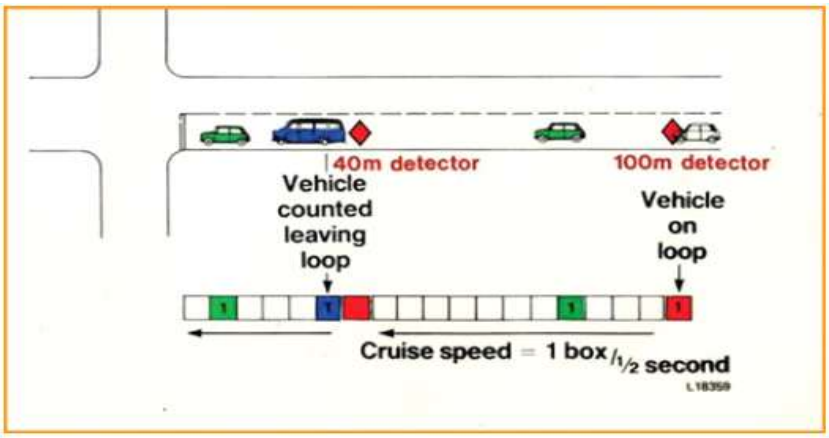
○ 주로 버스에 우선신호를 적용하여 운영하였고, 우선신호 적용으로 인해 대중교통 차량의 지체, 주행시간이 감소하고 속도가 증가되는 효과가 나타냄

① SPOT(signal progression optimization technology)

- 루프검지기와 송수신기(transponders)를 이용하여 차량검지가 이루어지며 교통대응식(TRC) 우선신호를 제공할 수 있는 기능을 가진 UTOPIA (Urban Traffic Optimization of Integrated Automation)와 비슷한 신호제어 방법
- 루프 검지기와 TIRIS(Texas Instruments Radio Identification System) 태그를 사용하여 실시간 감응제어를 통해 우선신호를 제공하고, 동시에 평균속도와 포화교통유율을 고려하여 최적의 여행시간을 산출하여 우선신호제공에 도움을 줌

② Microprocessor Optimized Vehicle Actuation(MOVA)

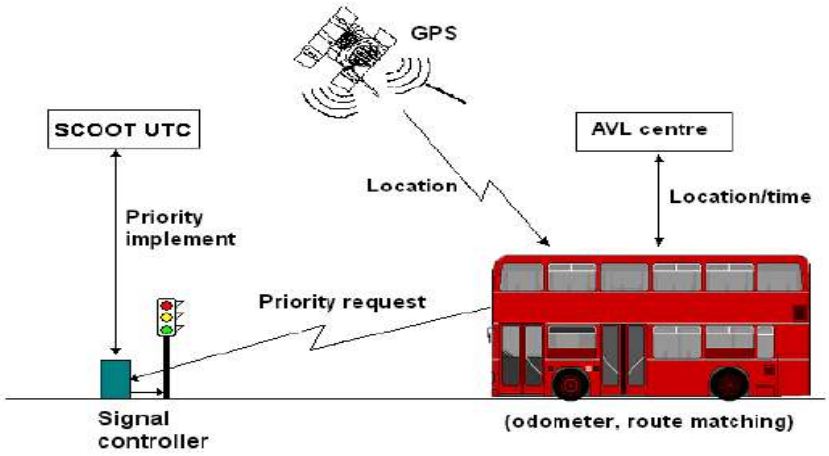
- 루프검지기, 송수신기를 이용한 차량검지를 통해 실시간 신호제어로 이루어지는 우선신호를 제공하는 시스템
- 검지된 입력자료에 따라 Green Extended, Phase Suppression, Early Green 전략들을 사용하여 독립교차로 위주로 적용하는 시스템으로 영국 런던과 윈체스터에서 사용
- 실시간제어하에서 다양한 우선신호 제어전략을 구현할 수 있는 장점이 있지만, 시간당 우선신호 제공 차량수가 제한되고, 일반차량의 지체에 대해 검증되지 않은 등 단점을 가지고 있음



<그림 1-5> MOVA 시스템

③ SCOOT(split cycle offset optimization technique)

– SCOOT는 실시간 최적화를 통해 우선신호를 제공해 주는 도시부 신호제어 시스템으로, 송수신기와 AVL, 차량 무게를 통해서 차량을 검지하며, 독립교차로 상에서 Green Extension, Early Green 전략이 인근 교차로 연동을 유지하면서 제공되는 시스템으로 영국 사우스 햄튼, 노리치, 리즈, 레스터에서 적용중임



<그림 1-6> SCOOT 시스템

- SCOOT은 시간대별 통행패턴에 대해 고려할 뿐만 아니라 단기교통상황에

도 잘 적응하고 있으나, 일반차량을 위한 녹색연동이 주어지기 때문에 피크시, 비피크시에 따라 버스우선신호가 유용하게 변하지 못하는 단점이 있음

④ SPNT(selective priority network technique)

- 루프검지기와 송수신기(transponders)를 이용하여 차량검지가 이루어지며 실시간으로 시스템이 운영

- 주로 Green Extension, Green Recall 알고리즘을 사용하여 버스가 다음 교차로를 통과 할 수 있는 신호시간을 제공하되, 승용차의 지체를 줄이기 위해서 녹색시간 연장을 제한하며, 한 주기에 한 번의 우선신호 요청을 허용함으로써, 일반차량에 대한 지체 보상을 허용하는 시스템임

⑤ SCATS(Sydney Coordinated Adaptive Traffic System)

- 루프검지기와 송수신기를 이용하여 차량검지가 이루어지며 실시간으로 시스템이 운영

- 주로 Green Extension, Phase Insertion알고리즘이 사용되며, 일반차량에 대한 신호 보상이 허용되고 있는 시스템이다.

⑥ OPTICOM

- 교차로 사이에 적외선 통신을 이용하여 실시간 감응 제어를 통해 우선신호가 제공되는 시스템으로 미국 포틀랜드에서 적용중임

- 우선신호가 요청되면 교차로에서는 Green Extension을 사용하여 우선신호를 제공하나 녹색 최대 연장시간은 7~10초로 제한되어 있음

- 긴급상황 시 구조시간 단축가능(구급차, 소방차, 구조대, 경찰차), 버스 등 정기운행차량 및 특수차량이 시간표에 맞추어 운행할 수 있는 장점에 비해 일반승용차의 지체를 유발하는 단점을 가지고 있음

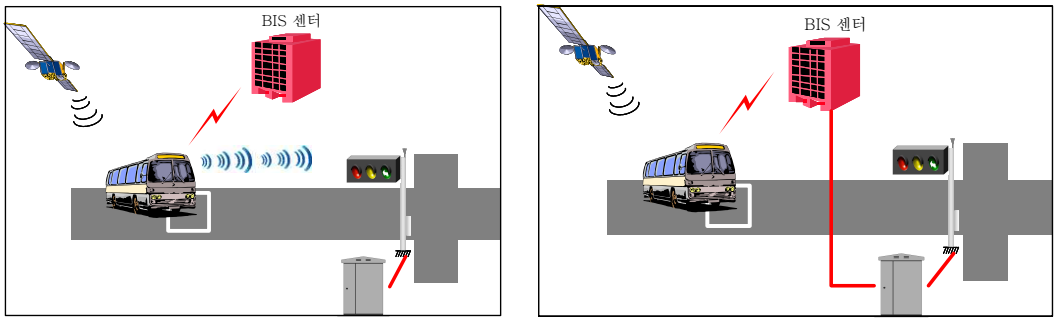
○ 우리나라에서도 중앙버스 전용차로에 대한 버스우선신호 제어전략을 수행한 사례가 있음

- 고양시의 버스우선 신호시스템은 ‘active priority’ 와 ’ passive priority’ 두 방식을 사용하여 ‘passive priority’는 검지 유무와는 상관없이 미리 정해진 신호 계획에 따라 우선 신호를 제공하고, ‘active priority’는 검지 유무에 따라 적절한 우선 신호를 제공함

- Local Intersection Level의 시스템에서는 차내의 단말기와 교차로의 RSE(Road Side Unit)과의 통신에 의해 에 수집된 버스 노선별 headway, schedule 등의 데이터를 센터로부터 수신

- RF transponder(or optical emitter, DSRC)의 통신장비를 이용하여 GPS 방식에 의해 검지된 데이터를 이용하여 교차로 신호제어기에 우선신호를 요청함

- Center Level 시스템에서는 센터에서 개별차량의 GPS 데이터를 수집하여 버스의 위치를 확인하고, headway와 schedule에 따른 우선신호를 지시

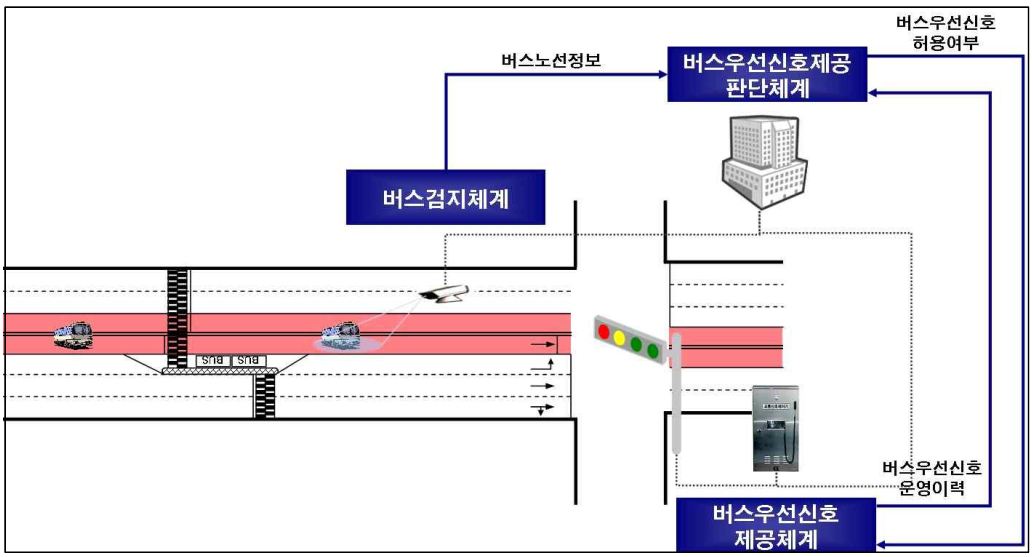


Local Level **Center Level**

<그림 1-7> 고양시 시스템 구성

- 청라/강서 간 버스우선신호 시스템에서는 실시간으로 버스의 위치확인을 위한 버스검지체계, Conditional Priority를 통한 버스우선신호의 제공 여부를 결정하기 위한 교통신호운영센터의 버스우선신호 제공 판단체계, Early Green, Green Extension을 구현하기 위한 교통신호제어기의 능동형 버스우선신호 제공체계를 구성

- 시스템 구축의 용이성, 향후 시스템의 개선 가능성 등을 고려하여 버스검지체계는 UTIS의 RSE를 활용한 능동형 버스우선신호 시스템을 적용하였으며, UTIS의 RSE를 통해 수집된 버스의 위치와 속도정보를 센터와 제어기로 전송하여 Passive Priority와 Active Priority를 수행



<그림 1-8> 청라-강서 버스우선신호 시스템 구성 예

2. 트램의 도입 사례 분석

○ 국내에서 트램 시스템의 운영은 대한제국 시기인 1899년 서울에서 최초의 노면전차를 개통한 이래 1968년 운행이 폐지된바 있으며, 본격적인 산업화 이전에 운영되었고, 현재와는 도로의 구조나 통행량, 통행패턴에서 많은 차이가 있으므로 우리나라의 트램 운영기술 및 제어전략은 전무함

○ 과거의 노면전차 개념을 벗어나지 못했던 시기의 트램과 현재의 현대적인 개념의 트램은 IT 기술, 무선통신 기술 등의 시스템 인프라 환경, 도심의 타 교통수단과의 연관성, 노면기술, 전기의 공급방식, 차량의 성능 및 운영비 등에서 많은 차이가 있음

○ 최근에 개발되어 운영되고 있는 현대적인 의미의 트램 시스템은 대중교통 운영측면에서 철도의 장점인 정시성을 보장하면서 이동성이 뛰어나고, 버스의 장점인 이용자의 접근성을 확보하고 있음

○ 이와 동시에 전기를 이용한 동력수단을 사용하여 친환경적이며, 교통약자와 보행자를 배려하여 교통복지측면과 교통 서비스의 질을 향상시킬 수 있는 시스템으로 발전됨

○ 트램은 더 넓게는 도시공간을 효율적으로 사용하고 도심의 재개발 수단으로 이용되어 한 도시의 상징으로써의 기능을 수행할 수 있어 국내에서는 현재 트램과 가장 유사한 형태의 대중교통 시설로써 BRT가 운영 중에 있으며, 최근에 국내의 여러 지방자치단체에서 예비타당성 조사와 함께 트램의 도입을 적극적으로 추진하고 있음

○ 해외에서 트램 시스템은 북미지역과 유럽 전역을 포함하여 거의 대부분의 선진국 도시에서 도입되고 있으며, 특히 2000년대 이후로는 트램의 르네상스라고 불려질 만큼 프랑스와 독일 등과 같은 유럽 여러 국가와 미국의 San Diego, Boston, San Francisco 등 16개 주요 도시에서 도심의 주요 교통수단으로 이용되고 있음

○ 미국 LA에서는 기존 철도망이 모두 제건 된 이후 LRT가 다시 도입되어 현재 3개 노선 이88.4km구간에서 <그림 1-9>과 같은 형태로 운행 중이며, 전용궤도와 일반차량이 혼용되는 병용구간이 있다. 해당지역의 신호제어 시스템인 ATSAC (Automated Traffic Surveillance and Control)를 이용하여 우대신호를 제공하고 있음

○ 미국의 Portland에서는 2개 노선의 노면전차가 11.6km 구간에서 운행되고 있으며 대부분 전용 궤도를 이용하나 일부 일반차량과 혼용되어 운행되고 있음. 신호운영 방식은 능동식 우선신호인 Green Extension과 Early Green 기법을 적용하여 운영 중임

○ 독일의 슈투트가르트는 71개 노선의 노면전차가 540km구간에서 대부분 전용궤도로 운영되지만 일부구간에서는 일반차량과 혼용되어 운행되고 있으며 실시간 신호제어 기법으로 이용하여 노면전차에 우선신호를 제공함

○ 독일의 뒤스부르크는 20개 노선의 노면전차가 146.5km구간에서 전용궤도를 이용하며 VS-PLUS라는 신호제어 시스템을 적용하여 각각의 교차로에서 우선신호를 제공하고, 독일의 뮌헨에서는 11개 노선의 노면전차가 75km에서 전용궤도를 이용하여 운행 중이며 BALANCE 시스템을 이용하여 제어함



<그림 1-9> LA 트램



<그림 1-10> 슈투트가르트 트램

○ 스웨덴은 고텐부르크에서 15개 노선의 트램을 22.km구간에서 운행 중이고 전 구간에 걸쳐 트램 전용차로를 이용하고 있으며, <그림 1-11>과 같이 하얀색으로 표출되는 트램 전용신호등을 사용하여 정지는 S, 진행은 화살표로 나타내 제어하고 있음





<그림 1-11> 고텐부르크 트램과 전용 신호등

○ 호주의 멜버른에서는 27개 노선의 트램이 총 249km구간에서 운행 중이며 전용구간과 일반차량이 함께 통행하는 병용구간도 있음. <그림 1-12>와 같이 트램은 T로 표출되는 전용신호등을 이용하는 동시에 호주의 실시간 신호제어 시스템인 SCATS을 적용하여 우선신호를 제공함



<그림 1-12> 멜버른 트램과 전용 신호등

○ 영국의 세필드에서는 3개 노선의 트램이 29km구간에서 도로상에서 트랙과 기차선로를 이용한 복합적인 형태로 운행 중. 트램은 전용신호등을 이용하며 <그림 1-13>와 같이 전용신호등은 정지 및 진행방향에 따라 5가지 형태로 표출하고, Super Tram 시스템이라는 신호제어 방식을 이용하여 노면전차에 능동식 우선신호를 제공함



<그림 1-13> 세필드 트램과 전용신호 표출 방식

○ 이탈리아 튜린은 10개 노선의 트램이 84km구간에서 운행 중이고, UTOPIA라는 실시간 신호제어 시스템을 이용하여 트램의 신호를 제어하며 운행하고 있음

○ 프랑스 낭뜨에서는 3개 노선의 트램이 41.1km구간에서 운행 중이며 전체노선의 60%는 전용차로를, 나머지 40%는 일반차량과 혼재되어 운영되고, 신호제어 기법은 Green Extension을 적용하여 트램에 우선신호를 제공함



<그림 1-14> 튜린 트램



<그림 1-15> 낭트 트램

○ 핀란드 헬싱키에서는 11개 노선의 트램이 79km구간에서 운행 중이며 일부 구간에서 일반차량과 혼용된다. 헬싱키의 지역 신호제어 시스템인 HeLMi(Helsinki Public Transport Signal Priority and Passenger Information)를 이용하여 트램에 우선신호를 제공함





<그림 1-16> 헬싱키 트램과 전용 신호등

3. 트램 운영 시스템 사례 분석

가. 트램의 신호운영 사례

○ 국내의 트램 운영사례는 대한제국 시기인 1899년 서울에서 최초의 노면전차를 개통한 이래 1968년 운행이 폐지된바 있으며, 본격적인 산업화 이전에 운영되었으나, 과거에 운영되었을 때와 현재는 도로의 구조나 통행량,

통행패턴에서 많은 차이가 있으므로 현재 우리나라의 트램 운영기술 및 제어전략은 전무하다고 볼 수 있음

○ 과거의 노면전차 개념을 벗어나지 못했던 시기의 트램과 현재의 현대적인 개념의 트램은 IT 기술, 무선통신 기술 등의 시스템 인프라 환경, 도심의 타 교통수단과의 연관성, 노면기술, 전기의 공급방식, 차량의 성능 및 운영비 등에서 많은 차이가 있음

○ 현재 국내에서 트램과 가장 유사한 형태의 대중교통 수단으로 중앙버스전용차로가 운영 중에 있으며, 최근에 국내의 수원시와 위례 신도시 등과 같은 8개 도시에서 예비타당성 조사와 함께 트램의 도입을 적극적으로 검토하고 있음

○ 해외에서 트램 시스템은 북미지역과 유럽 전역을 포함하여 거의 대부분의 선진국 도시에서 도입되고 있으며, 특히 2000년대 이후로는 트램의 르네상스라고 불려질 만큼 프랑스와 독일 등과 같은 유럽 여러 국가와 미국의 San Diego, Boston, San Francisco 등 16개 주요 도시에서 도심의 주요 교통수단으로 이용되고 있음

○ 현재 운영 중인 대부분의 트램 시스템은 세계 각 도시들의 대중교통 우선정책에 따라 트램에 교차로 통행 우선권을 부여하는 우선신호 형태로 신호운영을 수행하고 있음

○ 각 도시의 주요 간선도로에서 운영되고 있는 트램의 우선신호는 크게 고정식 우선신호 제어, 능동식 우선신호 제어, 실시간 신호제어 시스템으로 나눌 수 있음

○ 고정식 우선신호의 사례는 다음과 같음

- 캐나다 Calgary에서는 신호최적화 S/W인 T-7F 모형을 이용하여 사전에 계획된 트램의 운영원칙과 트램을 위한 신호시간계획을 작성하여 대중교통 우선신호를 수행하고 있음

- 이 방법은 지체 가중치에 경전철의 승객수를 고려하는 방식으로 트램에 신호시간 가중치를 부여함으로써 대중교통 우선신호를 제공함

- 핀란드의 Helsinki에서는 SYNCHRO 모형을 이용한 트램 최적 신호시간을

산출하여 고정식 우선신호 전략을 적용하고 있고, 고정식 우선신호와 조금 다른 개념으로 미국의 San Diego에서는 트램의 정류장에서 대기시간을 이용하여 트램차량이 교차로에서 정차하지 않도록 시스템을 운영

○ 능동식 우선신호의 사례는 다음과 같음

- 능동식 우선신호 운영은 일반적인 버스우선신호와 동일한 방식으로 트램의 위치정보와 교차로의 우선신호 시스템을 이용하여 트램차량에 우선신호 시간을 제공함

- 우선신호의 제공여부는 트램의 운전자가 직접 우선신호를 요청하기도 하고, 트램의 선행차량과의 거리, 승차인원 등을 고려하여 센터에서 우선신호 수행여부를 판단함

- 미국의 Portland와 Huston 등에서는 Green Extension 전략과 Early Green 전략을 통해 능동식 우선신호 제어를 수행하고 있고, 프랑스의 Nantes, Strasbourg, Paris 지역에서도 Green Extension 방식의 능동식 우선신호를 적용하고 있음. 그 밖에 일본의 구마모토, 스페인의 Madrid, 영국의 Sheffield 등에서도 능동식 우선신호를 통해 트램차량에 통행 우선권을 부여하고 있음

○ 실시간 신호제어 시스템과 연계하여 우선신호를 제공하는 사례

- 독일과 호주, 이탈리아 등에서 각 나라의 실시간 신호제어 시스템을 이용하여 우선신호 제어전략을 수행하고 있음

- 실시간 신호제어 시스템에서는 트램차량과 제어센터간의 무선통신과 신호기반 AVL(Automatic Vehicle Location)기술을 사용하여 트램의 위치와 우선신호 수행여부를 판단하고, 신호교차로의 지체를 최소화하는 신호제어 알고리즘을 적용하고 있음

- 대표적인 시스템으로 미국의 ATSAC(Automated Traffic Surveillance and Control), 호주의 SCATS(Sydney Coordinated Adaptive Traffic System), 독일의 VS(Verkehrs-System) 시스템, 독일의 BALANCE 시스템, 이탈리아의 UTOPIA 시스템 등이 있으며, 각각 고유의 트램차량과 일반차량의 검지시스템을 통해 실시간 위치정보를 수집하고, 트램의 우선신호 제어를 수행하고 있음

<표 1-3> 해외 트램 신호운영 현황

운영 방식	구분	노선수 (개)	연장 (Km)	신호제어전략 및 기법
고정식	캘거리	2	56	Honeywell
	헬싱키	11	79	HeLMi
	샌디에이고	3	86	Passive
	스트라스부르	5	55	Passive + Active(Green Extension)
능동식	휴스턴	1	12.1	Active(Green Extension, Early Green)
	포틀랜드	2	111.6	Active(Green Extension, Early Green)
	낭뜨	3	41.1	Active(Green Extension)
	파리	4	39.1	Active(Green Extension)
	구마모토	2	12.1	Active(Green Extension)
	토야마	1	7.6	Active(Green Extension)
	마드리드	4	36	Active(Green Extension)
	빌바오시	1	4.9	Active(Green Extension)
실시간 신호제어	멜버른	27	249	SACTS
	쉐필드	3	29	Supertram System
	슈투트가르트	71	540	Stuttgart System
	뒤스부르크	20	146.5	VS-PLUS
	뮌헨	11	75	BALANCE
	탈린	10	58	UTOPIA
	로스엔젤레스	3	88.4	ATSAC

나. 트램의 우선신호 전략 관련 연구

○ 지금까지 트램의 신호운영과 관련한 연구는 주로 버스 우선신호 제어와 유사한 형태의 신호제어 전략의 개발에 집중되어 왔다. 주로 트램이 신호교차로에 도착했을 때 트램차량에 우선현시를 제공하기 위한 비우선현시의 소거방법과 우선신호 이후의 비우선현시의 Restoring을 위한 방법론이 주요 제어전략의 핵심이고, 이와 동시에 실시간 신호제어 시스템과 연계하여 운영하는 방법이 연구되고 있음

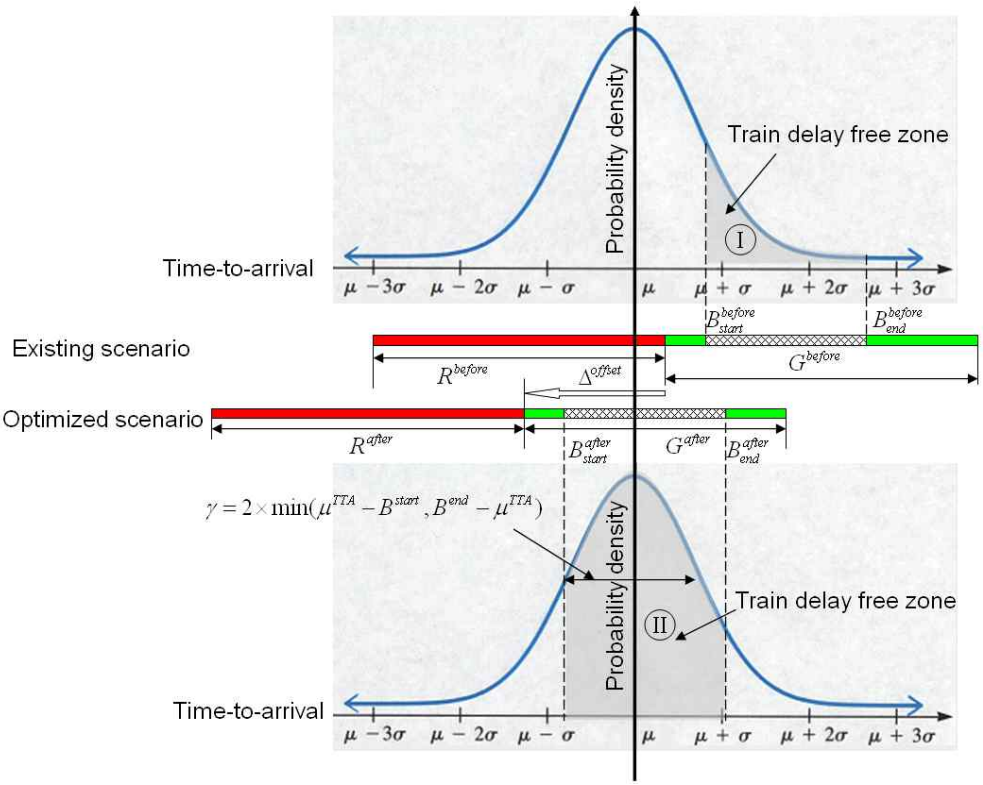
○ Susan(2002)의 Predictive Priority는 첨단통신 장비와 미국의 실시간 신호제어 시스템인 RHODES(Real-time Hierarchical Optimizing Distributed Effective System)를 이용한 우선 신호전략을 개발하였고, 기존의 우선신호 전략보다는 덜 공격적인 제어전략을 사용하여 Salt Lake City의 올림픽기간

동안 처음으로 운영하였음. 이 전략은 신호교차로에 접근하는 경전철 차량의 예측정보를 교차로에 제공함으로서 제어대상 교차로는 경전철 차량을 처리할 준비를 미리 수행할 수 있게 하고, 일반차량과 보행자의 추가적인 지연시간을 야기하지 않으며 경전철의 효율성을 보장하고 있음

○ Abebe(1996)는 일반 이동류과 함께 운영되는 경전철 시스템을 위한 신호교차로 운영에 대해 연구하여 경전철과 일반 이동류의 통합 신호운영전략을 제시함. 독립적으로 운영되는 경전철의 전용 신호등을 위해 신호제어기에서 신호시간을 계산하여 제공하며, 이때 경전철의 현시와 일반차량을 위한 현시의 상충을 고려한 현시순서를 신호계획에 포함하고 있음

○ Michael(2003)은 경전철에 적용이 가능한 고정식과 능동식 우선신호 전략의 종류를 구분하고, 이와 같은 신호제어 전략들에 대해서 미국 Richmond 지역을 대상으로 각각의 효과분석을 수행하였음. 연구결과에서 경전철의 지체 및 통행시간 최소화를 위해서는 Green Extension과 Phase Skipping 기법이 가장 유용한 전략이 될 수 있음을 연구결과로 제시함

○ Meng Li(2007)는 경전철을 위한 능동식 우선신호 제어에 대한 연구에서 경전철의 우선신호 시스템을 차량검지, 정류장 정차시간 예측, 우선신호 요청, 우선신호 제어기의 총 4가지 시스템으로 정의하고, 대중교통 차량의 우선신호의 영향을 최소화 할 목적으로 경전철 차량의 정류장 정차시간을 예측하여 우선신호 시간의 계산에 반영하였음. 이 연구에서 경전철 차량의 정류장 정차시간의 오류와 능동식 우선신호의 요청을 최소화 할 목적으로 경전철 차량의 연동폭을 최대화해서 적용하였으며, 이를 San Diego 지역에 적용시켜 시뮬레이션 분석을 수행한 결과, 약 67.4%의 경전철의 지체감소와 32.5%의 일반차량 지체감소 효과를 나타냄



<그림 1-17> 경전철 차량의 교차로 도착시간 예측 확률밀도 함수

○ Megn Li(2009)의 또 따른 연구에서는 경전철의 능동식 우선신호를 위해 차량의 주행상태를 지체상태, 정상상태, 경전철 차량이 존재하지 않는 경우로 구분하고, 각각의 차별화된 신호운영 방법론을 제시함. 이 연구에서 경전철 차량이 교차로에 도착하게 되는 통행시간을 예측하며, 이를 <그림 1-17>에서와 같이 확률밀도 함수로 표현함으로써 최적 능동식 우선신호 전략을 선택하는데 사용함

○ Frank Dreher(2007)는 영국 Nottingham 지역의 경전철을 중심으로 대중교통 우선시스템과 일반교통의 상호작용과 신호운영 계획에 대해서 연구를 수행하고, VISSIM 모형과 VISVAP 모형을 통한 사례중심의 평가를 수행

○ 정영제(2011)의 논문에서는 트램의 우선신호를 위한 전략으로 기존의 고정식 우선신호 제어와 능동식 우선신호를 동시에 적용한 트램 신호제어 전략을 개발하였음. 이 연구에서는 고정식 최적 신호시간 산출을 위해 트램의

운행특성을 고려하고. 기존의 MAXBAND를 수정한 신호최적화 모형을 제시함. MAXBAND 모형의 변수 및 제약조건을 수용함과 동시에 좌회전 현시순서, 정류장의 정차시간, 차량의 속도 등의 통행특성을 반영하였으며, 이러한 모형의 최적화 결과, 일정시간의 트램 연동폭을 확보하면서 승용차의 연동폭을 최대화 하였고, 트램의 정차시간을 고려한 교차로 간 옵셋을 산출하여 트램의 신호를 최적화 함

$MAX\ \ (b+k\bar{b})+pt$

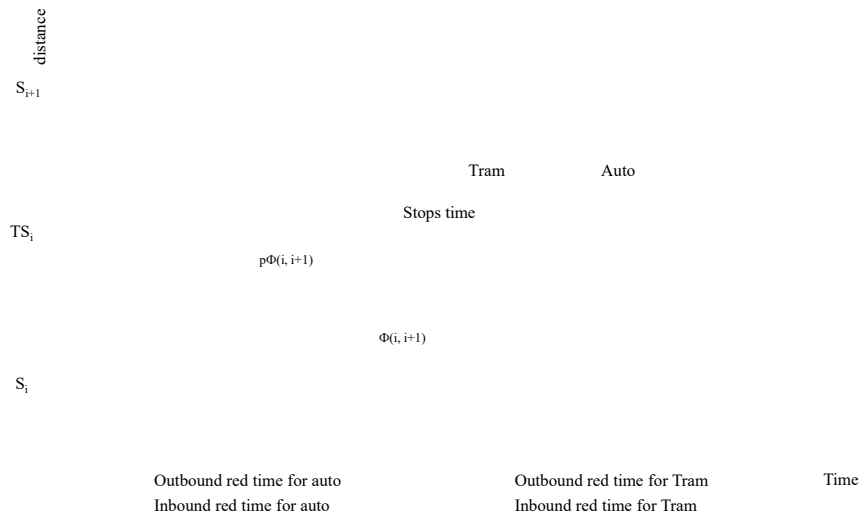
여기에서,

$b\,(\overline{b})$ = 일반차량의 연동폭

k = 진출방향 대비 진입방량 일반차량의 연동폭 크기의 비율

pt = 트램의 통행시간

○ 특히 정영제의 논문에서는 <그림 1-18>에서와 같이 트램 차량의 교차로 정류장i에서 트램의 정차시간을 반영한 트램의 연동폭을 확보하였고, 이때 1대의 트램 차량이 통과할 수 있는 최소한의 연동폭을 유지하였으며, 반면에 일반차량을 위한 연동폭은 최대화함으로써 주방향의 일반차량 연동기회를 확보하는 방법을 적용하였음



<그림 1-18> 트램과 일반차량의 연동폭 산출

○ 또한 이 연구에서 트램 전용차로 환경을 고려하여 트램의 능동식 우선신호 제어를 위한 최적 검지기 위치산정 모형을 개발하여 Early Green과 Green Extension 의 신호제어기법을 수행하기 위한 검지기의 최적위치를 해석적 방법을 적용하여 산출하였으며, 우선신호의 효과를 최대로 할 수 있는 트램차량의 검지위치를 제시함과 동시에 우선신호 전략의 선택기준도 제시

○ Hanseon(2003)은 능동식 우선신호 제어와 관련하여 열차의 도착시간 예측 알고리즘을 개발하고, 그것을 바탕으로 Preemption 알고리즘을 개발함. 이 알고리즘에서 현시의 최소시간과 보행현시의 최소시간을 고려하여 보행자와 운전자의 안전을 고려한 Transition Preemption Strategy (TPS) 전략을 제시

다. 트램 시스템 관련 연구

○ 트램 우선신호를 위한 시스템은 주행차로, 차량, 정류장, 센터시스템 등의 시설 측면에서 일반적인 대중교통 시스템과 차별화된 특징을 가지고 있음

○ 트램 시스템의 구성요소는 크게 차량, 정류장, 주행차로, 운영시설 등으로 구분할 수 있으며, 트램 우선신호 제어를 위해서는 이러한 트램 운영 시스템의 특징을 파악하여 신호제어 전략을 수립하는데 반영해야 함

○ <표 1-4>는 트램 운영 시스템의 운영방식 별 특징을 나타내고 있으며, 이를 신호제어 전략에 반영함

<표 1-4> 트램 운영 방식별 주요 특성

항목	구분	주요특성
차량 특성	궤도차량	• 기존 철도와 같이 궤도를 기반으로 운영함 • 교차로에서는 궤도분기를 위한 별도의 검지체계와 궤도제어 시스템이 필수적으로 필요함 (분기제어기)
	무궤도 차량	• 일반 차량과 같이 운영함 • 도로타입에 따라서 전용/혼용도로로 구분할 수 있음 • 교차로에서는 기존 신호제어기 신호체계가 적용됨
운영 방식	시계 운전	• 운전자가 탑승하여 시계를 기반으로 운전함
	무인 운전	• 운전자 없이 차량과 관제시스템 연동으로 운전함

		• 무인운전을 위한 별도의 차상시스템이 필수적임
주행 도로	전용 도로	• 트램 전용 도로 내 운영 • 교차로에서는 기존 신호시스템과 병행운영이 필요함
	혼용 도로	• 트램과 일반차량들이 혼재해서 운영
	분리 도로	• 별도의 분리막, 입체교차로 등 일반차량과 분리됨. • 기존 도로의 교통신호제어시스템과는 무관하며 별도의 관제 시스템에서 운영함
정류장 시설	근측 정류장	• 교차로 유출부에 위치 • 정지신호로 인한 시간손실을 최소화하나 감응식 제어에 불리
	원측 정류장	• 교차로 유입부에 위치 • 승하차 시간과 정지신호의 중복 가능성이 커짐
	가로중간 정류장	• 신호제어에 유리하나 승객의 접근성에서 불리

1) 트램 차량

○ 트램차량의 특징은 전차선에 의해 전력을 공급받아 기본적으로 도로와 분리된 노면 또는 전용궤도 위를 주행하는 것으로 기본적으로 일반 도로교통과 노면을 공유하여 동일 노면을 따라 개설된 주행로를 전차가 주행하는 방식을 취하고 있고, 대중교통 우선신호와 특정 차선 등의 운행 공간을 가지고 있음

○ 트램은 일반차량과는 다르게 정류장 정차시간 및 출발시간, 제동시간, 제동거리가 긴 특성을 갖고 있으며, 특히 전용차로를 구성할 시에는 회전차량과 상충의 문제가 발생하고, 일반차량과는 주행속도가 다르기 때문에 일반 교통류와 통행특성이 다르게 나타남

○ 일반적인 트램차량의 속도는 일반차량 및 보행자와 혼재된 경우와 전용차로를 운행하는 경우에 따라 평균주행속도에서 큰 차이를 나타내므로 시스템의 특성을 신호최적화에 반영해야 함

○ 일반차량 대비 다른 주행성능으로 인해 발생하는 상충을 방지하기 위해 교차로 신호운영 및 대중교통의 우선처리 시 특성을 고려한 대책을 세우게 되고, 일반적으로 고속의 주행속도를 가지는 차량은 입체교차로로 처리되며, 배차간격이 길거나 불가피할 경우 우대신호를 이용함

○ 낮은 속도에서는 일반적으로 우선신호를 적용하며, 일반교통류와 대중교통이 혼재된 경우에는 트램을 위한 우선신호를 제공하지 못함

○ 차량의 주행성능은 최대 주행속도, 감·가속 능력, 응급상황 시 급정거 능력 등 다양한 관점에서 고려할 수 있고, 트램 신호제어 전략에서 고려해야 할 사항은 다음과 같음

① 일반차량 대비 낮은 주행속도

② 일반차량 대비 낮은 감·가속 능력

③ 정류장에서 일정시간 동안 정차

④ 차량군을 형성하지 않고, 앞 차의 영향을 받지 않음

2) 트램 주행차로

○ 트램의 주행차로는 트램차량의 속도와 정시성, 안전성을 좌우하는 요소로써 일반적인 열차운영 시스템인 궤도시스템과 유사하게 전용차로를 이용하도록 계획하지만, 도로의 기하구조와 가용토지의 제한으로 전용차로를 이용하지 못하고 일반차량과 도로를 공유하는 경우도 존재함

○ 이러한 전용차로의 설치여부에 따라 트램 시스템의 운영방식과 신호체계가 결정됨

○ 트램의 주행차로의 종류는 크게 입체전용차로, 전용차로, 평면전용차로, 혼합차로로 구분할 수 있고, 본 연구에서는 이 중에서 전용차로와 평면전용차로를 가정하여 연구를 수행함

① 입체전용차로 (Fully Grade-Separated Exclusive Transitways)

○ 가장 높은 수준의 대중교통 서비스를 제공할 수 있으며, 지하철처럼 용지를 확보하여 독립적으로 계획 및 건설하는 형태가 있고 기존 간선도로를 이용하여 고가도로, 지하도로 형태로 건설되는 경우가 있음

○ 신호교차로에서 일반차량들과 완전히 분리되기 때문에 타 이동류와의 상충 및 교통신호로 인한 교차로 정차를 경험하지 않으며, 일반차량의 혼잡으로 인한 도로상의 정체에 영향을 받지 않으므로 가장 높은 주행속도와 정시성을 보장 받을 수 있음

○ 하지만 이러한 별로의 전용도로를 건설하기 위해서는 입체전용차로 설치를 위한 부지매입과 건설비용이 대규모로 투입되므로 트램 시스템 도입의 장점인 낮은 설치비용과 모순되는 상황이 발생함

② 전용차로(Designated Arterial Lanes)

○ 트램 노선상의 일부차로를 트램 전용으로 지정하여 운영하는 방식으로 트램 노선이 차로확보가 용이한 간선도로 상에 계획되었을 경우 사용
○ 혼합차로에 비하여 적정한 운행속도와 정시성을 확보할 수 있으나 일반차량과 같은 평면에서 운영되기 때문에 신호교차로에 의해서 일반차량과의 상충 및 회전의 제약이 따르게 됨
○ 가로변에 차선을 설치하였을 경우, 주정차 차량, 진출입 차량, 우회전 차량과 상충되어 운행속도가 저하되는 단점이 있음
○ 가장 일반적인 형태는 도로중앙에 버스전용차로를 설치하는 형태이며 주변 교통여건에 따라 역류형 차로를 설치하는 경우도 있음

③ 평면전용도로 (At-Grade Transitways)

○ 일반차량과 동일 평면에서 물리적으로 분리된 형태로 운영되며, 일반차량과 완전히 분리되기 때문에 현저하게 빠른 운행속도를 유지할 수 있고 안전측면에서도 뛰어남
○ 하지만 교차로에서는 교차되는 일반차량들과 상충되기 때문에 교차로 대기시간이 발생

④ 혼합차로(Mixed Flow Lanes)

○ 가장 낮은 수준의 트램 차선 형태로써 기존의 도로 이동류들과 차로를 공유하는 형태
○ 일반차량과 같은 차선을 사용하기 때문에 타 이동류와의 상충이 발생하고, 신호교차로에서 대기행렬로 인한 지체를 피할 수 없음
○ 부분적인 혼용구간에서는 트램의 일반차량과의 상충과 지체를 줄이기 위해 Queue Jump나 Bus Gate 신호를 운영하여 트램이 일반차량의 대기행렬을 피해 교차로를 우선적으로 통과할 수 있도록 운영

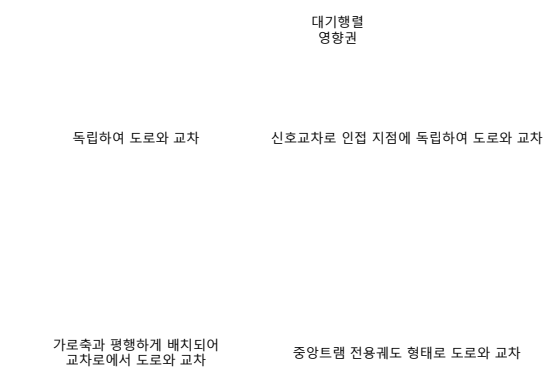
○ <표 1-5>은 주행차로의 종류와 그에 따른 특징을 나타내고 있음

<표 1-5> 주행차로의 종류

구분	특징
입체 전용차로	- 교차로에서도 일반 차량들과 완전히 분리되어 있고, 도로상의 정체에 영향을 받지 않으므로 가장 높은 주행속도와 정시성을 보장 받음
전용 차로	- 기존 간선 도로의 일부차로를 트램 전용으로 설정하여 운영하는 방식 - 혼합차로 보다 개선된 운행속도와 정시성 확보가 가능하나 교차로 이동성이 제약
평면 전용 차로	- 평면 전용도로는 일반차량과 동일 평면에서 완전히 분리되기 때문에 현저하게 빠른 운행속도를 유지할 수 있고 안전측면에서도 뛰어남 - 교차로에서는 일반차량들과 상충되기 때문에 교차로 대기시간이 발생
혼합 차로	- 가장 낮은 수준의 트램차로 형태로써 기존의 교통류와 시스템을 공유하는 형태임 - 일반차량과 같은 차선을 사용하기 때문에 가로변에서 정체가 발생되고 교차로에서 대기행렬로 지체 발생

○ 대중교통의 주행차로 종류와 더불어 주행차로의 위치 또한 신호운영 및 우선처리를 위해 고려해야함

○ 일반적으로 경전철 주행차로의 위치로 인한 교차로 유형은 <그림 1-19>와 같이 독립교차로, 교차로와 인접한 독립교차로, 가로와 평행하게 궤도가 위치하는 교차로, 도로중앙에 전용궤도가 위치하는 교차로로 구분함



<그림 1-19> 트램 주행차로의 위치

○ 도로교통과 궤도교통을 모두 포함한 트램 주행차로 위치는 다음과 같이 구분됨

① 전용의 주행차로 없이 일반차로에서 운영되는 경우

② 도로중앙의 전용차로 및 궤도: BRT의 중앙버스전용차로, 경전철 중앙전용궤도

③ 도로 내 가로변의 전용차로 및 궤도: BRT의 가로변버스전용차로

④ 가로축과 평행하게 설치된 대중교통 주행차로

⑤ 교차로와 떨어져서 설치된 대중교통 주행차로

⑥ 독립적으로 설치된 대중교통 주행차로

○ 대중교통 주행차로의 위치에 따라 교차로 신호운영 시 고려해야할 사항으로는 도로 중앙의 전용차로의 경우 일반차로의 좌회전 차량과의 상충이 발생하게 되고, 회전차량과 대중교통 차량과의 상충은 현시순서의 제약조건으로 작용함

○ 이러한 경우에 일반적으로 일반차량을 위한 좌회전 현시의 처리는 비보호좌회전을 금지시키고 보호좌회전으로만 처리하며, 좌회전현시와 직진현시는 현시를 분리하여 운영

○ 현시운영과 대중교통 차량의 처리가 여의치 않을 경우에는 좌회전을 금지하여 상충을 최소화하는 방법을 사용하기도 하는데, 이외에도 일반 교통류의 좌회전 차량을 처리하기 위해서 신호교차로 이전에 별도의 차로를 설치하여 군집교차로 형식을 적용하기도 함

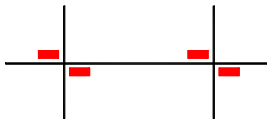
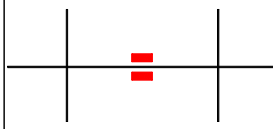
3) 트램 정류장

○ 트램 정류장은 일차적으로 승객의 접근 및 대기를 위한 공간으로써 승하차와 환승을 위한 공간일 뿐만 아니라 하류부 신호교차로의 신호를 위한 대기공간으로도 활용될 수 있음

○ 트램의 정류장을 디자인할 때 고려해야할 사항으로 정류장의 형태와 기능성, 디자인뿐만 아니라 승객을 위한 정보제공, 타 이동류와의 상충을 최소화하는 위치, 효율적인 신호운영을 위한 위치를 고려해야 함

○ 특히 트램 정류장의 위치는 하류부 교차로의 신호운영에 영향을 미치며, Near-Side, Mid-Side, Far-Side로 구분할 수 있음

<표 1-6> 정류장의 위치별 특성

구 분	교차로 근측 정거장 (Near-Side)	교차로 원측 정거장 (Far-Side)	가로중간 정거장 (Mid-Block)
개념도			
특 징	교차로 유출부에 위치	교차로 유입부에 위치	교차로 간 가로중간 지점에 위치
장 점	- 교차로 정지신호에 의한 시간손실과 승하차시간의 중복으로 지체 최소화 - 후속차량을 위한 대기공간 확보가능 - 교차로의 기존 횡단보도와 연계설치 가능 - 교차로 방향별 버스이용객의 접근용이	- 좌우회전 버스노선에 대한 서비스제공이 가능 - 교차로의 기존 횡단보도와 연계설치 가능 - 교차로 방향별 버스이용객의 접근용이	- 좌우회전 버스노선에 대한 서비스제공이 가능 - 역방향 환승승객의 이동거리 감소 및 소규모 환승센터 설치가 용이 - 후속차량을 위한 대기공간 확보 가능 - 가로중간에 버스정거장설치로 교차로의 교통처리 유리
단 점	- 좌우회전 버스노선에 대한 서비스제공 불리 - 역방향 환승승객의 이동거리가 증가 - 교차로 통과 시 도류화 공간이 없음	- 교차로 정지시간과 승하차시간의 중복으로 지체 증가 - 후속차량을 위한 대기공간 확보가 어려워 교차로의 Spill-Back 현상 우려 - 역방향 환승승객의 이동거리 증가 - 교차로 통과 시 도류화 불리	- 추가적인 횡단보도 설치가 필요 - 횡단시간에 따른 지체 증가 - 버스이용객의 각 방향별 접근성 감소 - 가로구간 길이가 짧을 경우 적용하기 곤란

○ 근측 정류장은 교차로 정지신호에 의한 신호 손실과 승하차시간 중복으로 지체를 최소화할 수 있고, 후속차량을 위한 대기공간을 확보할 수 있음. 또한 교차로의 기존 횡단보도와 연계하여 설치할 수 있으며, 교차로 방향별 버스 이용객의 접근이 용이함. 그러나 좌/우회전 버스노선에 대한 서비스 제공에 불리하며 역방향 환승승객의 이동거리가 증가하는 단점이 있음

○ 원측 정류장은 좌우회전 버스노선에 대한 서비스 제공이 가능하고, 교차로

의 기존 횡단보도와 연계하여 설치할 수 있으며, 교차로 방향별 버스 이용객의 접근이 용이함. 그러나 교차로 정지신호에 의한 신호 손실과 승하차 시간 중복으로 지체가 증가하며 후속차량을 위한 대기공간을 확보하기가 어려워 Spill-Back현상이 발생하기 쉽고, 역방향 환승승객의 이동거리가 증가하는 단점이 있음

○ 가로중간 정류장의 경우 일반적으로 여러 개의 버스노선이 통과함으로써 비교적 긴 승강장을 필요로 하는 도심부에 많이 사용되며, 좌·우회전 버스노선에 대한 서비스제공이 가능하고, 후속차량을 위한 대기공간을 확보할 수 있음. 또한 역방향 환승승객의 이동거리가 감소하며, 가로중간에 버스정거장 설치로 교차로의 교통처리에 유리함. 단점으로는 추가적인 횡단보도 설치가 필요할 수 있고, 횡단시간에 따른 지체가 증가하고 버스이용객의 각 방향별 접근성이 감소하며, 가로구간 길이가 짧을 경우 적용하기가 곤란함

○ 트램 정류장의 정차시간과 관련하여 서준석(2003)의 연구에서는 버스 정차시간의 구성요소를 정의하고, 차량제원 및 특성, 가감속 시간, 출입문 개폐시간, 승하차시간, 정차면 수에 따른 정차시간을 조사/분석함

○ 이 연구에서 서울시 강남구 교보타워사거리의 정류장 버스 정차시간 분포를 관측하여 통계적 검증을 수행한 결과, 버스의 정차시간은 정규분포를 따르지 않으며 적합한 분포가 없고, 오전첨두와 오후첨두의 정차시간은 15초와 20초 사이에서 가장 많이 나타남. 또한 트램 차량이 1량으로 편성되어 있을 경우에는 버스와 유사한 정차시간을 적용할 수 있지만, 트램의 차량 편성수에 따라 트램의 정차시간은 달라질 수 있음

○ 미국의 USHCM(2000)에서는 정차시간을 승객에게 서비스하기 위해서 정지한 시간으로 정의하고, 그 시간에는 차량의 문을 개폐하는 시간도 포함하며, 버스에 입석자리가 있는 경우에는 탑승 소요시간을 0.5초 추가해야 한다고 권고하고 있음

$$t_d = P_a \times t_a + P_b \times t_b + t_{oc}$$

여기에서,

t_d = 정차시간 (초)

P_a = 첨두 15분간 최고 혼잡한 출입문을 통해 승차한 승객수

t_a = 승객 승하차시간 (초/인)

P_b = 첨두 15분간 최고 혼잡한 출입문을 통해 하차한 승객수

t_b = 하차승차시간 (초/인)

t_{oc} = 출입문 개폐시간 (초)

4) 트램 운행관리 시설

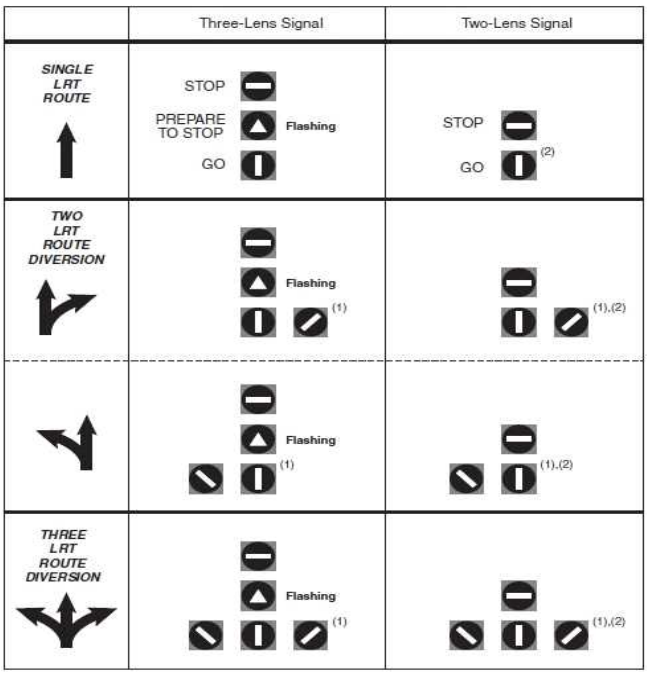
- ○ 트램의 운영관리 시설은 크게 열차 운행을 위한 열차운행관리 센터, 교통신호 운영을 위한 교통센터, 현장시스템으로 구분할 수 있음
- ○ 트램의 열차운행관리 센터는 트램차량의 배차와 운행간격, 운행속도 등을 관리하고, 이를 위해 차량의 운행정보를 수집하고 관리하는 역할을 담당함
- ○ 완전 입체전용차로 시설이 아닌 경우, 트램차량은 일반차량과 신호교차로를 공유해서 사용하기 때문에 일반 교통류의 신호제어를 담당하는 교통센터와 연계해서 운영해야 함. 따라서 두 센터간의 긴밀한 협조와 상호 보완의 역할은 중요하며, 열차운행 스케쥴, 실시간 운행정보, 신호제어 정보, 검지기 정보 등을 공유
- ○ 트램의 현장시스템은 신호운영과 관련한 신호제어기, 신호등, 각종 안전 및 규제 표지판, 전용차로 시설 등이 있으며 트램의 신호운영계획과 관련하여 동시에 설계되고 설치되어야 함
- ○ 국내에서 수행된 울산의 노면전차 시스템 기본설계를 살펴보면, 차량의 운행 위치 및 운영정보를 신호관제설비에서 실시간 검지 및 확인하여 ITS 도로교통 관제센터로 송신함. ITS 도로교통 관제센터에서는 신호제어기와 연결되어 검지기 정보, 제어기 상태정보, 신호제어 변수, 신호제어 명령을 주고받으며 신호제어를 수행하도록 구성
- ○ 전주 노면전차 사업의 우선신호체계 기본설계를 살펴보면 차량에 GPS 장

치, 지상설비 간 무선통신장치, 운전자 메시지 표시장치를 설치하고, 지상에는 차상안테나와 Non-Vital 통신을 위한 통신장치, 중앙관제센터 전송장치를 설치하여 차량의 운행정보를 수집하도록 함. 신호제어기와의 통신 인터페이스는 노면전차 중앙관제센터에서 실시간 열차운행 위치를 파악하여 교통관제센터로 전송하는 방식을 택하고 있으며, 교통관제센터에서는 ITS 시스템을 통해 전주시의 교통상황을 관제하고, 차량의 우선 신호를 제공함

○ 차량등은 배열, 렌즈개수 및 용도에 따라 횡형이색등, 횡형삼색등, 횡형사색등, 종형이색등, 종형삼색등, 종형사색등, 가변형 가변등, 경보형 경보등이 있고, 배열 형태에 따라 횡형식과 종형식으로 구분

○ 국내에는 트램과 가장 유사한 형태의 대중교통을 위한 신호등으로 중앙버스전용차로 구간의 버스전용신호등이 설치되어 운영되고 있음

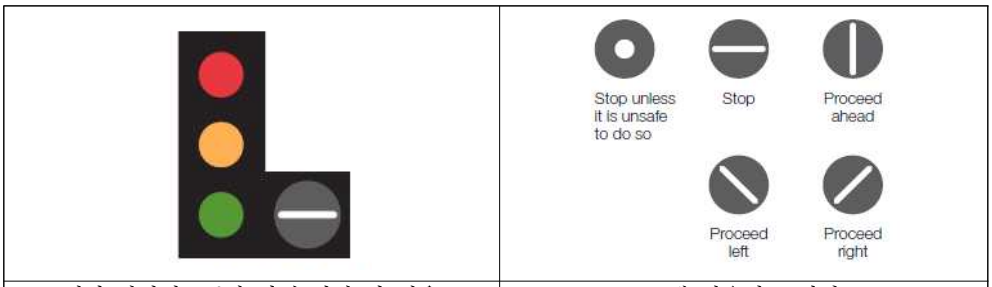
○ <그림 1-20>은 미국 MUTCD(Manual on Uniform Traffic Control Devices)의 경전철 신호등 기준을 나타낸 것으로 경전철 신호등 색상은 흰색이며, 경전철의 선로수에 따라 신호등 기준을 정하고 있음



<그림 1-20> 미국 경전철 신호등 운영 기준

○ 영국은 트램 운전자를 위한 신호등을 일반 차량운전자의 신호등과 구분하기 위하여 백색 점과, 백색 막대기 모양으로 운영하고 있음

○ <그림 1-21>에서 노면전차의 백색 점은 안전하지 않으면 멈추라는 의미이고, 백색의 막대기 모양의 신호등은 정지와 진행을 의미



일반 차량신호등과 함께 설치 한 경우	트램 전용신호 의미

<그림 1-21> 영국의 노면전차 전용신호*

○ 파리의 T3 노선 트램 우선신호 시스템에서는 보행자와 자동차의 진입을 경고하기 위해 교차로에 보행자 및 자동차용 신호기를 설치하여, 노면전차가 교차로에 접근할 때마다 자동차 운전자에게 적색 신호를 등기함

○ <그림 1-22>에서처럼 트램의 제어를 위해 도로의 중앙에 횡형 삼색등을 종형식으로 설치하여 트램의 교차로 정지와 출발을 제어함



노면전차 신호기 및 보행자/자동차용 신호기　　보행자/자동차용 신호기 및 신호기 표지

<그림 1-22> 파리 T3 노선 트램 우선신호 운영현황*

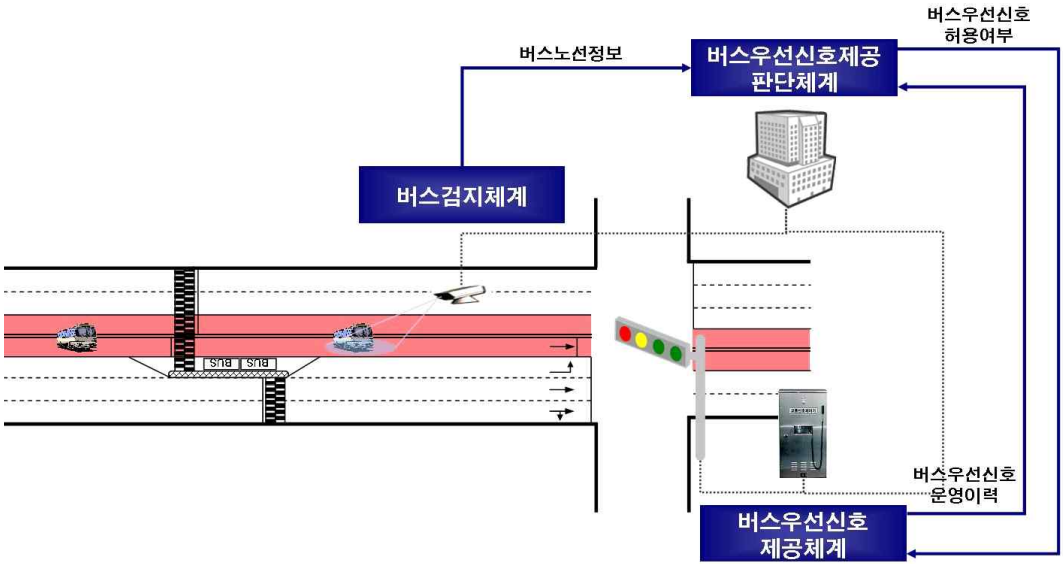
* 자료 : 한국철도기술연구원(2012), 노면전차 관련 도로교통법 시행령·시행규칙 개정을 위한 자료조사

5) 트램 차량 검지체계

- ○ 트램의 신호운영을 위해 사용되는 교통정보 수집장치는 일반차량의 통행관련 제반 정보수집뿐만 아니라, 트램 전용차로를 운행하는 트램차량의 위치정보를 수집하여 트램 우선신호제어에 활용함
- ○ 일반적으로 도로를 주행하는 차량들에 사용되는 차량 검지체계는 크게 지점 검지체계와 구간·공간 검지체계로 나누어짐
- ○ 지점검지체계는 도로상의 한 지점(point)의 교통류특성을 검지하는 검지기로, 설치지점의 교통량, 속도, 점유율 등을 검지하고, 여러 지점의 검지기 자료를 이용하여 다양한 2차 정보의 추정이 가능하며, 센서의 매설 유/무에 따라 매설형과 비매설형으로 나눌 수 있음
- ○ 매설형 검지기로 루프검지기와 자기 검지기 등이 있으며 비매설형 검지기는 영상검지기, 적외선검지기, 초음파검지기, 레이더검지기기 등이 사용됨
- ○ 구간·공간검지체계는 도로 구간의 통과시간을 수집하기 위한 검지기로 차량 위치파악기술과 파악된 위치정보 교환을 위한 통신기술의 통합이 필요함. 최근에 GPS 방식과 Beacon을 이용한 방식으로 차량의 위치를 파악하고, DSRC(Dedicated Short Range Communication), 무선랜(Wireless Local Area Network)통신, WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments) 등과 같은 양방향 무선통신 기술을 이용하여 차량과 노변장치(V2I, Vehicle to Infrastructure), 차량과 차량(V2V, Vehicle to Vehicle)간의 통신을 이용하여 정보를 전달함. 도로구간의 인프라에 따라 지검검지체계는 특정지점의 정보를 수집하여 통행속도 및 교통량, 점유율 등의 교통정보를 산출하고, 특정 구간의 정보를 수집하여 교통정보를 산출함
- ○ 성능 측면에서 검지기별로 수집되는 교통정보의 정확도는 비슷하나 유지관리의 용이성 면에서 공간검지방식이 우수하고, 설치 및 운영비 면에서는 현재 사용되고 있는 지점검지방식이 저렴함. 따라서 일반차량의 경우에는 현재 사용되고 있는 기본적인 지점검지체계를 유지하면서 수집되는 데이터를 활용하는 방식을 따르고, 트램차량의 경우에는 전용차로의 정확한 검지위치 데이터가 필요하므로 데이터의 정확성이 우수하고, 유지·관리가 용이

한 구간·공간검지체계를 사용하여 개별 트램차량의 위치정보를 수집함

- 본 연구의 트램차량 우선신호와 유사한 검지시스템으로 BRT 시스템이 있으며, 국내·외 신호제어 시스템에서는 각종 지점 검지방식과 공간 검지방식의 데이터를 활용한 우선신호 시스템이 사용되고 있음
- 국내 검지기술개발 현황은 기존 ITS 환경 하에서는 다양한 지점검지체계(루프검지기, 영상검지기, 적외선검지기, 지자기검지기, 초음파검지기, 초단파검지기)를 활용하여 한정된 지점의 교통정보를 수집함
- 지점검지체계를 통해서도 대기행렬길이, 속도, 통행시간과 같은 정보의 수집이 가능하나 이는 교통정보 수집을 위한 별도의 수집장치를 필요로 하고, 지점정보를 기반으로 산출된 구간정보는 정확성에 한계가 있으며, 검지기 노후화, 단선, 도로공사, 포장 등의 이유로 유지관리가 힘들어 정보수집에 문제를 나타냄
- 국내에 트램 시스템이 설치된다면 그와 가장 유사한 교통 시스템으로써 최근에 설치되어 운영되고 있는 BRT 시스템이 활용될 것이며, BRT 시스템에 적용된 차량 검지체계를 활용하여 트램 시스템에 적용할 수 있음
- 국내의 트램차량의 정보수집과 가장 유사한 예로 고양시의 BRT 시스템에서는 ‘Active Priority’와 ‘Passive Priority’ 두 방식을 사용하여 우선 신호를 제공하고 있음. BRT의 Local Intersection Level에서는 차내의 단말기와 교차로의 RSE(Road Side Unit)과의 통신에 의해 수집된 버스 노선별 headway, schedule 등의 데이터를 센터로부터 수신하고, RF transponder(or optical emitter, DSRC)의 통신장비와 GPS 방식에 의해 검지된 데이터를 이용하여 교차로 신호제어기에 우선신호를 요청함
- Center Level의 시스템에서는 신호운영 센터에서 개별차량의 GPS 데이터를 수집하여 버스의 위치를 확인하고, 각각의 Headway와 Schedule에 따른 우선신호를 지시함
- <그림 1-23>에서는 국내 BRT 시스템에서 각 개체간의 차량정보를 수집하고 제공하는 예를 보여주고 있음



<그림 1-23> BRT의 차량정보 수집 체계 구성 예

4. 간선도로 신호최적화 관련 연구

○ 간선도로 신호최적화 모형은 목적함수에 따라 교통류의 지체를 최소화하는 모형과 간선도로의 연동폭을 최대화하는 두가지 모형으로 나눌 수 있음

○ 간선도로 축에서 연동폭을 확보하기 위한 신호최적화 모형으로써 주방향의 연동폭을 최대화시키는 목적함수를 포함한 모형에는 MAXBAND, MULTIBAND, BANDTOP, PASSER-II 등의 모형이 있음

○ MAXBAND 모형은 간선도로의 연동폭을 최대화하며, 혼잡정수선형계획법을 이용하여 최적해를 도출하는 신호최적화 모형임. 진입과 진출방향에 대한 구분 없이 전체 연동폭을 최대화하는 MAXBAND 초기모형의 개발 이후, 방향별 연동폭의 범위를 조정할 수 있는 확장모형으로 MAXBAND MILP-2가 제시된 바 있으며, MAXBAND MILP-2를 기반으로 방향별 교통류율에 따라 링크별 연동대역폭을 달리할 수 있는 MULTIBAND 모형이 제시됨

○ MULTIBAND는 MAXBAND MILP-2가 전체 교차로에서 고정된 연동폭을 유지하도록 설계된데 비해 개별 링크에서 연동폭의 크기를 교통류율에 따라

달리할 수 있도록 연동폭 제약식을 구성함. 간선도로 축에서 회전교통류로 인해 개별 링크의 직진 교통류율은 각기 다르며, 이때 MULIBAND를 이용하여 각 링크별로 중방향비가 최적화된 연동폭을 확보할 수 있음. MULIBAND는 MAXBAND가 전체 간선도로 축을 방향별로 균일한 차량군이 주행한다는 가정을 해결하고자 하였으며, 연동폭의 중심선을 기준으로 개별링크의 방향별 연동폭 비율을 최적화할 수 있도록 설계됨

- Meng Li(2009)의 연구에서는 MAXBAND 모형에 기초하여 신호연동화를 위한 시뮬레이션 기반의 최적화 모델을 개발하였고, Cell Transmission을 기반으로 한 Simulation-Based Genetic Algorithm을 개발하여 간선도로 내의 시스템 총지체를 감소시키기 위한 최적 신호시간을 계산하여 적용
- 연동폭 최대화를 위한 신호최적화 모형이 실제 교통상황을 지나치게 단순화 시키는 문제점을 개선하기 위해서 H.S. Tssay와 L.J. Lin은 BANDTOP 모형을 개발하였으며, 사용자에 의하여 주관적으로 주어지는 대기차량 소거시간을 차량도착형태를 감안하여 모형 자체에서 계산하도록 하고, 여유녹색시간을 대기차량소거시간과 차량군이 도착하기 전에 도착하는 차량의 지체시간으로 처리하여 여유녹색시간을 새롭게 정의하였음
- PASSER-Ⅱ모형은 간선도로의 신호계획을 최적화해주는 거시적 교통류 모델로 양방향의 통과폭을 최대화하는 모형으로 통과폭을 최대화하면서 지체를 줄이는 신호주기, 신호시간, 현시순서, 옵셋을 산출하며, 방향별 통과폭에 가중치를 두어 변수들을 최적화 함
- PASSER-Ⅱ모형과는 달리 연동기회(PROS, Progression Opportunities)를 최대화하는 모형으로 T-7F는 연동의 기회를 방향별, 교차로별, 단위시간별로 분할하여 계산하는 방법을 사용하여 간선도로의 신호를 최적화하고 있으며, 지체 및 정지수와 같은 목적함수를 결합하여 최적화를 수행할 수 있음
- Zong Tian(2003)의 연구에서는 간선도로의 전체 시스템 연동을 효율적으로 하기 위해서는 시스템 전체를 최적화하는 것 보다 부분적으로 시스템을 나누어 최적화하는 것이 더 효과적임을 주장하였고, 각각의 서브시스템을 나누는 기준과 부분 최적화 방법론을 제안함

○ 김영찬(1997)은 MAXBAND 모형을 기초로 대기차량소거시간을 최소화하여 간선도로의 지체도를 최소화하는 모형으로 KS-SIGNAL을 개발하였음. 이 모형에서는 간선도로의 신호연동화를 위해 지체를 최소화하는 주기, 녹색시간, 옵셋, 현시를 산출할 수 있으며, 특히, 비선형 형태의 지체를 대기차량소거시간을 이용하여 선형화하여 지체를 감안하지 못하는 연동폭 최대화 모형을 단점을 보완함

○ 따라서 이러한 간선도로 최적화 연구를 참고하여 트램의 통행 효율성을 높이고, 동시에 일반차량의 효율성 저하를 막을 수 있는 신호최적화 방안을 모색함

5. 신호운영 평가 시스템 관련 연구

가. HILS 시스템 정의 및 특징

○ HILS(Hardware-In-Loop Simulation system)라는 개념의 정의는 평가하고자 하는 실제 Target System을 대체한 실시간 시뮬레이션으로, 우주항공 및 방위산업 분야에서 실세계에 존재하거나 구상중인 평가대상 장치나 시스템을 모형에 연결하여 실시간으로 시뮬레이션 하는 기술로 개발되었으며, 교통 분야에 응용을 시작한때는 1990년도 중후반부터이며, 최근 ITS 관련 시스템 형가, 응용연구가 활발히 진행되고 있음

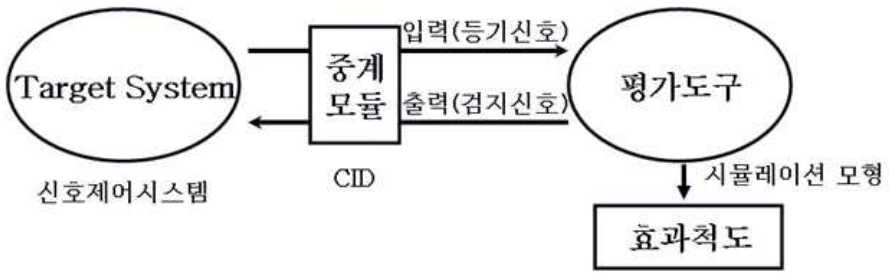
○ 교통계획 및 교통공학 분야에서 많이 사용되던 평가기법으로 조사원을 배치하여 육안으로 자료를 수집하고 이들 자료를 분석하여 평가하는 방법인 현장 조사와 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 이용한 보다 발전된 형태의 과학적인 평가방법이 주로 사용됨

○ 그러나 지능형교통체계의 도입과 함께 실시간 교통정보수집 및 처리를 통해 교통상황을 판단하고 이에 따른 적절한 신호제어변수를 산출하여 교차로를 제어하는 실시간 교통신호제어시스템이 도입되면서 기존의 소프트웨어 기반의 시뮬레이션 모형을 이용한 평가는 기계적 특성을 수용하지 못하고 방대한 알고리즘을 구현하지 못하여 효율성 평가에 한계가 있음

○ 이러한 이유로 미국 및 유럽에서는 1990년대 중반부터 소프트웨어에 기반을 둔 시뮬레이션 모형의 한계를 극복할 수 있는 대안으로 HILS 기반 평가시스템의 개발에 착수하였으며 현재 시제품을 제작하여 일부 교통제어시스템의 평가에 활용하고 있음

나. HILS 기반 평가시스템의 구성 및 동작개요

- HILS(Hardware-In-Loop Simulation system)란 원래 일부 선진국을 중심으로 우주항공 및 방위산업 분야에서 실세계에 존재하거나 구상중인 평가 대상 장치나 시스템을 모형에 연결하여 실시간으로 시뮬레이션 하는 기술로 개발됨
- Loop라는 개념은 목적장치와 시뮬레이션 모형이 상호교환(Feed-back) 작용으로 연계 운영된다는 의미로써, HILS의 구성요소로는 평가대상 시스템, 평가 모형, 그리고 이 두 요소간의 정보를 연계해주는 중계모듈로 구성됨
- 평가모형으로는 CORSIM이나 VISSIM 그밖에 DYNASIM, PARAMICS 등이 해당되며, 이 두 개체간의 정보를 연계해주는 역할의 중계장치(CID : Controller Interface Device)가 필요하며, 평가 도구인 교통류 시뮬레이션 모형에서 생성된 차량 검지 정보가 중계장치를 통해 교통신호제어기로 전달되고, 교통신호제어기에서는 전달된 검지기 정보를 이용하여 각종 제어 알고리즘이 동작하게 되는데 이러한 제어의 최종 결과는 신호등화의 출력 형태 즉, 신호시간 계획으로 나타남. 이 신호등화의 출력 신호 역시 중계모듈을 통해 평가모형으로 입력되어 평가모형 내 교차로의 통행권을 통제하는 수단으로 이용됨
- 이와 같이 HILS는 평가 대상장치와 모형이 상호 연계된 형태로 운영되면서 생성된 지체, 속도, 통과교통량, 대기길이 등과 같은 효과척도를 평가하는 방식으로 평가가 이루어짐



<그림 1-24> HILS 기반 평가시스템 구성 및 동작개념

다. 평가 대상시스템의 평가범위에 의한 HILS 구분

○ 평가 대상시스템의 평가범위에 의한 HILS의 구분은 전술적 제어 평가용과 전략적 제어 평가용으로 분류하여, 연계되는 모형이 시스템의 어느 수준인지에 따라 미시적 HILS(Microscopic)와 거시적 HILS(Macroscopic HILS)로 구분함

○ 미시적 HILS(Microscopic)의 경우 시스템의 가장 말단인 신호제어기에 연결되며 교차로 단위수준 및 소규모 네트워크의 평가에 적합하며 별도의 중계장치가 필요하고, 통신은 주로 비동기 통신(Serial) 방식이 적합하며 특징적으로는 제어기 단에 접속되므로 제어기 차원에서 이루어지는 감응제어 등과 같은 전술적 제어까지도 평가가 가능함

○ 거시적 HILS(Macroscopic HILS)의 경우 제어기 상단, 즉 센터의 통신장치나 제어컴퓨터에 직접 연결되는 방식으로 대규모 네트워크 단위 수준에 평가에 적합하며 전술적 제어보다는 전략적 제어 평가에 적합한 방식임

<표 1-7> 평가범위에 의한 HILS 구분

구분	미시적 HILS(Microscopic)	거시적 HILS(Macroscopic)
특징	- 교차로 단위 제어전술평가 - 제조사 비의존적(호환성이 뛰어남) - 평가를 위해 Microscopic 모형 탑재 - 별도 H/W장치(CID) 필요	- 광역 네트워크 단위 제어전술 평가 - 평가를 위해 Macroscopic 혹은 Mesoscopic 모형 탑재 - 별도의 H/W장치 불필요 - 센터 S/W에 의존적(호환성 낮음)
개발 사례	- 유럽 대부분의 시스템은 전략적 제어수준 평가에 적합(거시적 HILS) - 미국의 개발 방식은 전략적 제어수준에 적합(거시적 HILS)하며 부분적으로 전술적 제어수준 평가(미시적 HILS)도 가능	

라. 평가 대상시스템의 평가용도와 시스템 구성에 따른 HILS 구분

○ HILS기반 교통신호제어 평가시스템은 평가용도와 시스템 구성에 따라 5가지 유형으로 구분할 수 있음. 즉, 시스템 구성을 광역을 대상으로 하면서

전략적인 제어기법을 중심으로 평가할 것인지 아니면 소규모 지역을 대상으로 전략과 전술적인 제어기법을 동시에 평가할 것인지에 따라 이들 구성들 중 선택적으로 적용할 수 있음

○ 다음의 내용은 HILS 구성형태별 평가환경 및 용도를 정리한 것으로 5가지 다양한 HILS 구성에서 센터시스템, 신호제어기, 중계장치인 CID 유무, 네트워크의 규모 등에 적합한 형태와 평가가 가능한 사항을 정의하였음

○ 제어기 연결형 HILS

- 이 구성은 가장 일반적이고 쉽게 구현할 수 있는 전형적인 HILS로 교통신호제어기와 교통류 시뮬레이션 모형 간에 CID라는 중계장치를 통해 직접 연결하여 교통신호제어기의 세부적인 기능들의 평가가 가능함

- 장점으로는 호환성이 뛰어날 뿐 아니라 적용이 쉽고 센터 수준은 물론 제어기 수준의 전술적 제어까지 평가할 수 있다는 점, 그리고 센터시스템과 교통신호기의 제어로직을 알 필요가 없다는 점을 들 수 있음

- 단점으로는 본 구성은 분석교차로 수만큼 제어기와 연결되는 CID 장치가 필요하기 때문에 평가대상 교차로수가 제한적이라는 단점을 가짐

○ 제어기 모방형 HILS

- 제어기 연결형 HILS의 단점을 극복하고자 중요교차로는 CID에 직접연결, 비중요교차로는 S/W적으로제어기의 기능을 모방한 형태로 평가하는 시스템 구성임

- 장점은 센터시스템에 대한 별도의 S/W코드가 불필요하다는 점과 제어기 연결형에 비해 평가할 수 있는 네트워크의 규모가 훨씬 크다는 점이 있음

- 단점으로는 제어기 S/W 및 로직 확보가 건제되어야 한다는 점, 그리고 CID에 연결되지 않은 제어기에 대한 에뮬레이트 S/W를 개발하여 적용해야 한다는 부담이 있음

○ 센터연결형 HILS

- 이 방식은 센터시스템의 FEP와 교통류 시뮬레이션 모형 간에 TCP/IP 통신으로 네트워크를 형성하여 센터시스템의 제어효율성을 평가하는 방식

- 장점은 평가대상 교차로의 수가 상대적으로 많은 경우에 적합한 방식으

로 CID라는 중계장치가 필요 없이 S/W만으로 연계가 가능하다는 점임

- 단점은 평가대상 센터 시스템에 따라 각각 다른 버전의 S/W개발이 필요하기 때문에 평가하고자 하는 센터시스템의 원시코드 확보가 전제되어야 하며, 제어기의 기능을 모형 내 S/W적인 에뮬레이션으로 처리할 수밖에 없기 때문에 제어기 수준에서 이루어지는 전술적 제어의 효율성을 세밀하게 평가하는데 한계가 있다는 점임

○ 가상통합형 HILS

- 가상통합형 HILS는 센터시스템에서 수행하는 기본적인 기능을 교통류시뮬레이션의 사용자 정의 프로그램에 포함시킨 상태에서 세밀한 평가가 필요한 교차로는 제어기연결형 HILS로 구성한 일종의 통합형 HILS라 할 수 있는데 차이점은 센터시스템이 없는 환경에서 새로운 방식의 제어기법의 개발과 평가에 적합한 구성임

- 장점은 신호제어기의 S/W개발 및 수정이 불필요하다는 점임

- 단점으로는 신호제어변수 산출, 제어기와의 통신등과 같은 센터의 주요 기능을 모형내 사용자정의프로그램으로 제작해야한다는 점임

○ 통합형 HILS

- 마지막으로 통합형 HILS는 제어기연결형과 센터연결형 두 가지 형태를 결합한 구성으로 전략 및 전술적 제어 모두 가능하다는 장점을 가짐

- 위에서 언급한 다양한 구성의 HILS중 평가대상 지역규모나 제어수준에 따른 평가에 있어서 가장 이상적인 시스템 구성임

마. HILS와 연계할 교통 시뮬레이션 모형 검토

○ HILS 기반 평가시스템에 적용될 교통류 시뮬레이션 모형의 선정 등 요소기술 분석 및 선정이 주된 연구내용임

○ 현재 미국과 유럽 등 세계적으로 많이 이용되고 있는 대표적인 교통류 시뮬레이션 모형 3가지에 대해 간략히 제시함

○ CORSIM 교통류 시뮬레이션 모형

- CORSIM은 FORTRAN으로 개발된 PROGRAM으로서 NETWORK 내를 주

행하는 차량의 운행상태를 매초마다 명료하게 모델화할 수 있음

- CORSIM 시뮬레이션 모형의 기본적인 접근방법은 교통상황을 각 시간 간격별로 재현 응용하는 것으로서 포화 교통류 상태하의 복합 NETWORK 모의시험, 교통류의 실시간 조사에 기초한 동적인 traffic제어, 정주기제어 및 감응제어 전략평가, 신호조건 및 교통여건의 변화에 다른 보정계수 도출 등의 주요 기능을 제공함

- 이 CORSIM 모델은 일반적으로 도시 내 NETWORK상에서 경험하게 되는 대부분의 상황을 상당히 섬세한 수준까지 시뮬레이션 해줌. 즉 신호제어 측면에서는 정주기 Multi-dial 및 감응제어까지 교통운용적인 측면으로는 버스운용, 장애물, 주차, Spillback, 좌회전 Pocket 넘침 등이 Simulation 됨

- 이 모델의 Output은 속도, 교통량, 밀도, 지체, Spillback, 대기행렬, 회전 교통량 등의 다양한 종류의 MOE를 제공하며 사용자가 정의한 Time interval에 대한 Network 전체, Link group 혹은 Network 내의 각 Link에 대한 연료소모 및 공기오염도를 추정해 줌

○ NEMIS 교통류 시뮬레이션 모형

- NEMIS(Network Micro-Simulation Package)는 이태리의 IENGF연구소에서 개발한 광역 NETWORK상의 교통류를 시뮬레이션하기 위한 Package임

- 주요 기능은 신호제어 전략평가, 교통류 구성 인자의 조절 및 Network의 변경이 교통류에 미치는 영향분석, 교통류 배분의 실험 및 검증, route guidance 전략의 모의시험 및 평가등이 있음

- Nemis는 독립교차로 혹은 Network에 대한 신호제어 전략을 구현하는 어떤 Model과의 접속이 가능하며 route guidance 시스템의 모의시험도 가능

- 이 모델의 주요 Output은 차량의 모든 고정노선 및 대중 교통수단에 대한 평균여행시간, 차로의 각 Step별 정치 횟수 및 대기행렬, 링크의 각 Step별 신호등 상태/점유율/평균여행시간 유출입 차량 수, Network의 각 Step별 차종별 유출입 차량 수 등의 결과물이 나옴

○ VISSIM 교통류 시뮬레이션 모형

- VISSIM 시뮬레이션 모형은 미시적 모형으로 도로와 대중교통운영 전 영

역에 걸친 분석을 위해 개발된 시간 및 행태기반 시뮬레이션 모형으로 일반적인 차량, 버스, 경전철, 트럭, 보행자, 자전거 등 일반적인 차량 뿐 아니라 전형적인 corridor에서 통합된 도로망을 모형화 할 수 있음

- 독일의 University of Karlsruhe에서 1970년대 초반에 개발되었으며 현재까지 VISSIM의 판매와 유지관리를 맡고 있는 PTV Transworld AG사에 의해서 1993년도부터 상용화 시판되기 시작하였음

- VISSM 시뮬레이션은 고정신호 운영, 감응제어, 대응제어, 대중교통우선제어, 램프미터링 제어 등을 포함한 다양한 제어기법 운영에 따른 영향을 분석할 수 있고, 모형의 기하구조에 따른 영향 분석의 특징적인 기능은 복잡한 구조의 교차로, 양방 4현시 교차로, 자전거도로/횡단보도, ITS 시설물, 버스전용중앙차로, 1개 차로 또는 다차로 구성, 제한차종 설정가능 등 특징적 기능을 보유함

- VISSIM 시뮬레이션 모형의 효과척도는 아래 표와 같이 총 7개 그룹으로 분류되며 각각의 효과척도가 제공됨

<표 1-8> VISSIM의 효과척도

구분	효과척도 지표	비고
System	- Network delay - Network travel time - Vehicle miles traveled	-
Intersection	- Delay-stoped, control, person - Queue lengths - Number of stops	-
Link	- Density, Volume, Speed - Real-time link evaluation(Macro view	-
Transit	- Travel time - Standard deviation - Passenger waiting	-
Emissions	- Mobile 6 - CMEM emission model - Engine curves	-
Signal control	- Average cycle length - Average green time	-
User selected path	- Travel time and speed - Delay	-

6. 국내·외 법제도 현황 분석

가. 국내 법제도 현황

○ 우리나라에서는 도시철도법 제3조(정의)에서 “도시철도란 도시교통의 원활한 소통을 위하여 도시교통권역에서 건설 · 운영하는 철도 · 모노레일 · 노면전차 · 선형유도전동기 · 자기부상열차 등 궤도(軌道)에 의한 교통시설 및 교통수단을 말한다.” 라고 규정하고 있음

○ 우리나라에서는 노면전차를 도시철도의 일종으로 보고 있다. 즉 현행 법률체계 내에서 노면전차는 도시철도법의 적용을 받는 도시철도의 일종인데, 노면전차를 포함한 도시철도는 건설 부분에 있어서는 도시철도법의 적용을 받으나, 사업부문에서는 철도사업법, 안전 및 운전자 관리부문에서는 철도사업법의 적용을 받고 있음

○ 노면전차와 관련된 법령 도시철도 건설규칙, 도시철도운전규칙, 도시철도차량 안전기준에 관한 규칙 및 도시철도차량관리에 관한 규칙을 살펴보면 다음표와 같음

<표 1-9> 노면전차관련 법령

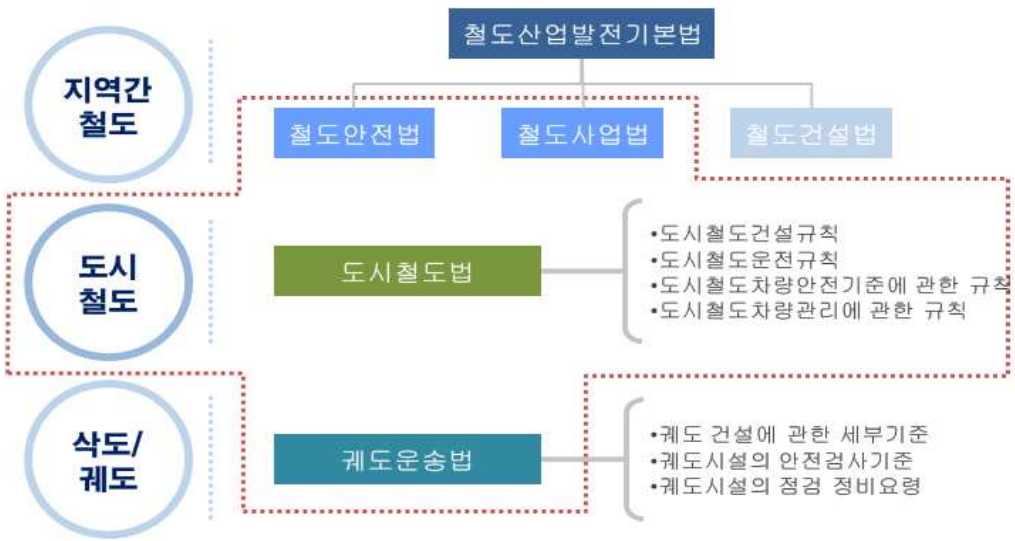
법령명	규정내용
도시철도 건설규칙 (시 행 2013.3.23)	제2조(정의) 이 규칙에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. 6. "경량전철"이란 모노레일형식, 노면전차형식, 철제차륜형식, 고무차륜형식, 선형유도전동기형식, 자기부상추진형식 등으로 운행되고, 차량 최대 설계축중 13.5톤 이하[분포하중(分布荷重)의 경우 단위 미터당 2.8톤 이하를 말한다]의 전기철도를 말한다.
	제47조(본선 열차의 신호방식) ① 본선을 운행하는 열차의 신호는 차내신호방식을 원칙으로 한다. 다만, 지상신호기가 설치되어 있는 선로·출발역 및 차량기지 등의 특수한 경우에는 지상신호방식으로 할 수 있다. ② 제1항에 따라 신호방식을 차내신호방식으로 하는 경우에도 정거장의 출발지역이나 역 간의 폐색구간 등 필요한 지역에 대해서는 신호표지를 설치할 수 있다.
	제48조(신호장치 등의 설치) 분기부가 설치된 정거장이나 차량기지 등에는 차량의 입환(入換)에 필요한 신호장치와 진로표지를 설치하여야 한다.

	제86조(노면전차형식에 관한 특례) 노면전차형식의 경량전철인 경우에는 다른 도로교통과 함께 주행하는 특성을 고려하여 시·도지사 등이 이 규칙의 내용과 다르게 정할 수 있다.
도시철도 운전규칙 (시 행 2010.8.9)	제3조(정의) 이 규칙에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다 10. "노면전차"란 도로면의 궤도를 이용하여 운행되는 열차를 말한다. 12. "시계운전(視界運轉)"이란 사람의 육안에 의존하여 운전하는 것을 말한다.
	제32조(열차등의 운전) ① 열차등의 운전은 열차등의 종류에 따라 「철도안전법」 제10조제1항에 따른 운전면허를 소지한 사람이 하여야 한다. 다만, 제32조의 2에 따른 무인운전의 경우에는 그러하지 아니하다.
	제38조(추진운전과 퇴행운전) ② 노면전차를 퇴행운전하는 경우에는 주변 차량 및 보행자들의 안전을 확보하기 위한 대책을 마련하여야 한다.
	제44조의2(노면전차의 시계운전) 시계운전을 하는 노면전차의 경우에는 다음 각 호의 사항을 준수하여야 한다. 1. 운전자의 가시거리 범위에서 신호 등 주변상황에 따라 열차를 정지시킬 수 있도록 적정 속도로 운전할 것 2. 앞서가는 열차와 안전거리를 충분히 유지할 것 3. 교차로에서 앞서가는 열차를 따라서 동시에 통과하지 않을 것

법령명	규정내용
도시철도 운전규칙 (시 행 2010.8.9)	제47조(선로전환기의 쇄정 및 정위치 유지) ③ 노면전차의 경우 도로에 설치하는 선로전환기는 보행자 안전을 위해 열차가 충분히 접근하였을 때에 작동하여야 하며, 운전자가 선로전환기의 개통 방향을 확인할 수 있어야 한다.
	제48조(운전속도) ③ 노면전차의 경우 도로교통과 주행선로를 공유하는 구간에서는 「도로교통법」 제17조에 따른 최고속도를 초과하지 않도록 열차의 운전속도를 정하여야 한다.
	제49조(속도제한) 도시철도운영자는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 운전속도를 제한하여야 한다.
	제60조(신호의 종류) 도시철도의 신호의 종류는 다음 각 호와 같다. 1. 신호: 형태·색·음 등으로 열차등에 대하여 운전의 조건을 지시하는 것 2. 전호(傳號): 형태·색·음 등으로 직원 상호간에 의사를 표시하는 것 3. 표지: 형태·색 등으로 물체의 위치·방향·조건을 표시하는 것
	제75조(표지의 설치) 도시철도운영자는 열차등의 안전운전에 지장이 없도록 운전관계 표지를 설치하여야 한다.

	제7절 노면전차 신호 제76조(노면전차 신호기의 설계) 노면전차의 신호기는 다음 각 호의 요건에 맞게 설계하여야 한다. 1. 도로교통 신호기와 혼동되지 않을 것 2. 크기와 형태가 눈으로 볼 수 있도록 뚜렷하고 분명하게 인식될 것
도시철도 차량 안전기준에 관한 규칙 (시행 2013.3.23)	제2조(정의) 이 규칙에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. 1. "열차"라 함은 여러 차량이 하나의 편성을 이루어 본선에서 운전할 목적으로 열차번호를 부여받은 도시철도차량을 말한다.
	제69조(신호보안장치) ① 신호보안장치는 지상의 신호설비와 적합하게 동작되어야 한다. ②신호보안장치는 자기진단기능 및 페일-세이프기능을 가져야 하고, 고장시 경고신호를 제공하여야 하며, 잘못된 신호정보를 전달하지 아니하도록 설계하여야 한다.
도시철도 차량 관리에 관한 규칙(시행 2013.3.23)	제1조(목적) 이 규칙은 「도시철도법」 및 같은 법 시행령에 따른 도시철도차량의 성능시험 및 정밀진단, 도시철도용품의 품질인증등에 관하여 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

○ 다음은 2009년 국토해양부・한국교통연구원의 ‘철도관련 법제 개선연구’에서 정리한 철도관련 법령체계를 나타낸 것임



<그림 1-25> 철도 교통수단관련 법령체계

나. 노면전차관련 법률안 논의[1)]

○ 노면전차는 지하철과 버스의 중간 영역을 담당하는 새로운 교통수단으로 기후변화에 대응하기 위한 저탄소 친환경 대중교통수단, 높은 에너지 효율, 환승 편의 및 도시 미관 등의 사유로 유럽·일본 등 선진국에서는 대중교통수단으로서의 역할이 증대되고 있으며, 우리나라의 여러 지방자치단체에서도 이를 적극적으로 도입하려고 함

○ 현행법상 노면전차는 「도시철도법」에 따른 경량전철로 분류되어 「도시철도법」의 적용을 받고 있으나, 독립적인 선로를 운행하는 도시철도와는 달리 노면전차는 도로 위를 운행한다는 점에서 기존의 철도 위주의 법령체계 안에서는 노면전차의 건설 및 운영에 한계가 있음

○ 따라서 노면전차 건설 및 운영의 특수성을 반영한 제정법을 마련함으로써 저탄소 친환경 대중교통수단인 노면전차의 건설 및 이용을 촉진하려는 것

○ 법률안 발의 주요 내용을 살펴보면 다음과 같음

<표 1-10> 노면전차관련 법률안 발의 주요 내용

조 항	발의 내용
안 제2조 (정의)	노면전차를 도로 위에 궤도(軌道) 또는 이와 유사한 설비를 설치하여 여객을 운송하는 교통수단 및 시설로서 대통령령으로 정하는 교통수단으로 정의하고 도로연계형 노면전차와 도로분리형 노면전차로 구분함
안 제5조 (노면전차기본계획의 수립 등)	특별시장·광역시장·특별자치시장·도지사 또는 특별자치도지사가 관할 도시교통권역에서 노면전차를 건설·운영 할 필요가 있다고 인정하면 10년 단위의 노면전차기본계획을 수립하여 국토해양부장관에게 승인을 받도록 함
안 제6조 (사업계획의 승인)	노면전차를 건설하려는 자는 노면전차사업계획을 수립하여 국토해양부장관의 승인을 받도록 함
안 제12조 (정부 지원)	정부는 지방자치단체나 노면전차공사가 시행하는 노면전차의 건설을 위하여 재정적 지원이 필요하다고 인정하면 소요자금의 일부를 보조하거나 융자할 수 있도록 하고, 노면전차의 건설로 인한 온실가스 배출량 감축 및 에너지 절약이 대통령령으로 정하는 기준 이상인 경우 소요자금의 100분의 60 이상을 보조하도록 함
안 제15조 (노면전차 전용도로 등의 설치)	시.도지사 및 시장.군수.자치구의 구청장은 노면전차의 이용 촉진 등을 위하여 노면전차 전용도로 및 노면전차 전용차로를 설치할 수 있도록 함

1) 정두언 의원외 24인, 노면전차의 건설 및 운영에 관한 법률안(정두언의원 대표발의), 2012.12.3

안 제16조 (면허 등)	노면전차운송사업을 하려는 자는 노면전차운송사업 계획서를 작성하여 시·도지사의 면허를 받도록 함
안 제22조 (연계운송)	노면전차운영자가 다른 노면전차운영자, 도시철도운영자, 철도사업자 등과 연계하여 운송하는 경우 노선의 연결 등은 당사자 간의 협의로 정하되 분쟁이 있을 때에는 국토해양부장관이 결정하도록 함
안 제29조부터 제33조까지(안전기준~성능시험까지)	노면전차차량의 안전기준, 내구연한, 노면전차차량 및 시설의 표준규격, 노면전차용품의 품질인증, 차량·시설형식과 성능에 관한 성능시험 등을 규정함
안 제35조부터 제39조까지(노면전차차량 운전면허~운전면허 취소·정치 등)	노면전차차량을 운전하려는 사람은 국토해양부장관으로부터 노면전차차량 운전면허를 받도록 하고, 이를 위한 교육훈련 및 운전면허시험 등에 관한 사항을 규정함
안 제28조 및 제46조(철도사업법 및 철도안전법의 준용)	노면전차운영자의 준수사항 등에 관하여는 「철도사업법」의 관련 규정을 준용하고, 노면전차의 안전관리 등에 관하여는 「철도안전법」의 관련 규정을 준용하도록 함

자료 : 정두언외, 노면전차의 건설 및 운영에 관한 법률안, 2012.12.3

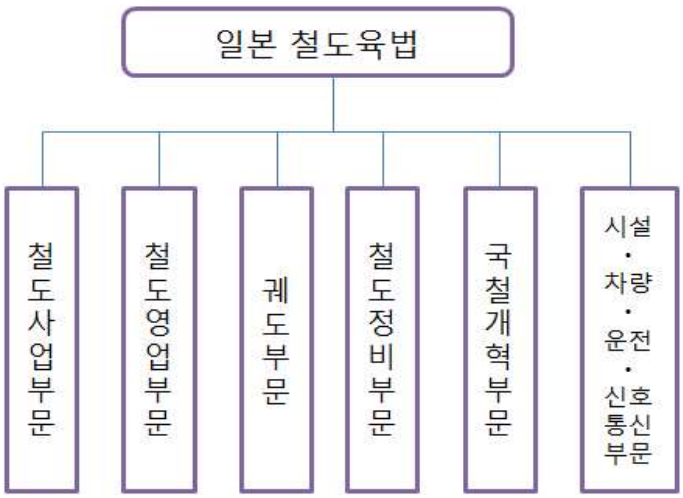
다. 호주[2)]

- 트램(TRAM)을 철도 관련 법령 내에서 규정하고 있으며, 철도의 안전한 운영을 목적으로 하는『철도안전법(Rail Safety Act, 2006)』과 철도관련 시설의 관리・운영을 위한『철도관리법(Rail Management Act, 1996)에서는 열차, 경열차, 모노레일 및 트램 등을 포괄적으로 다루고 있음
- 철도안전법 제3조(정의)에서는 600mm 이상의 철도트랙으로 승객 또는 화물 그리고 양쪽 모두를 운송할 수 있는 시스템을 철도(Railway)라고 규정
- 철도관리법에서는 시스템에 따라 철도(Railway)와 트램(Tramway)으로 구분하고, 다시 철도는 중량철도와 경량철도로 구분함

라. 일본

- 일본 국토교통성 철도국에서는 철도와 관련된 모든 법을 총망라하여 '철도육법'이라는 이름으로 발간하고 있고, 이들을 여섯 개 부문으로 나누어 수록하고 있으며, 철도육법에 따른 일본의 철도 법체계는 다음과 같음

2) 출처 : 한국철도기술연구원, 노면전차 관련 도로교통법 시행령・시행규칙 개정을 위한 자료조사, 2012.



<그림 1-26> 일본 철도육법 체계

자료 : 한국철도기술연구원, 무가선 저상트램 시스템 개발 연구, 2010.

○ 일본의 철도교통과 관련한 사업은 크게 「철도사업법」과 「궤도법」에서 규정하고 있고,「철도사업법」은 도로 이외의 부지에 부설된 철도를 대상으로 하며 일반철도(JR, 민영철도, 지하철) 등이 이에 해당

○ 「궤도법」은 일반도로에 설치되는 철도를 대상으로 하며 노면전차, 모노레일, 신교통시스템 등과 같은 특수철도도 대상으로 포함하고 있음

<표 1-11> 일본의 철도사업법과 궤도법 비교

구분	철도사업법	궤도법
적용대상	도로 이외에 부설되는 철도	일반교통에 사용하도록 도로에 부설되는 궤도
종류	▪ 일반철도 : JR, 민영철도, 지하철 ▪ 비도로상에 설치되는 모노레일, 안내궤조식철도(신교통시스템 등), 트롤리버스, 케이블카, 리니어모터카 ▪ 삭도와 관련된 로프웨이, 스키리프트 등	▪ 노면전차 ▪ 모노레일, 신교통시스템 등 특수철도
인허가	▪ 사업개시 : 허가 ▪ 사업폐지 : 신고	▪ 사업개시 : 특허 ▪ 사업폐지 : 허가

자료 : 한국교통연구원(2007), 궤도시설 관련 법령정비를 위한 기초연구

○ 「궤도법」은 동법 시행령 및 동법 시행규칙 외에도 궤도법의 위임에 의하여 「궤도건설규정」,「궤도운수규정」,「궤도운전규칙」,「궤도계원규정」,「궤도운임요금할인등규칙」등의 다수 하위법령이 있음

○ 일부 부문에 대해서는 「철도사업법」을 준용하도록 하고 있으며, 운전자는「동력차 조종차 운전면허에 관한 성령」에 따른 운전면허를 취득하도록 하고 있음

마. 독일

○ 독일은 노면전차를 일반철도법(AEG)에서 규정하지 않고, 버스, 트롤리버스 등과 함께「여객운수법(Personenbeförderungsgesetz; PBefG)」의 규정을 받고 있음

○ 여객운송을 목적으로 운행되는 경우에는 도로에 부설된 선로를 이용하는 노면전차 외에 지하철, 고가철도, 현수철도와 같이 전체 또는 부분적으로 전용선로를 이용하여 운행하는 궤도도 포함

○ 다음 표는 독일의 여객운수업관련 규정을 요약

<표 1-12> 독일의 여객운수업 규정

장	항목	주요 규정내용
1. 일반규정	▪ 객관적인 효력범위 ▪ 허가의 의무 ▪ 사업자 ▪ 시가전철, 트롤리버스, 자동차 ▪ 화물차 승객운송, 화물차나 기차 후면에 연결된 결합차로 승객운송하기 ▪ 근거리대중교통의 교통서비스와 교통이익	▪ 본 법률의 적용 범위에 대한 일반규정 ▪ 시가전철, 트롤리버스, 자동차교통(노선 및 비노선) 사업자를 대상으로 함
2. 허가	▪ 허가의 범위 및 허가청 ▪ 신청서 제출 ▪ 허가의 전제조건 및 허가절차 ▪ 허가증 교부 및 거부, 허가 철회, 허가말소 ▪ 운행의무 및 운송의무	사업의 허가절차 및 조건, 허가의 철회 및 말소 등 사업허가 관련 일반규정
3. 개별 교통수단에 대한 특별규정	▪ 시가전철 ▪ 트롤리 버스차량 ▪ 노선 자동차교통	▪ 시가전철, 트롤리버스, 택시, 버스 등 개별교통수단에의 적용 ▪ 시가전철의 경우 계획 및 건설,

	▪ 보상지불 ▪ 비노선 자동차교통	운행 개시, 운송요금과 조건, 운행계획 등의 내용 포함 ▪ 학생정기권 할인액에 대한 보상
4. 국제교통	▪ 국경을 넘는 교통 ▪ 통과교통	국경을 넘는 승객운송 및 독일 통과 국제교통에 대한 특칙
5. 감독권한	▪ 감독 ▪ 허가청의 조사권한	허가청의 감독 및 조사권한에 대한 규정
6. 이의신청과 수수료	▪ 불복 및 행정행위시 예비소송절차 ▪ 수수료	▪ 이의신청에 대한 일반규정 ▪ 행정행위에 대한 수수료
7. 법령과 일반 행정지침 제정	▪ 법령 ▪ 일반 행정지침	▪ 개별 교통수단의 건설 및 운행을 위한 시행규칙 제정 근거 ▪ 시가전철은 건설 및 시설, 운영에 대한 별도시행규칙 제정 가능
8. 벌금규정	규칙위반	본 법률 규정 위반에 대한 처벌
9. 경과규정 및 종결규정	▪ 경과규정 ▪ 관련 법률	경과규정 및 효력규정

자료 : 한국철도기술연구원(2012), 노면전차 관련 도로교통법 시행령·시행규칙 개정을 위한 자료조사

○ 여객운수법 제57조 제1항에 의하면 시가전철은 ⅰ)건설에 대한 요구와 운영시설의 설치와 차량 및 그 운영방법, ⅱ)운영의 신뢰성과 규칙엄수 및 운영시설의 보호와, 차량의 손해와 장애에 대하여 별도의 규칙을 제정할 수 있도록 하고 있음. 이 규정에 근거하여「시가전차의 건설 및 운행에 관한 규칙(Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen; Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung; BOStrab)」으로 노면전차의 관리, 시설 및 차량, 운행 등에 대해 규정함

<표 1-13> 독일의 노면전차 건설 및 운행에 관한 규칙

장	항목	주요 규정내용
제1장	총칙	▪ 적용범위 및 용어정의 ▪ 운행시설 건설 및 차량 제작 관련 ▪ 기본규칙
제2장	관리	▪ 담당기관 ▪ 관리자 및 관리자 선임
제3장	운행 관계자	▪ 운행관계자의 일반요건 ▪ 운전과 관련된 사람의 특별요건 ▪ 운전교육 및 검사 관계자 ▪ 업무 중 행동수칙

제4장	운행 시설	▪ 선로, 상부구조, 안전공간, 건널목, 정류장 등 시설 ▪ 신호장치, 통신장치, 에너지 공급장치 등 운영장치
제5장	차량	▪ 차량 디자인 및 제원 ▪ 제동장치, 신호장치, 연결장치 등 차량내 장치 ▪ 차문, 바닥, 조명, 난방, 운전자 공간 등
제6장	운행	▪ 일반운전규칙 ▪ 허용속도, 신호, 기타 도로상에서의 운행 ▪ 차량 결함시 행동 ▪ 시설 및 차량의 관리
제7장	절차	▪ 운행 시스템 구축 서류 검사 ▪ 시설 검사
제8장	위반행위, 처벌, 처분절차	▪ 위반행위 ▪ 처벌
부속서		▪ 철도건널목 인지와 보호 ▪ 제동의 제한 ▪ 장애인 및 기타 교통약자를 위한 좌석 표지 ▪ 신호

자료 : 한국철도기술연구원(2012), 노면전차 관련 도로교통법 시행령·시행규칙 개정을 위한 자료조사

7. 선행연구 검토 결과

○ 자동차와 트램 등의 서로 다른 특성의 이동류가 도로를 공유할 때 나타날 수 있는 문제점을 파악하고, 이를 해결할 수 있는 자동차와 트램의 우선신호 제어전략을 개발하기 위해 대중교통의 우선신호 사례 및 선행연구, 해외의 트램 우선신호 사례 및 연구에 대한 분석을 수행함

○ 대중교통의 우선신호 사례를 살펴보면, 크게 고정식과 능동식 우선신호 전략으로 나누어 각 도시의 환경 및 신호운영, 교통 시스템 조건에 맞게 우선신호 전략을 선택하여 사용하고 있음

○ 트램이 운영되는 대부분의 도시에서는 대중교통 우선정책의 일환으로 트램의 전용차로 시스템과 우선신호 시스템을 운영하고 있으며, 각 도시에서 현재 운영 중인 실시간 신호제어 시스템과 연계하여 운영하고 있음

○ 특히 능동식 우선신호 전략을 살펴보면, 능동식 우선신호 전략으로 사용했던 Early Green과 Green Extension 전략 외에도 Phase Insertion, Phase Rotation과 같은 다양한 운영전략 수행 사례와 이에 대한 효과분석이 이루

어지고 있음

- ○ 트램의 이동성과 효율성을 확보하기 위해 고정식 우선신호와 능동식 우선신호 전략을 동시에 적용하는 방안을 검토하였고, 트램 정류장의 정차시간과 다양한 우선신호 알고리즘을 활용하여 트램의 교차로 정차를 감소시킬 수 있는 방안을 도출할 수 있음을 확인함
- ○ 통합 신호제어 전략의 효과를 확인하기 위해서 HILS(Hardware-In-Loop Simulation system)라는 개념의 실시간 시뮬레이션 장치를 개발함으로서 개발된 신호제어전략과 통합 신호제어기를 평가하는데 활용할 수 있음
- ○ HILS는 평가 대상장치(통합 신호제어기)와 교통모형이 상호 연계된 형태로 운영되면서 생성된 트램과 자동차 각각에 대한 지체, 속도, 통행시간, 정지수 등과 같은 효과척도를 평가함으로서 통합 신호제어기와 신호제어 전략의 적정성을 평가하는데 객관적인 지표가 될 수 있음
- ○ 외국의 노면전차 전용신호등 종류 및 운영사례를 검토한 결과, 미국, 영국, 독일, 프랑스 등 대부분의 국가에서는 “흰색 막대기” 신호등을 사용하였으며, 호주의 경우에만 “흰색 T“ 신호등을 사용
- ○ 신호등은 모양과 색깔로 사용되는 국제 공통 언어이다. 노면전차를 다시 도입하려고 하는 우리나라에서는 전용신호등으로 “흰색 막대기”와 “흰색 T“ 신호등 중 하나를 도입하여도 무방할 것으로 판단
- ○ 그러나 대부분의 나라에서 사용되고, 일반 차량신호등과 구분되는 “흰색 막대기” 노면전차 전용신호등 도입이 바람직 할 것으로 판단
- ○ 일본에서 궤도가 도로교통법의 도로에 설치되는 경우는 궤도법을 따르고, 이외의 공간에 설치되는 경우는 철도사업법을 적용하고 있으나, 주요 노선이 도로상에 설치되고 부분적으로 하천이나 철도 등을 횡단하는 경우 또는 공원 상부를 통과하는 경우에도 도로로 간주해 궤도법이 적용되고 있음.
- ○ 일본의 경우 트램은 일반도로에 부설되는 경우 궤도법 적용을, 도로외부지에 부설되는 경우는 철도관련 법을 적용하고 있고, 일본의 법체계를 참고할 경우 전술한 두 법 모두 적용을 검토해야 한다는 점에서 우리나라 현실과 거리가 있는 것으로 판단

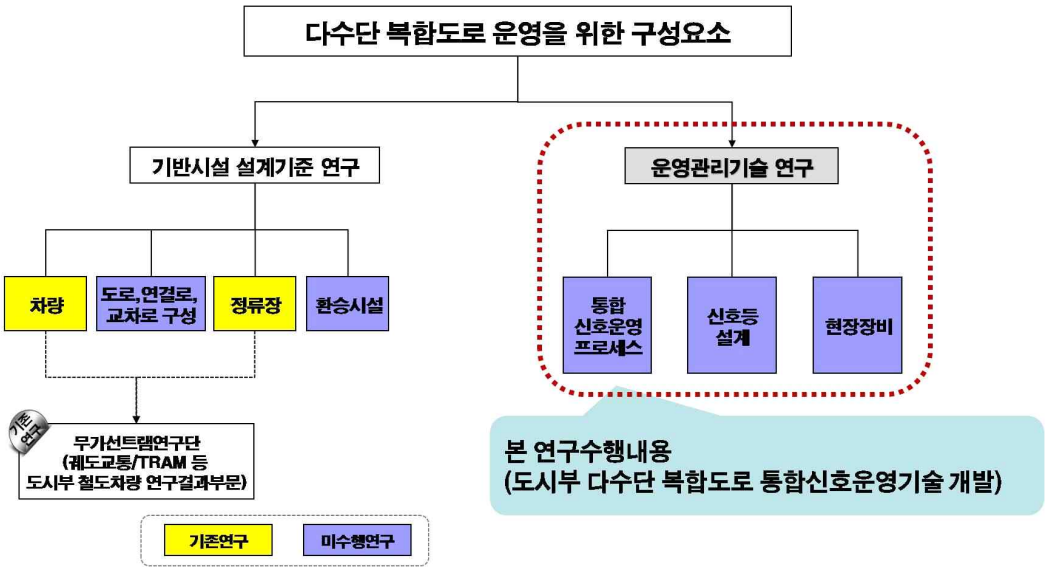
○ 독일에서는 노면전차 건설과 운영에 관한 법률이 별도로 운영되고 있는 점은 타 철도관련 법률이 각 수단별로 법률이 제정되고 있기 때문에 가능하다. 하지만 우리나라에서 독일과 같이 노면전차 관련 개별법을 적용할 경우 기존 철도관련 법 제정이 동반되어야 하는 바, 기존 철도관련 법제에 포함할 수 있는 법제개선방향 검토가 필요하다고 판단

○ 국내 철도법체계는 철도시스템 형식별로 개별법체계가 아니기 때문에 도시철도의 기능, 일반철도의 기능 기타 궤도운송법에서 규정하고 있는 기능별로 법적용을 해야 함

제4절 연구결과의 우수성 및 차별성

○ 본 연구는 트램, BRT(버스), 일반차량, 자전거 및 보행자가 공존하는 도시부 간선도로에서 대중교통 수단의 이동성을 우선시 하되, 모든 수단을 고려하여 효율적으로 신호제어를 수행하기 위한 통합신호운영기술을 개발하는 것으로, 트램을 기본으로 하는 자동차와 대중교통이 공존하는 도로의 제반 운영기술 확보하도록 함

○ 2003년부터 2008년까지 수행된 신에너지 바이모달 수송시스템 개발의 경우 CNG 하이브리드 구동방식의 바이 모달 트램 개발, 운영시스템 및 인프라 구성품 개발 및 시험평가를 주된 내용으로 수행하였고, 무가선트램연구단의 경우 2006년 기획과제부터 시작하여 2009년부터 현재까지 무가선 저상 트램 시스템 개발연구, 차량개발, 에너지인프라 개발을 수행함



<그림 1-27> 기존 연구 대비 차별성 검토

○ 선행 연구들에서는 실제 무가선트램 및 바이모달트램 모두 해당 교통수단의 차량제작에 대부분의 연구가 집중되어 있으며, 해당 교통수단이 도시부 도로에 적용될 경우 기존 도시부 간선도로의 교통체계와 상충을 일으키지

않으며 공존하기 위한 운영기술에 대해서는 과업 내용이 누락되어 있음

○ 따라서 제2의 대중교통수단이 도시교통과 복합 구성될 경우 제반운영기술 기준을 주된 내용으로 하는 본 연구와는 중복성이 없음은 물론, 실제 트램 차량개발 연구결과의 원활한 적용을 위해서는 본 연구내용이 전제되어야 할 것이라 판단됨

<표 1-14> 유사 연구개발과제 중복성 및 연계활용성 검토

사업명	교통체계효율화사업	미래도시철도기술개발사업	교통체계효율화사업	교통체계효율화사업
과제명	신에너지 바이모달 수송시스템 개발	무가선 저상트램 시스템 개발연구	차세대 무선통신 신호제어 시스템	자전거 이용활성화 기술개발 (기획과제)
과제 번호	11PTSI-C044210-06	12PURT-B053833-04	03교통핵심A01	09PTSI-C054048-01
수행 기간	2003.06 ~ 2012.12	2009.12 ~ 현재	2003.08 ~ 2008.01	2007.12 ~ 2011.'07
사업비 (억원)	363.3	362.9	37.5	121.3
최종 목표	·CNG 하이브리드 구동방식의 바이모달 트램 개발 ·바이모달 트램 전용 운영시스템 및 인프라 구성품 개발 및 시험평가 ·시범사업용 바이모달 트램 개발	·친환경성, 에너지 효율성, 편리성, 경제성의 요구를 충족하는 신개념의 도시철도 시스템 기술 확보 ·2차 전지를 주동력으로 하는 유/무가선 하이브리드 저상트램 시스템 기술개발	·신호교차로에 접근 차량과의 실시간 무선통신 방식을 이용한 개별 차량 감응식 차세대 신호제어시스템 개발 ·현장시험 및 평가를 통해 시작품 제작	·자전거시설 네트워크 분석 및 평가기법 개발 ·u-Cycling 기반기술 및 응용서비스 개발 ·자전거도로 안전성 평가기술 개발
수행 내용	·대용량 연료전지/연료시스템 ·바이모달 트램 차량 개념/기본/상세설계 ·운영 및 인프라 구성요소의 개발전략 수립 및 사양제시 ·초저상버스 시스템	·무가선 저상트램 시스템기술 연구 ·무가선 저상트램 차량 개발 ·무가선 저상트램 에너지인프라 개발	·검지기체계와의 무선통신 모듈 개발 ·무선통신 신호제어시스템 개발	·자전거시설 네트워크 분석 및 평가기법 개발 과제 기획 내용 ·u-Cycling 기반기술 및 응용서비스 개발 과제 기획 내용 ·자전거도로 안전성 평가기술 개발 과제

	통합 및 시험평가 ·CNG하이브리드 바이모달 트램 차량 구성품 제작/시험평가 ·운영 및 인프라 구성요소 설계			기획 내용
차별성	·바이모달 차량 개발 및 차량의 기계적 운영기술이 아닌 실제 도로상에서의 운영기술개발이 주요 내용임	·무가선 저상트램 차량 개발 및 동력 개발이 아닌 실제 도로상에서 운영기술개발이 주요 내용임	·서로 다른 수단에 대해 대중교통을 우대하여 신호를 제어하는 기술개발로 제어범위가 다름	·기획과제로 실제 도로상에서 운영을 위한 기술개발은 제외되어 있음
중복성	없음	없음	없음	없음
연계 활용성	바이모달트램 차량 연구결과 고려	궤도교통/TRAM 등 도시부 철도차량 연구결과 고려	무선통신을 이용한 차량정보수집연구결과 참조	-

○ 트램 운영기술과 관련한 신호운영기술은 국내에서 개발된 바가 없고, 기존의 버스우선신호 운영전략과 같이 버스의 이동성만을 고려한 알고리즘과 자전거 신호와는 제어목적 자체가 상이함

○ 트램차량과 기존의 도로교통이 개별적으로 운영되는 것을 전제로 하는 기존의 연구내용과는 차별화되어 있으며, 무가선 저상트램이나 바이모달 트램의 차량개발과 운행에 필요한 제반운영기술을 주된 내용으로 하는 연구와는 중복성이 없음은 물론, 실제 트램 차량개발 연구결과의 원활한 적용을 위해서는 본 연구내용이 전제되어야 할 것이라 판단됨

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 연구수행 전략 및 방법론

제 2 절 통합 신호운영전략의 개발

제 3 절 다수단 통합신호제어기 개발

제 4 절 다수단 통합신호제어 시뮬레이터 개발

제 5 절 통합 신호운영전략의 평가 결과

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 연구수행 전략 및 방법론

1. 연구의 흐름 및 추진체계

가. 전체 연구 흐름도

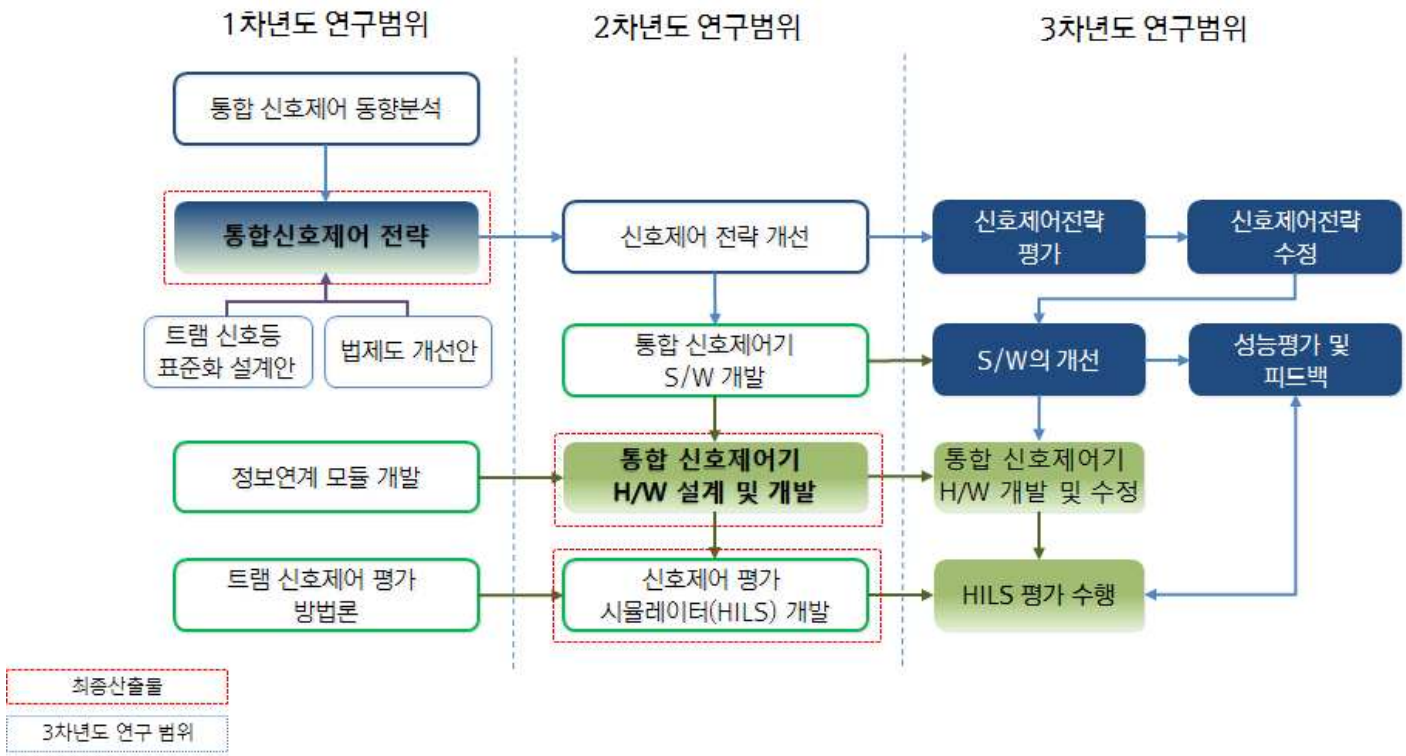
○ 본 연구는 총 3차년도에 걸쳐 통합신호제어 전략 개발, 통합 신호제어기 H/W 및 S/W 제작, 실시간 신호제어 평가 시뮬레이터 개발을 목표로 연구를 수행함

○ 1차년도 연구는 국내외 연구 동향과 트램 신호등 법제도 현황을 분석하고, 통합신호제어기와 HILS 설계를 위한 기초모듈 및 방법론을 개발함

○ 2차년도의 연구는 신호제어 알고리즘 개발과 통합신호제어기 및 HILS의 개발 수행함

○ 3차년도의 연구는 신호제어 알고리즘의 개선과 통합신호제어기의 개발 및 수정작업, HILS 시스템을 통한 신호제어 전략의 수행 평가함

○ 연구의 상호연계와 흐름은 <그림 2-1>와 같고, 연구의 최종 산출물은 트램 시스템의 기반기술 확보를 위한 통합 신호제어전략과 통합신호제어기를 개발하는 것으로 함



<그림 2-1> 연차별 연구 흐름도

나. 연구 추진전략 및 방법

○ 총 연구기간에 수행된 연구항목과 각 항목별 세부 추진계획 및 방법은 아래 <표 2-1>과 같음

<표 2-1> 연구추진 전략 및 방법

연차	연구항목	세부 추진계획 및 방법	수행 기간 (월)	수행 기관
1차년도	▪ 통합신호운영 동향 분석 및 개발방향 설정	▪ 관련 서적, 논문, 인터넷 등을 통한 국내외 신교통체계 사례 및 신호제어시스템 , 신교통수단에 대한 문헌조사 수행 ▪ 신호제어 목표 및 세부 운영기술 정의	12	서울시립대
	▪ 다수단 통합신호제어기 모듈 개발 및 시뮬레이터 구축방향 선정	▪ 다수단 통합신호제어 평가방법론 수립 ▪ 수단별 특성분석 및 제어수행목표 수립 ▪ 수단별 제어수행 목표에 따른 제어방향, 요구기능 정립 ▪ 세부 단위기술 정의	12	㈜세인
	▪ 수단별 신호등 운영사례 및 관련 법제도 고찰	▪ 문헌조사를 통한 국내외 관련 법/제도의 구성현황 조사 ▪ 관련 서적, 논문, 인터넷 등을 통하여 국내외 신호등 운영현황에 대한 문헌조사 수행	12	도로교통공단
2차년도	▪ 통합신호운영 프로세스 및 소프트웨어 개발	▪ 신호제어 프로세스 및 S/W 개발 - 통합수단 구성에 따른 알고리즘 적용방안 도출 - 다수단 통합연동신호제어 통합신호제어 알고리즘 개발 ▪ 시뮬레이션 모형 및 API를 통한 S/W 구현	8	서울시립대
	▪ 신호제어 세부요구기능 정의 및 제어기술 개발	▪ 신호제어서비스 세부요구사항에 따른 수단별 정보연계 인터페이스 설계(H/W) 및 제작 ▪ 신호운영 S/W 개발 요구사항 정립, 설계 ▪ 연계 교통시뮬레이션 모형 선정	8	㈜세인
	▪ HILS 구성을 위한	▪ 신호제어 평가시스템 S/W, H/W 설계	8	㈜세인

	시뮬레이터 개발	▪ 평가시스템 인터페이스 요구사항 정립 및 설계		
3차년도	▪ 다수단 복합도로 통합 신호운영 알고리즘의 구현 및 평가	▪ 다수단 복합도로 신호제어 알고리즘 분석을 위한 미시적시뮬레이터 선정 및 개발환경 설정 ▪ API 구현 및 1차 알고리즘 평가 ▪ 개발된 제어기 기반 HILS Test 수행	16	서울시립대
	▪ 신호제어 알고리즘 S/W제작	▪ 신호운영 S/W 개발을 통한 다수단 통합신호제어 알고리즘 구현 ▪ 통합신호제어기 작동 시험을 통한 신뢰도 확보 ▪ 미시적 통합신호제어 시뮬레이터 연계개발(API)를 통한 실험 및 검증	16	서울시립대
	▪ 통합신호제어기 제작	▪ 통합신호제어기 시작품 모듈 제작 ▪ 평가를 통한 보완 및 수정	16	㈜세인
	▪ HILS 구성을 위한 시뮬레이터 개발 및 분석실험	▪ 시스템 고도화 및 안정화 - 통합신호제어기 작동 시험 - 통합신호제어 시뮬레이터 기능구현 및 신뢰도 검증 시험	8	㈜세인
	▪ 최종보고서 작성	▪ 개발 내용 및 결과 보고서 작성	3	서울시립대

2. 통합 신호제어의 요구기능 정의

가. 대상 시스템의 범위

○ 본 연구는 간선도로에 설치되는 트램 전용차로 구간의 트램 운영 전략을 개발하기 위해 공간적 범위를 도시지역의 중앙 트램 전용차로가 설치된 간선도로로 한정하며, 일반차량과 함께 동일한 평면상의 신호교차로를 이용하여 교통신호의 제어를 받는 형태를 가정

○ 한 대의 트램차량이 전용차로를 따라 방향별로 각각의 1개 노선을 일정한

배차간격에 의해 주행하는 상황을 가정함

○ 2장에서 수행한 기존 트램운영 시스템 사례분석의 연구내용에 따라 본 연구에서 개발한 통합 신호제어전략의 제약조건 및 범위를 한정함

○ 첫 번째 주행차로의 특성은 일반차로, 전용차로, 혼용차로로 구분할 수 있고, 본 연구에서는 간선도로 내 전 구간의 트램 전용차로를 가정하여 신호제어 전략을 개발하였다. 트램의 주행차로의 위치는 도로 중앙의 전용차로 구간으로 한정함

○ 두 번째 차량의 특성은 일반차량과 분리되어 독립적으로 운행하는 한 개의 트램차량이나 다량의 트램차량으로 정의한다. 또한 일정한 거리의 폐색구간(Blcok Section) 내에서는 1대의 트램차량이 독립적으로 주행하여 신호교차로와 정류장을 통과하는 상황을 가정함

○ 세 번째 트램의 운영조건에서 트램 정류장의 위치는 중앙트램 전용차로의 Mid-Block과 Far-Side에 위치하고, 다수의 승객이 7.5초부터 22.5초까지 무작위로 승/하차 하는 것을 가정함

○ 트램 전용차로는 전 구간에서 복선으로 운행되며, 1방향 1개의 노선이 운행하여 트램차량 간의 추월이나 교차의 상황은 제외함

<표 2-2> 연구의 가정 및 조건

고려사항		제약조건	비고
주행차로 특성	차로종류	전용차로 및 궤도	-
	차로위치	도로의 중앙	-
차량의 특성	군집	1대의 차량이 독립적으로 운행	폐색구간 내 1대의 차량진입 가정
	차량편성	1량 or 다량편성	-
	주행능력	일반차량 대비 저속으로 운행	최대속도 80km/h
운영조건	정류장 위치	Mid-Block, Far-Side	교차로 정지선에서 80m 이상 상류부
	신호제어 위치	트램 정류장, 신호교차로 정지선	
	승·하차 시간	10초~60초	최소정차시간(10초)은 가변적
	운영노선	1개 (상행1, 하행1의 복선)	추월 및 교차 불가

나. 대상 시스템의 요구기능 정의

○ 본 연구는 간선도로 상의 트램 전용차로를 운행하는 트램과 기타 이동류를 고려하는 신호제어 전략을 개발함으로써 서로 다른 통행특성이 혼재된 도로를 각각의 이동류가 효율적이고 안전하게 이용하도록 하는 것을 목표로 하고 있음

○ 통합 신호제어의 연구 목표에 따라 트램 신호제어의 목표는 트램의 교차로 무정차 운영, 트램의 통행시간 최소화, 일반차량의 지체개선, 트램과 일반차량간의 안전성 확보와 같은 4개의 신호운영 목표를 설정하여 각각의 운영목표 달성을 위한 요구기능을 정의하고, 요구기능을 구현하기 위한 제어알고리즘을 개발함

○ 첫 번째, 트램의 교차로 무정차 통행은 교차로에서 트램 차량의 무정차 통행을 보장함으로써 대중교통의 이동성과 정시성 확보를 목표로 함

- 트램차량의 통행특성을 살펴보면 1주기에 1대의 차량이 신호교차로를 통과하므로 트램차량 1대가 교차로를 통과할 수 있는 최소 연동폭을 확보
- 트램의 경우에는 일정한 배차간격으로 인해 버스 우선신호처럼 다수의 차량이 불확실한 연동폭을 요구하는 상황이 일어나지 않으며, 이에 따라 타 이동류에게 현시변화에 따른 영향을 덜 미칠 수 있게 되므로, 1대의 트램차량이 하류부 교차로에서 정지 없이 통과하는 것을 신호제어의 목표로 하며, 이를 위해 트램 정류장의 정차시간을 제어함으로써 교차로 정지선에서의 의미 없는 대기시간을 방지함

○ 두 번째, 트램 정류장 정차시간 최소화는 트램 차량이 교차로에서 정지하지 않기 위해 상류부 정류장에서 장시간 대기하는 것을 방지하기 위해서 트램 우선신호를 통해 정차시간 최소화를 목표로 함

- 교차로에서의 정지시간을 공간적으로 정류장으로 옮기는 것뿐만 아니라 정류장 대기시간을 최소화하여 트램의 운영 효율을 높임
- 트램 우선신호 요청을 통해 트램차량의 정류장 대기시간을 최소화하고, 트램 정류장의 전용 신호등을 통해 차량의 출발시간을 제어

○ 세 번째, 일반차량의 지체최소화는 트램차량의 우선신호로 인해 발생하는

일반차량의 지체를 감소시키는 것을 목표로 함

- 일반적으로 버스우선신호와 같은 대중교통 우선신호의 경우, 다수 노선의 다수의 차량이 차량군을 이루어 정류장의 상류부 교차로의 신호와 정류장의 정차시간의 영향을 받아 교차로를 통과하기 때문에 우선신호에 필요한 시간이 일정하지 못하고, 우선신호 시간이 길어지게 되며, 현시의 변화에 따른 비우선현시 이동류의 지체가 가중되게 됨
- 하지만 트램차량은 선행차량의 영향을 받지 않는 1대의 차량을 처리하므로 트램과 일반차량의 신호연동 그룹을 구분하여 각 연동그룹의 통행특성을 반영하고, 최소한의 트램 연동폭을 확보한 후에 트램 연동폭 밖의 여유 녹색시간을 이용하여 일반차량의 지체를 최소화하는 전략의 신호최적화 알고리즘을 개발함

○ 네 번째, 트램과 일반차량의 신호교차로 통행의 안전성을 확보

- 트램 중앙전용차로가 설치된 간선도로에서는 트램차량과 일반차량이 동일한 평면교차로를 이용하기 때문에 트램의 직진차량과 좌회전하는 일반차량 간에 상충이 발생
- 본 연구에서는 이러한 전용차로 운영에 따른 신호교차로에서의 회전제약을 고려하고, 트램과 일반차량의 통행특성 차이를 반영한 신호 최적화 알고리즘을 개발함



<그림 2-2> 트램의 운영목표 및 요구기능 정의

3. 통합 신호제어 전략의 구성

○ 통합 신호제어 전략은 3단계의 유기적인 통합 신호제어 전략을 구축하여 트램차량의 무정차 통행과 동시에 일반차량의 지체를 최소화하는 것을 목표로 신호시간을 최적화하며, 트램의 교차로 도착시간을 예측하여 우선신호를 요청함으로써 트램의 교차로 무정차 통과를 지원하도록 함

- 1단계: Progression Control
  트램차량의 연동폭 확보, 일반차량의 신호시간 최적화 수행
- 2단계: Tram-Stop Signal Control
  트램 정류장 정차시간 제어 수행
- 3단계: Tram Priority Control
  능동식 트램 우선신호제어 수행

가. Progression Control

○ 일반적으로 신호운영센터에서 수행하는 전략으로 통합 신호제어를 위한 전체 시스템의 관리와 트램과 자동차의 교통정보 수집 및 최적 신호시간 산출을 수행

○ 1개의 트램 제어구간에서 트램 차량의 최소 연동폭과 일반차량의 지체개선을 위한 최적 신호시간 계획을 작성하고, 산출된 교차로 신호시간을 개별 신호교차로에 전달하여 TOD 제어를 수행함

○ 각 개별교차로의 감응식 신호제어와 트램 우선신호를 명령하고, 방향별로 트램의 통행특성을 고려한 최소 트램 연동폭 계산함

○ 이를 위해서 Passer-II 모형과 TRANSYT-7F 모형을 통해 트램의 속도와 정차시간, 교차로 회전제약을 반영하여 1주기에 1대의 트램차량이 교차로를 통과하는 트램의 최소연동폭을 확보하며, 동일한 제어구간 단위로 각각의 최적 신호주기, 현시순서, 현시길이, 옵셋을 산출함

○ Progression Control에서 고정식 우선신호를 위한 신호시간 산출 방법은 다음과 같음

- 고정식 우선신호를 위한 최적신호 산출은 구간 통행속도를 승용차가 아닌 트램 통행속도를 기준으로 하여 신호시간 변수를 결정하는 방법으로, 트램의 통행특성을 반영하여 트램 정류장과 신호교차로별 트램도착 예정시간을 미리 산정하여 이에 맞게 연동을 조정해 주는 기법을 사용함
- Passer 모형과 TRANSYT-7F 모형을 이용하여 각각의 모형특성을 이용한 결합모형 구축
- Passer 모형을 이용하여 1단계로 트램연동중심의 신호시간을 산정한 후, 트램의 연동폭을 유지한 상태에서, 2단계로 T-7F를 이용한 일반차량 지체 변화를 최소화하는 신호시간을 산정함



<그림 2-3> Passer + T-7F 결합모형

나. Tram-Stop Signal Control

○ 트램 운영구간 내 개별교차로의 통합 신호제어기에서 수행되는 전략으로 트램 우선신호를 위한 검지자료를 수집하여 트램 우선신호를 명령하고, 트램차량의 교차로 무정차 통과를 위한 정류장 최소 정차시간을 계산함

○ 신호제어기에서 트램의 운행정보를 수집하여 첫 번째로 트램의 교차로 도착 예상시간에 트램의 교차로 통과가 가능한지를 판단하고, 두 번째로 트램 우선신호 제어를 통해 교차로 통과가 가능한지 판단하며, 마지막으로 트램의 최소 정류장 정차시간을 계산하여 트램을 정류장에 대기시킴

○ 3단계의 제어를 통해 트램의 교차로 무정차 통과를 지원
- 1단계 제어 : 트램의 교차로 최소 정차시간 이후에 정차 없이 교차로를 통과하는 것이 가능한지 판단
- 2단계 제어 : 1단계에서 트램의 무정차 통과가 불가능할 경우, 트램 우선신호를 요청
- 3단계 제어 : 트램 우선신호 수행이 불가능할 경우, 트램의 정류장 정차시간과 현재 교차로 신호시간을 고려하여 트램의 정류장 최소 정차시간을 계산

○ 트램 차량의 정류장 최소 정차시간을 계산하기 위해서는 동일한 신호주기 동안의 대향방향 트램차량 진입에 대한 고려가 필요하고, 트램의 제어단위 간의 연동유지를 위한 처리가 필요함

다. Tram Priority Control

○ 트램 우선신호 제어의 세 번째 전략인 Tram Priority Control 전략은 트래 정류장이나 상류부 트램 검지기에서 요청된 우선신호 제어를 신호교차로에서 효과적으로 처리하기 위한 전략

○ 트램 운영구간 내 개별교차로의 신호제어기에서 수행되는 전략으로 Progression Control, Tram-Stop Signal Control과 함께 수행되며, Tram-Stop Signal Control에서 트램 우선신호 요청이 있을 경우에 트램 우선신호 제어를 수행

○ 트램 정차시간을 최소화하는 능동식 우선신호를 판단하는 처리가 필요하며, Early Green, Green Extension, Phase Insertion 전략을 사용하여 능동식 우선신호 제어를 수행

○ Tram Priority Control 전략의 첫 번째 목표는 능동식 우선신호 제어를 통해 트램의 교차로 정지를 방지하는 것이고, 두 번째 목표는 트램의 대기시간을 단축할 수 있는 능동식 제어기법의 선택을 통해 좀 더 효과적인 신호제어를 수행하는 것임

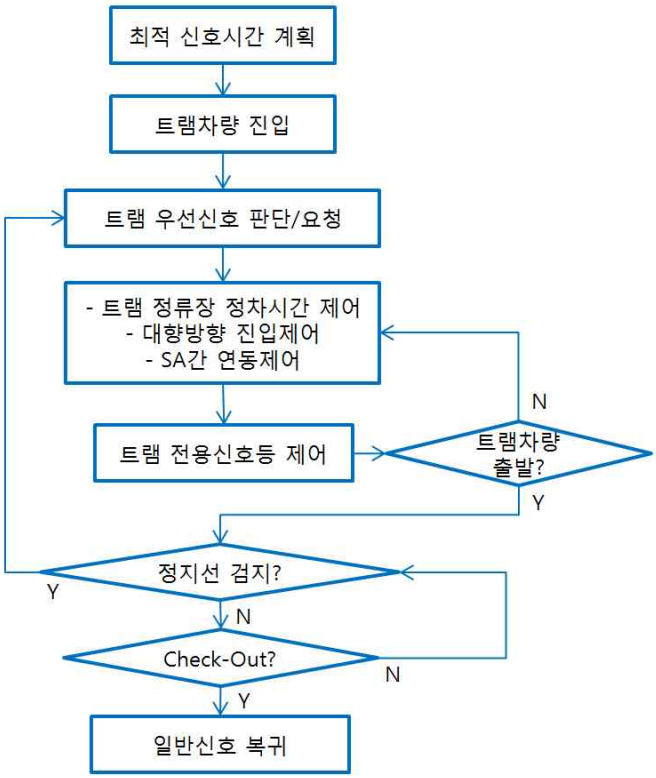
○ 모든 개별교차로 단위에서 트램차량의 도착시간과 하류부 교차로의 신호

현황에 따라 Green Extension과 Early Green, Phase Insertion 전략을 선택적으로 적용

○ 다양한 우선신호 제어전략 중 비우선현시의 최소시간 및 보행자 통행시간의 보장이 가능한 Early Green과 Green Extension 기법을 사용하여 트램차량에게 우선신호를 제공하고, 우선신호 제공에 따른 신호교차로와 트램정류장의 신호시간 변화를 계산

○ 트램 정류장이 설치된 링크에서는 트램의 교차로 무정차 통행을 목표로 트램차량의 진입과 동시에 신호제어기에 우선신호를 요청함

○ 신호제어기는 예측된 교차로 도착시간을 기준으로 우선신호의 수행여부를 판단하여 트램차량의 정류장 정차시간을 계산하고, 트램의 정류장 최소정차시간 이후, 매초마다 교차로 무정차 통과에 필요한 정류장 정차시간을 계산하여 트램정류장의 트램 전용 신호등을 제어함



<그림 2-4> 능동식 우선신호제어 순서

○ 능동식 우선신호의 제어순서는 다음과 같음

① 신호운영센터에서 계산된 최적신호시간을 받아서 고정식 우선신호 수행

② 트램차량이 트램정류장에 진입(정류장이 없는 링크에서는 검지기 Check-In)

③ 통합신호제어기로 우선신호제어 요청

④ 능동형 우선신호 제어가 필요한지 판단해서 트램의 정류장 정차시간을 계산하고, 트램정류장의 트램 전용 신호등을 제어 (정류장이 없는 링크는 하류부 교차로에서 능동형 우선신호 제어)

⑤ 트램차량이 출발한 이후, 정지선 검지기를 통해 트램차량이 교차로 정지선에 정차했는지 확인하고, 링크진출 검지기로 트램차량이 교차로를 통과했는지 확인한 후에 일반신호로 복귀

라. 계층적인 신호제어 전략의 구성

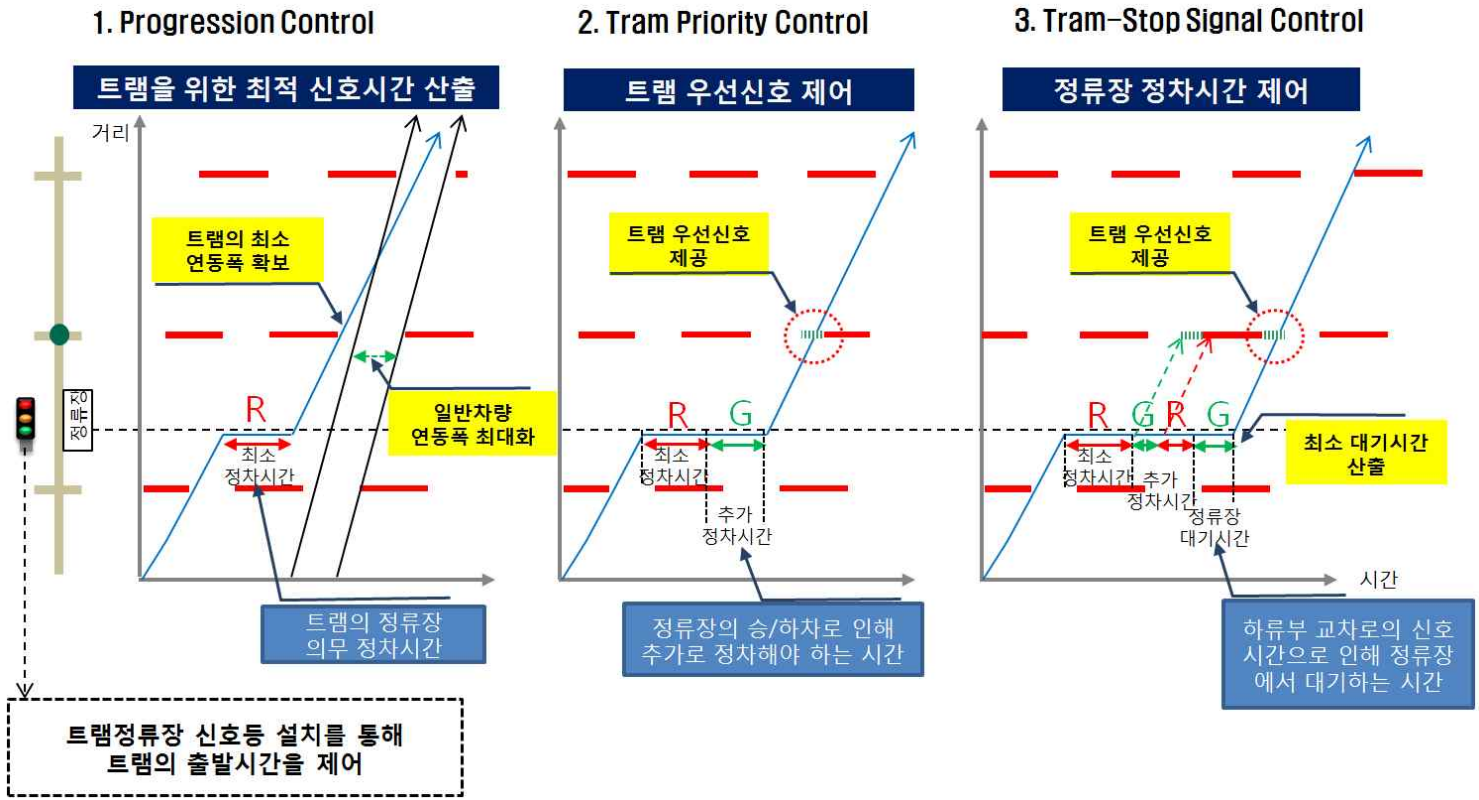
○ 트램의 통합신호제어 전략은 3단계의 계층적 전략으로 구성되고, 각 단계의 제어 알고리즘을 통해 다수단 복합도로의 통행특성이 상이한 이동류를 동시에 처리함

○ 1단계 Progression Control 단계에서는 트램차량이 정류장에서 최소 정차시간 만큼 정차하고 출발했을 때 하류부 교차로에서 정지없이 제어단위 내 모든 교차로를 통과할 수 있음

○ 2단계 Tram Priority Control 단계에서는 정류장의 추가 정차시간이나 특정 이벤트로 인해 트램이 고정식 연동폭 범위를 벗어났을 때, 추가적인 정차 없이 능동식 트램 우선신호를 통해 하류부 교차로를 통과할 수 있도록 함

○ 정차없이 하류부 교차로를 통과하기 위해 정류장에서 기다려야할 추가 정차시간은 정류장 정차시간 제어를 통해 계산됨

○ 3단계의 Tram-Stop Signal Control 단계에서는 트램 정류장에서 추가 정차시간이 길어져 하류부 교차로에서 정지해야할 상황에서, 트램 전용 신호등의 실시간 신호제어를 통해 트램차량의 출발을 통제함으로서 하류부 교차로에서 정지없이 통과가 가능한 시간에 출발시킴



<그림 2-5> 3단계 계층적 우선신호 제어전략 개념도

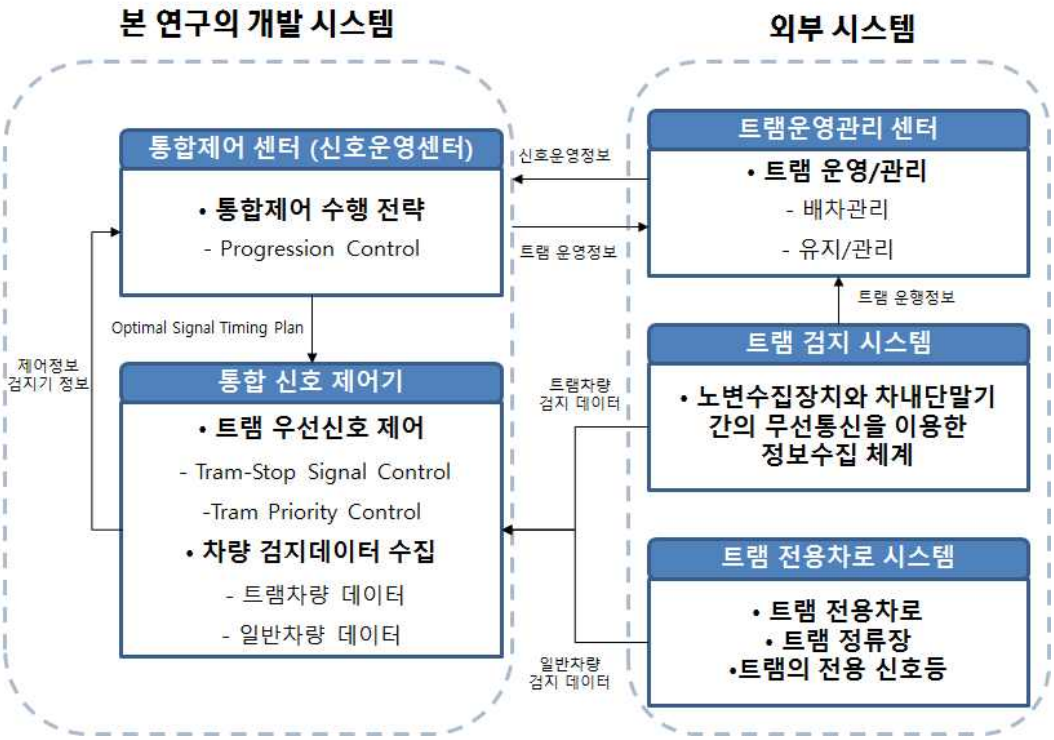
4. 통합 신호운영 시스템 정의

가. 트램 운영 시스템 개요

○ 트램 우신신호 제어를 위한 통합운영 시스템은 신호제어전략에 따른 신호제어 알고리즘을 수용하기 위한 시스템을 구성

○ 무선통을 이용한 열차제어 시스템(CBTC: Communication-Based Train Control System)에 기반으로 통합운영 시스템을 구성

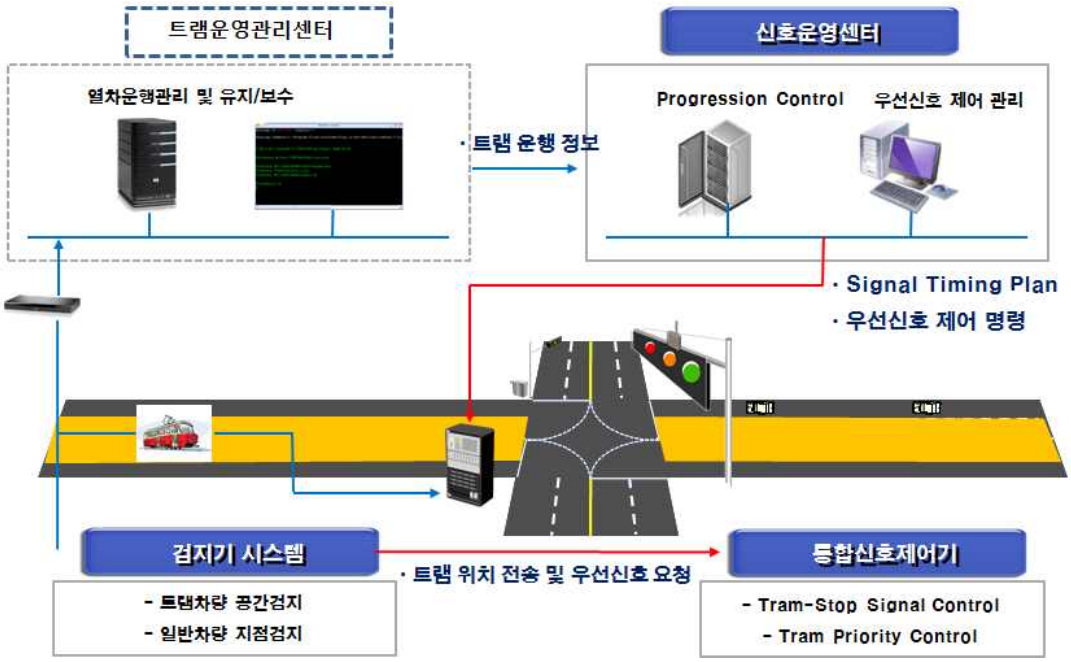
- 트램운영관리센터는 차량의 배차관리, 운행정보제공 등의 기능을 수행
- 신호운영센터는 Progression Control전략을 수행하고, 통합신호제어기를 관리
- 통합신호제어기는 통합신호제어 전략의 Tram-Stop Signal Control과 Tram Priority Control 전략을 수행



<그림 2-6> 트램 운영 시스템 정의

나. 통합 신호운영 시스템 구성요소

- ○ 통합 신호제어를 위해 필요한 시스템은 신호운영센터 시스템, 차량검지 시스템, 통합신호제어 시스템의 3가지로 구성되고, 트램운영관리센터에서는 열차의 운행관리 및 유지/보수 역할을 수행
- ○ 각 시스템은 트램 우선신호를 위한 유기적인 정보전달과 명령을 통해 통합신호제어 전략을 수행
- ○ 신호운영센터와 통합신호제어기 간 유선통신을 통해 차량검지 정보와 최적 신호시간계획, 우선신호 제어 명령을 전달
- ○ 각 교차로의 통합신호제어기 간에는 유선통신을 통해 트램차량의 운행정보와 현재 신호시간을 전달
- ○ 차량검지 시스템은 차량검지기를 통해 수집한 트램의 운행정보를 통합신호제어기로 전달



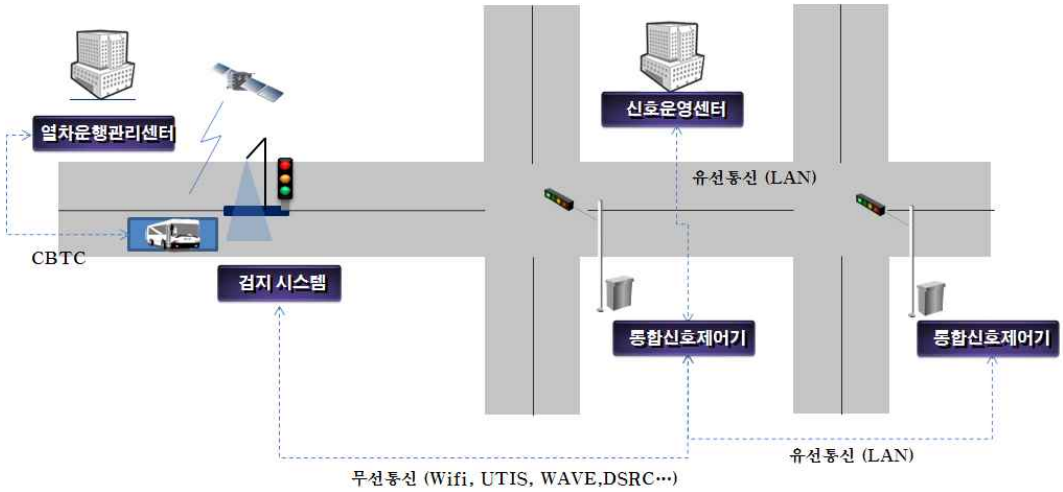
<그림 2-7> 통합 신호운영 시스템 구성

1) 신호운영 센터

- ○ 신호운영 센터는 전체지역을 관리하고, 최적 신호제어 변수를 산출하는 컴퓨터와 신호제어 지역과의 자료 송수신 장치 등으로 구성
- ○ 온라인 제어를 통해 전체 시스템의 운영 및 관리 기능 수행
- ○ 신호통합신호제어기로부터 트램차량과 일반차량의 검지자료 수집 및 분석 수행
- ○ 검지기 수집자료를 바탕으로 최적 신호시간 계획 작성
- ○ 트램의 운행정보와 일반차량의 검지정보를 통해 트램차량의 고정식 우선신호 신호시간을 작성
- ○ 기본적인 교차로의 트램차량과 일반차량의 신호최적화에 필요한 신호제어 변수를 신호통합신호제어기에 전송하고, 우선신호를 제어하는 기능 수행

2) 통합신호제어기

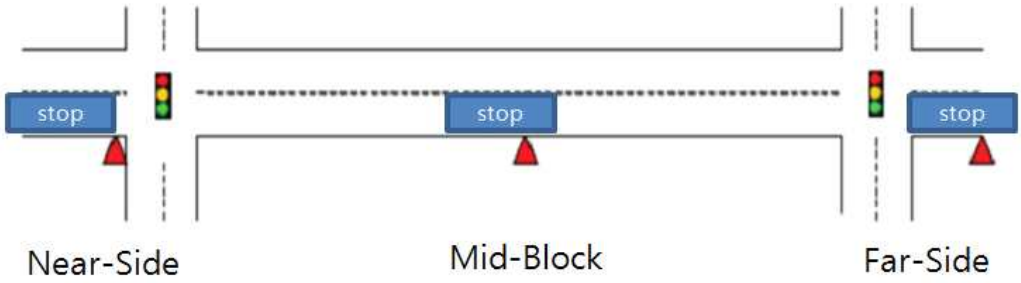
- ○ 통합신호제어기는 차량검지정보를 통해 우선신호 시간을 계산하고 신호등을 등기하는 신호제어기와 검지자료를 처리하는 차량검지보드로 구성되며, 차량검지기 보드는 트램 전용 검지기와 일반검지기와 연결이 가능하도록 구성
- ○ 센터에서 계산된 신호시간과 검지기에서 수집되는 교통상황정보를 토대로 신호를 계산하여 신호등을 구동시킴
- ○ 센터에서 계산된 신호로 교차로와 트램정류장의 신호등을 구동시키되, 트램검지기의 실시간 정보를 토대로 트램 우선신호 제어를 수행
- ○ 트램 전용 신호등을 제어하기 위한 트램의 정류장 정차시간 계산
- ○ 우선신호 제어를 수행하는데 필요한 실시간 데이터를 이웃한 2개의 교차로와 통신을 통해 교환하여 대향차로의 트램차량이 교차로를 통과하는 시간을 고려함



<그림 2-8> 구성요소 간 통신방식

3) 트램 정류장

- 트램 전용차로의 정류장은 도로 중앙에 교통섬의 형태로 설치되며, 승객의 승/하차 및 트램차량의 신호대기 공간으로 활용
- 정류장의 설치위치는 가로 중간(Mid-Block)에 설치되는 형태와 교차로 직전(Near-Side), 교차로 건너(Far-Side)에 설치되는 형태로 구분



<그림 2-9> 트램 정류장 위치

- 근측 정류장(Near-Side)과 원측 정류장(Far-Side)은 교차로의 유출부와 유입부에 각각 위치하여 교차로부의 횡단보도와 연계하여 설치가 가능하고, 추가적인 단일로 횡단보도 신호의 설치가 불필요

○ 근측 정류장은 교차로 정지선과의 이격거리가 짧아서 능동식 우선신호를 적용하는데 신호운영 상의 효율이 저하되고, 안전상의 위험이 따름

○ 따라서 완전한 능동식 우선신호의 적용이 가능한 원측 정류장과 가로 중간 정류장을 대상으로 트램 정류장 설치위치를 결정

○ 트램 정류장 설치위치

- 능동식 우선신호를 수행하기 위해서는 현시를 미리 요청하거나 연장해야 하므로 능동식 우선신호의 효율을 최대화하기 위해서는 가능한 정지선으로부터 D만큼 후방에 설치

- D값은 일반적으로 단위연장시간은 10초 내외로 적용하고(Garrow, 1998;, Levinson, 2003), 트램의 평균주행속도는 7.8(m/sce)로 가정하여 산정함

$$D = U \times V$$

여기서, D = 트램 정류장의 정지선으로부터 교차로 정지선까지 거리 (m)
U = 우선현시의 연장시간 (sec) $(\simeq 10\mathrm{sec})$
V = 트램의 평균주행속도 (m/sec) $(\simeq 7.8m/\mathrm{sec})$

<표 2-3> 트램 정류장 위치

구분	정류장 위치	비고
가로 중간 정류장 (Mid-Block)	하류부 교차로 정지선부터 78m 이전지점 설치	- 능동식 우선제어 가능 - 정류장 정차시간 최소화 가능
교차로를 지난 원측 정류장 (Far-Side)		- 능동식 우선제어 가능 - 정류장 정차시간 최소화 가능 - 교차로부의 2단 횡단보도와 연계하여 운영 가능
교차로 직전 근측 정류장 (Near-Side)		- 완전한 Early Green 및 Green Extension 불가능 - 트램정류장 신호대기 가능성 증가

4) 트램 전용 신호등

○ 트램 전용차로의 트램차량을 제어하기 위한 신호등은 트램중심의 신호운영 및 교차로 신호운영의 효율성 증대를 위해 트램 정류장과 신호교차로에 설치가 필요함

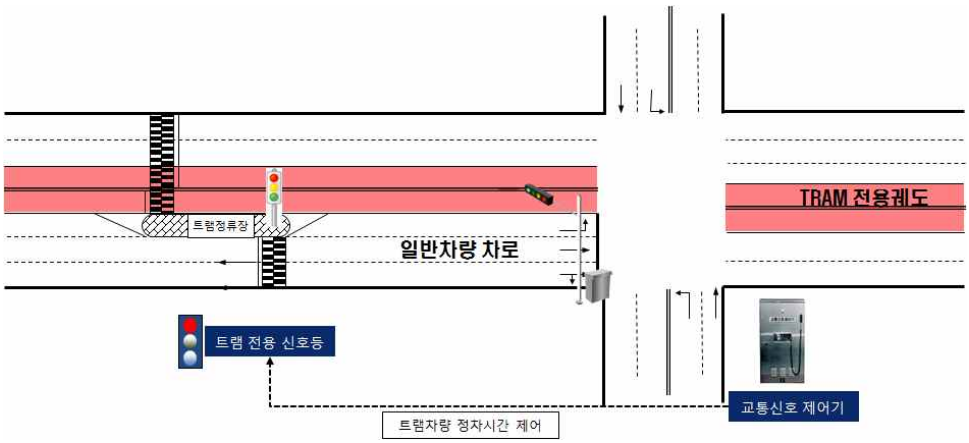
○ 트램 전용차로의 트램차량과 일반차로의 승용차 및 버스이동류 각각의 전용신호등을 이용하여 신호교차로의 통행권을 부여

○ 트램 전용차로와 일반차로의 직진현시는 동일 배리어 내에 존재하나 좌회전현시와 동일한 중첩처리로 운영이 불가능하며, 개별적인 현시체계의 적용을 위해 트램전용의 신호등 설치는 신호교차로 효율성 제고를 위한 필수사항에 해당됨

○ 특히 본 연구에서는 트램의 교차로 무정차 통행을 위해 트램차량의 정류장 정차시간을 제어함으로써 트램정류장에 트램 전용 신호등을 설치하여 트램의 정차 이후 출발시간을 제어함

○ 트램 전용 신호등은 트램 및 일반차량의 모든 운전자들이 트램전용임을 인지할 수 있는 디자인 특성이 부여된 신호등을 의미하며, 이를 통해 운전자의 혼란방지 등 신호교차로의 안전성 증대가 가능함

○ <그림 2-10> 간선도로의 트램 전용차로에서 트램 전용신호등의 설치위치를 나타냄



<그림 2-10> 트램 전용 신호등 설치 위치

○ 트램 전용 신호등의 설치방안

- 트램 전용차로 및 일반차로의 운전자 혼동을 방지하기 위해 중앙 트램전용차로를 위한 중앙차로신호등을 운영함. 또한 중앙차로신호등은 일반차로의 교통류를 위한 신호등과 차별화된 디자인을 적용함

- 트램 전용차로의 정류장에 지주식으로 설치하고, 신호교차로에서의 통행권에 대한 혼란을 방지하기 위해 일반신호등과 병행하여 설치함
- 중앙트램 전용차로를 운행 중인 운전자는 모든 정류장과 교차로에서 트램전용 신호등만의 지시를 따를 수 있도록 하며, 특히 정류장에서 불확실한 정차시간으로 인해 교차로의 정차가 발생하므로 교차로 무정차 통과가 가능한 시간을 트램 전용 신호등을 통해 운전자에게 알려주고, 돌발상황의 발생으로 인한 교차로 정차는 교차로의 트램전용 신호등을 통해 제어



<그림 2-11> 독일의 트램 전용 신호등 설치 예

다. 검지체계 구성

○ 자동차와 트램의 통합신호운영을 위해 사용되는 교통정보 수집장치는 일반차량의 통행관련 제반 정보수집뿐만 아니라, 트램 전용차로를 운행하는 트램차량의 위치정보를 수집하여 신호제어에 활용해야함

○ 현재 사용되는 차량검지기는 크게 지점 검지체계와 구간/공간 검지체계로로 나누어짐

○ 지점검지체계는 도로상의 한 지점(point)의 교통류특성을 검지하는 검지기로, 설치지점의 교통량, 속도, 점유율 등을 검지하고, 여러 지점의 검지기 자료를 이용하여 다양한 2차 정보의 추정이 가능하며, 센서의 매설유무에 따라 매설형과 비매설형으로 나눌 수 있음. 매설형 검지기로 루프검지기와

자기 검지기 등이 있으며 비매설형 검지기는 영상검지기, 적외선검지기, 초음파검지기, 레이더검지기기 등이 있음

○ 구간/공간검지체계는 도로 구간의 통과시간을 수집하기 위한 검지기로 차량 위치파악기술과 파악된 위치정보 교환을 위한 통신기술의 통합이 필요하며, 최근에 GPS 방식과 Beacon을 이용한 방식으로 차량의 위치를 파악하고, DSRC(Dedicated Short Range Communication), 무선랜(Wireless Local Area Network)통신, WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments) 등과 같은 양방향 무선통신 기술을 이용하여 차량과 노변장치(V2I), 차량과 차량(V2V)간의 통신을 이용하여 정보를 전달

○ 도로구간의 인프라에 따라 지검검지체계는 특정지점의 정보를 수집하여 통행속도 및 교통량, 점유율 등의 교통정보를 산출하고, 구간/공간검지체계는 특정 구간의 정보를 수집하여 교통정보를 산출함

○ 따라서 이러한 각 검지기의 특성을 파악하여 본 연구에서 통합신호제어를 위해 필요한 트램 검지체계를 구성함

1) 국내·외 교통정보 수집 기술 적용 현황

◦ BRT 통신기술 현황

- 본 연구의 트램 차량 우선신호와 유사한 시스템으로 BRT 시스템이 있으며, 국내/외 신호제어 시스템에서 각종 지점 검지방식과 공간 검지방식의 데이터를 활용한 우선신호 시스템에 활용하고 있음

- 국내 검지기술개발 현황은 기존 ITS 환경 하에서는 다양한 지점검지체계(루프검지기, 영상검지기, 적외선검지기, 지자기검지기, 초음파검지기, 초단파검지기)를 활용하여 한정된 지점의 교통정보를 수집하고 있음

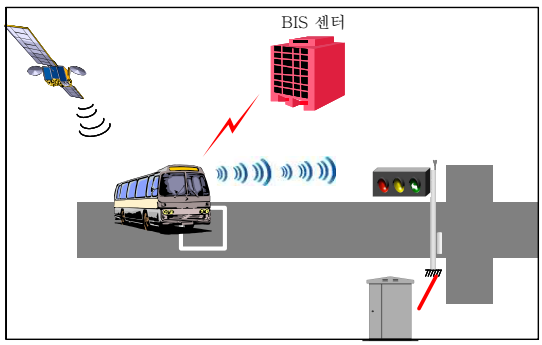
- 지점검지체계를 통해서도 대기행렬길이, 속도, 통행시간과 같은 정보의 수집이 가능하나 이는 교통정보 수집을 위한 별도의 수집장치를 필요로 하고, 지점정보를 기반으로 산출된 구간정보는 정확성에 한계가 있음

<표 2-4> 교통정보 수집 사례분석

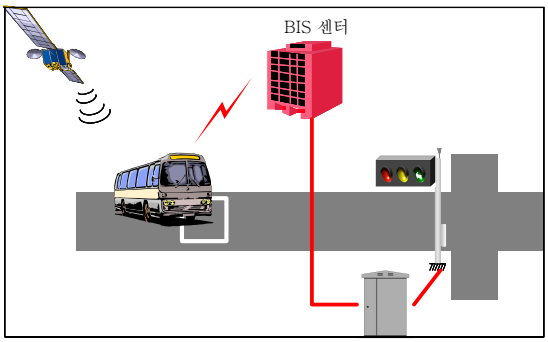
명 칭	장 소	제 어 방 법	검지방법	비 고
Aalborg	덴마크	• Entry line과 Report line을 설치하여 TPC에 의한 제어	DGPS 속도계	두 개의 노선에 실시한 후 통행시간 감소
BLISS RAPID	호주 Brisbane	• Advance loop와 Stopline loop를 이용하여 우선권 부여	VID(AVL) 루프 검지기	주도로 20초, 간선도로 90초 운행시간 단축
CELTIC	Lyon Toulouse	• 상황 분석과 최적화를 매초 실시하는 조건적 우선제어 전략	루프 검지기 전용 차선	여행시간 11~14% 표준편차 19~29%
CGA 시스템	프랑스	• Beacon으로 차량의 접근을 감지하고, 차량 정보 및 현시를 PT AVL 컴퓨터에 의해 제어	AVL system	여행시간 4~5% 감소
MOVA	영국 London Winchester	• 우선제어 차량에 대해 녹색현시 연장 • 긴급차량 최상위 우선제어	Transponder 루프 검지기	버스 여행시간 감소
OPTICOM	미국 유럽 40,000개의 교차로	• 고속도로 노선에 우선권 부여 • AVI 기반 시스템 • Queue jumping, 고속버스 우선, 연장 및 재현시의 세가지 전략	Emitter Detector GPS를 이용한 INFO 시스템	- 여행시간 4분 감소 - 교차로에서 통행시간 15초 감소
PRODYN	Brussels Pau Toulouse	• 각 교차로의 우선제어 차량을 종합하여 최적화 운영	GPS odometer	-
SCOOT	영국 Leeds외	• 녹색현시 연장 및 재현시 • 비우선차량의 포화도를 조사하여 우선제어를 제한하는 기능 포함	Transponder AVL시스템을 이용한 SVD	버스 지연시간이 20~30% 감소
SPOT	Leeds	• 루프검지기를 이용하여 버스의 도착시간을 예상하여 제어	루프 검지기	버스 여행시간이 약 10%감소
SPRINT	London	• 녹색현시 연장 및 재현시 • 차량 검지 후 알고리즘에 의한 제어	Transponder 루프 검지기	3km 11개 정류장 교차로 2초 감소 부도로 6초 감소
UPOPIA	Bologna	• GPS를 이용하여 버스를 모니터링 • 170개의 교차로에 설치 운영 • 녹색현시 연장	GPS	
MODERATO	일본	• Infrared Beacon을 이용 교차로간 녹색시간 연동으로 통과시간 최소화	Infrared Beacon 차내외 VMS	버스통행시간 약 6% 감소

○ 고양시 버스우선 신호 시스템

- 고양시의 버스우선 신호시스템은 ‘active priority’ 와 ‘passive priority’ 두 방식을 사용하여 ‘passive priority’는 검지 유무와는 상관없이 미리 정해진 신호 계획에 따라 우선 신호를 제공하고, ‘active priority’는 검지 유무에 따라 적절한 우선 신호를 제공함
- Local Intersection Level의 시스템에서는 차내의 단말기와 교차로의 RSE(Road Side Unit)과의 통신에 의해 에 수집된 버스 노선별 headway, schedule 등의 데이터를 센터로부터 수신
- RF transponder(or optical emitter, DSRC)의 통신장비를 이용하여 GPS 방식에 의해 검지된 데이터를 이용하여 교차로 신호제어기에 버스의 우선신호를 요청
- Center Level 시스템은 센터에서 개별차량의 GPS 데이터를 수집하여 버스의 위치를 확인하고, headway와 schedule에 따른 우선신호를 지시함



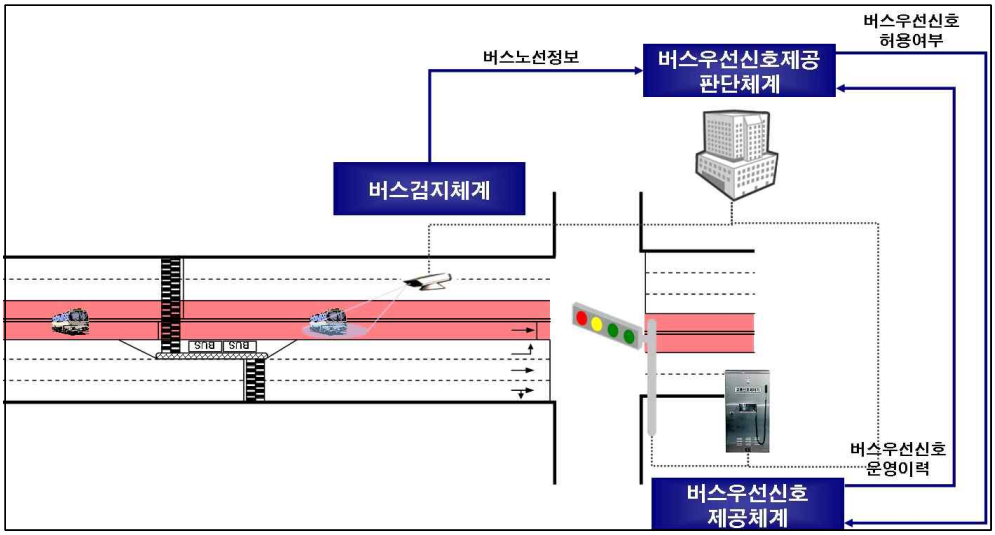
<그림 2-12> Local Level의 고양시 시스템 구성



<그림 2-13> Center Level의 고양시 시스템 구성

○ 청라-강서 버스우선 신호 시스템

- 청라-강서 간 버스우선신호 시스템은 실시간으로 버스의 위치확인을 위한 버스검지체계, Conditional Priority를 통한 버스 우선신호의 제공 여부를 결정하기 위한 교통신호운영센터의 버스 우선신호제공 판단체계, Early Green, Green Extension을 구현하기 위한 교통신호제어기의 능동형 버스우선신호 제공체계로 구성됨



<그림 2-14> 청라-강서 버스우선신호 시스템 구성 예

2) 자동차와 트램의 통합 신호운영을 위한 검치기 체계 구성

○ 트램 전용차로 도입에 따른 트램 우선신호와 일반차량의 신호최적화를 위해 수집되어야 할 자료를 분석하고, 그에 따른 검지기의 요구사항을 분석하여 자동차와 트램의 통합운영제어를 위한 검지체계의 방향을 제시

○ 새로운 시스템인 트램이 설치될 구간은 중앙전용차로가 설치될 것으로 예상되므로, 트램의 검지시스템은 공간검지방식을 사용하고, 일반차로의 자동차를 위한 검지방식은 기존의 지점검지를 활용하도록 함

<표 2-5> 트램과 일반차량의 검지자료 정의

제어 대상	검지기 유형	통신방식	수집되는 교통정보
일반차량	기존 매설 or 비매설 검지방식	검지기-제어기 간 유선	교통량, 속도, 점유율, 차종분류 등
트램	IR-DSRC방식	▪ 트램-RSE 간 무선통신 (DSRC) ▪ RSE-제어기 간 무선통신	차량ID, 차량존재 유/무, 속도, 통행시간 등

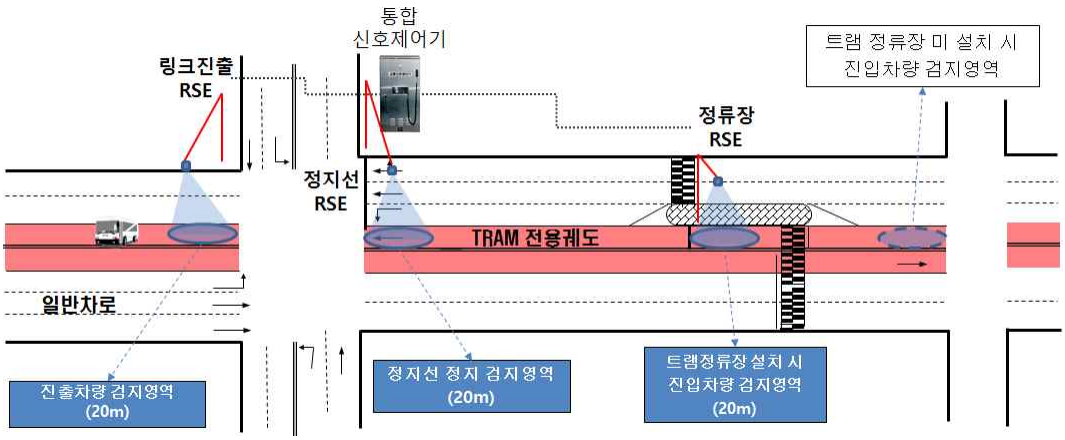
○ 트램 우선신호를 수행하기 위한 수집자료를 정의하고, 그에 따른 추가적인 검지기 요구사항을 분석하여 검지기 체계를 결정

○ 트램차량의 실시간 정보수집을 위한 첫 번째 대안으로 트램차량 내 장착된 OBE와 링크에 설치된 RSE를 이용한 공간검지체계를 구성함

○ 트램차량의 진입정보를 위해 정류장이 설치된 링크에서는 트램 정류장의 정지선에서 위치와 시간정보를 수집하고, 트램 정류장이 설치되지 않은 링크에서는 링크 상류부 80~150m 지점에 RSE를 설치하여 위치정보와 시간정보를 수집하고, IR-DSRC의 적외선 광대역 통신의 통신영역은 20m로 규정

○ 트램차량의 진출정보를 수집하기 위해 하류부의 링크의 진입부에서 위치정보와 시간정보를 수집함

○ 돌발상황으로 인해 트램차량이 교차로의 정지선에서 정차했을 경우, 우선신호의 요청을 위해 교차로 정지선의 위치정보와 시간정보를 수집함

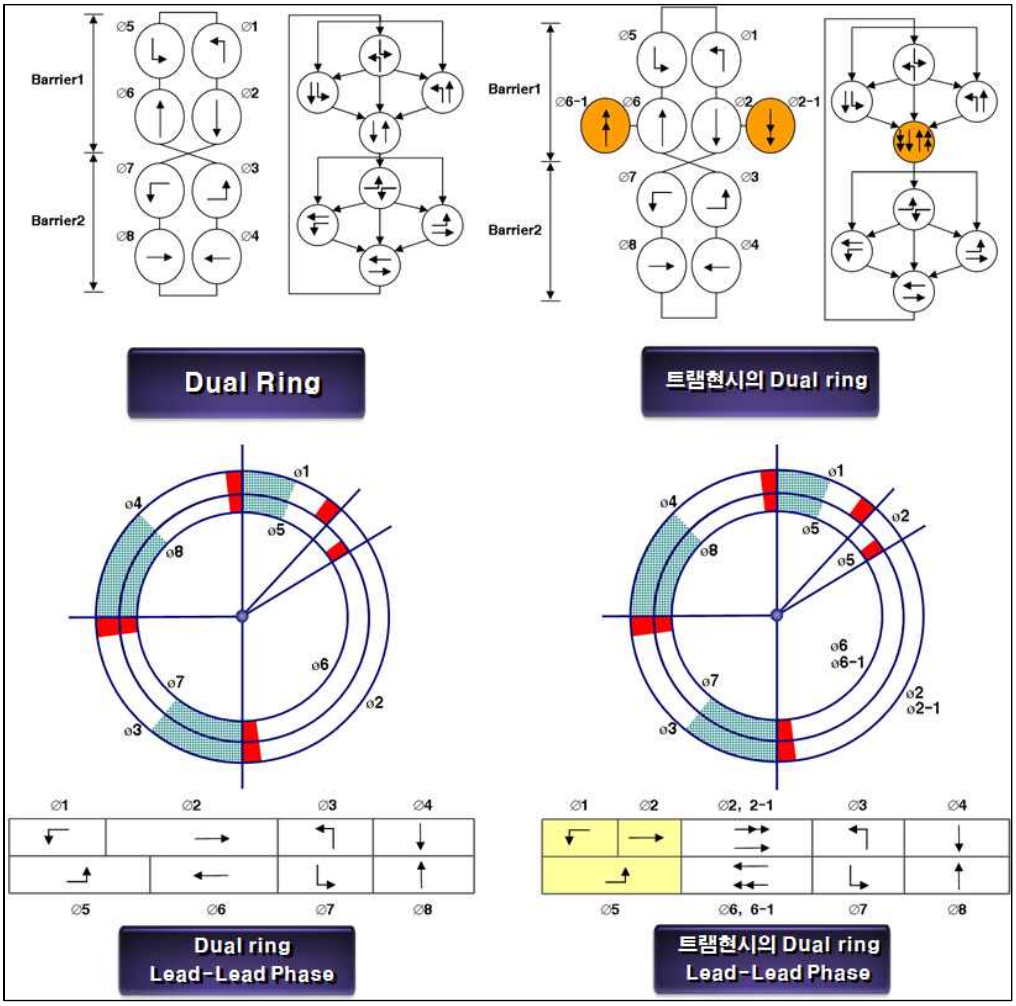


<그림 2-15> 트램차량 정보수집을 위한 검치체계 구성

라. 현시체계의 구성

○ 트램 전용차로가 설치된 간선도로에서 트램 우선신호를 운영하기 위해서는 기존 8현시 체계의 Dual-Ring과는 달리 아래 그림과 같이 트램현시의 처리를 위한 별도의 부가적인 현시의 정의가 필요

○ 중앙전용차로 상에서의 현시체계는 NEMA 현시번호를 기준으로 Barrier 내부의 중첩현시 처리에 있어 트램 차량의 주행현시에 해당되는 2-1, 6-1 현시가 일반차로의 좌회전 1, 5 현시와 중첩 서비스를 제공할 수 없으며, 일반차량을 위한 1, 5 현시와 2, 6 현시는 교차로의 트램 전용 신호등을 이용하여 중첩현시의 제공이 가능함



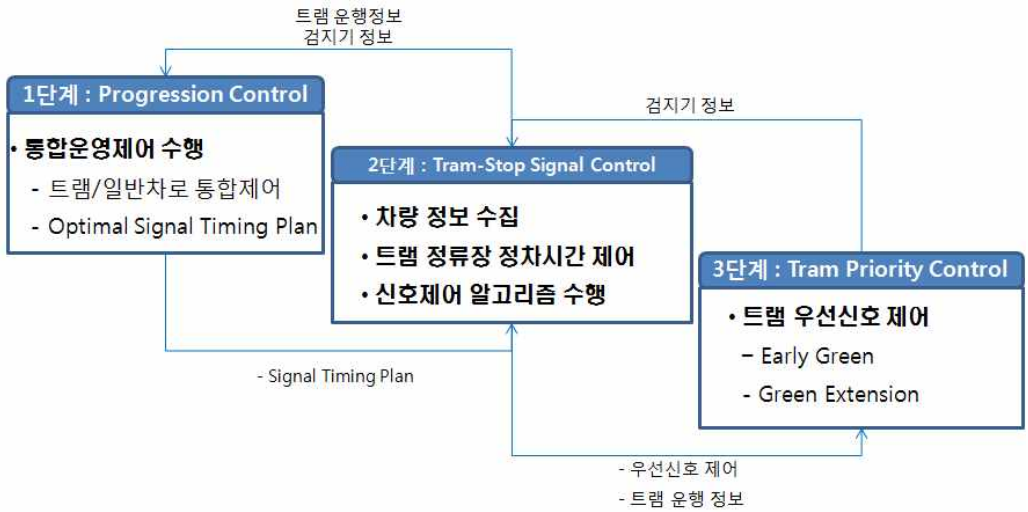
<그림 2-16> 트램 전용차로를 위한 현시체계 구성방안

제2절 통합 신호운영전략의 개발

1. 트램 신호운영전략의 개요

가. 통합 신호제어 전략의 구성

○ 통합 신호제어 전략은 3단계의 계층적 신호제어 전략으로 구성되고, 유기적인 정보교환을 통해 트램의 무정차 통행과 동시에 일반차량의 지체를 최소화하도록 함



<그림 2-17> 3단계 계층적 우선신호 제어전략 수립

○ 1단계 Progression Control은 우선적으로 트램의 연동폭 확보, 일반차량의 신호시간 최적화를 동시에 달성하는 최적 신호시간 계획을 적성하는 것을 목표로 하고, 차량검지 및 실시간 신호제어 시스템을 필요로 하지 않음

○ 2단계 Tram-Stop Signal Control은 트램 정류장 정차시간 제어를 수행함으로서 트램이 하류부 교차로에 정차하지 않는 신호시간을 실시간으로 작성하고, 트램정류장과 전용신호등을 필요로 함

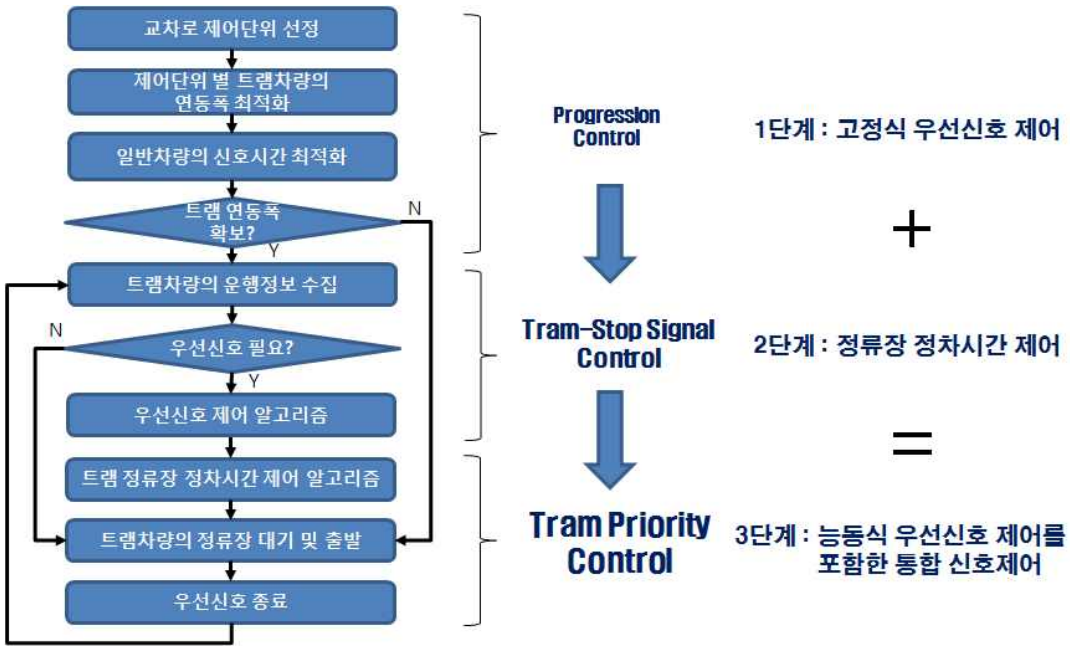
○ 3단계 Tram Priority Control은 트램 차량이 Progression Control의 트램 연동폭을 벗어났을 경우, 이를 회복시키기 위해 수행함

나. 통합 신호제어 전략의 3단계 수행 과정

○ 자동차와 트램의 통합 신호제어를 위한 신호운영 과정은 상위 제어단계에서 하위 제어단계로 순차적으로 명령을 전달함

○ Progression Control 단계와 Tram-Stop Signal Control 단계, Tram Priority 단계는 상호 유기적으로 제어에 필요한 정보를 실시간으로 교환하여 고정식 우선신호의 한계를 능동식 우선신호 제어를 통해 보완하고, 트램 정류장의 정차시간 제어를 통해 우선신호 전략의 한계를 극복함

○ 3단계의 통합 신호제어전략의 전체적인 수행과정은 아래의 그림과 같으며, 각 상위 제어단계에서 하위 제어단계로 제어명령을 수행함



<그림 2-18> 통합 신호제어 전략 수행과정

○ Progression Control은 TOD(Time Of Day) 신호제어의 개념으로 신호운영센터에서 제어를 수행하며, Tram-Stop Signal Control과 Tram Priority Control 단계에서는 실시간 신호제어의 개념으로 개별교차로 단위의 각 신호제어기에서 제어를 수행함

○ 교차로 제어단위 구분

- 트램과 일반차량의 통행특성에 따라 제어그룹을 분리하여 트램 전체 구간의 운영 효율성을 높이고, 제어단위별로 트램과 일반차량의 신호최적화

○ 트램차량의 연동폭 최적화

- 트램의 연동폭을 최적화하기 위해서 Passer 모형을 이용하여 트램의 운행 특성을 고려한 신호주기, 현시시간, 옵셋, 현시순서를 결정

○ 일반차량의 신호시간 최적화

- T-7F 모형을 이용하여 일반차량의 지체를 최소화하기 위한 최적신호시간을 산출

- 트램차량의 연동폭 제약하에 일반차량의 옵셋을 최적화

○ 감응식 신호제어 수행

- 주방향의 좌회전과 부방향의 직진/좌회전 차로에 대해 감응식 신호를 운영하여 해당현시의 조기종결 및 현시생략을 수행하고, 생략 및 조기종결된 신호시간을 주방향의 직진에 부여하여 트램차량 및 일반차량의 신호시간을 확보함

○ 우선신호 제어 수행

- 트램차량의 교차로 통과여부를 판단하여 트램 우선신호 요청

- Green Extension, Early Green, Phase Insertion 전략 중 트램의 대기시간이 가장 짧은 신호제어 전략을 선택하여 수행

○ 정류장 대기 및 출발 제어 수행

- 우선신호 제어를 통해서 트램차량의 교차로 무정차 통과가 불가능할 경우, 트램차량의 정류장 최소대기시간을 산출

- 트램신호등을 통해 최소대기시간 동안 트램차량을 정류장에 대기시키고, 트램차량이 교차로를 통과하면 트램 우선신호를 종료함

다. 신호제어 알고리즘 수행 순서

○ 통합 신호제어 전략에서 정의된 바와 같이 통합 신호제어기에서 트램의 정류장 정차시간을 계산하기 위한 신호제어 알고리즘은 4가지로 구성

- 트램 정류장 정차시간 제어 알고리즘
- 대향방향 상충 판단 알고리즘
- SA 간 연동제어 알고리즘
- 우선신호 판단 알고리즘

○ 트램 정류장 정차시간 제어는 트램의 정류장 최소정차시간을 계산하기 위한 프로세스로서 트램의 우선신호가 필요하다고 판단될 경우에 수행됨

○ 대향방향 진입제어 알고리즘은 트램의 대향방향에서 트램이 동시에 우선신호를 요구할 경우, 트램 차량간 상충을 방지하기 위해서 수행되고, 트램 정류장 정차시간 제어 알고리즘 수행 시, 필요하다고 판단되면 수행됨

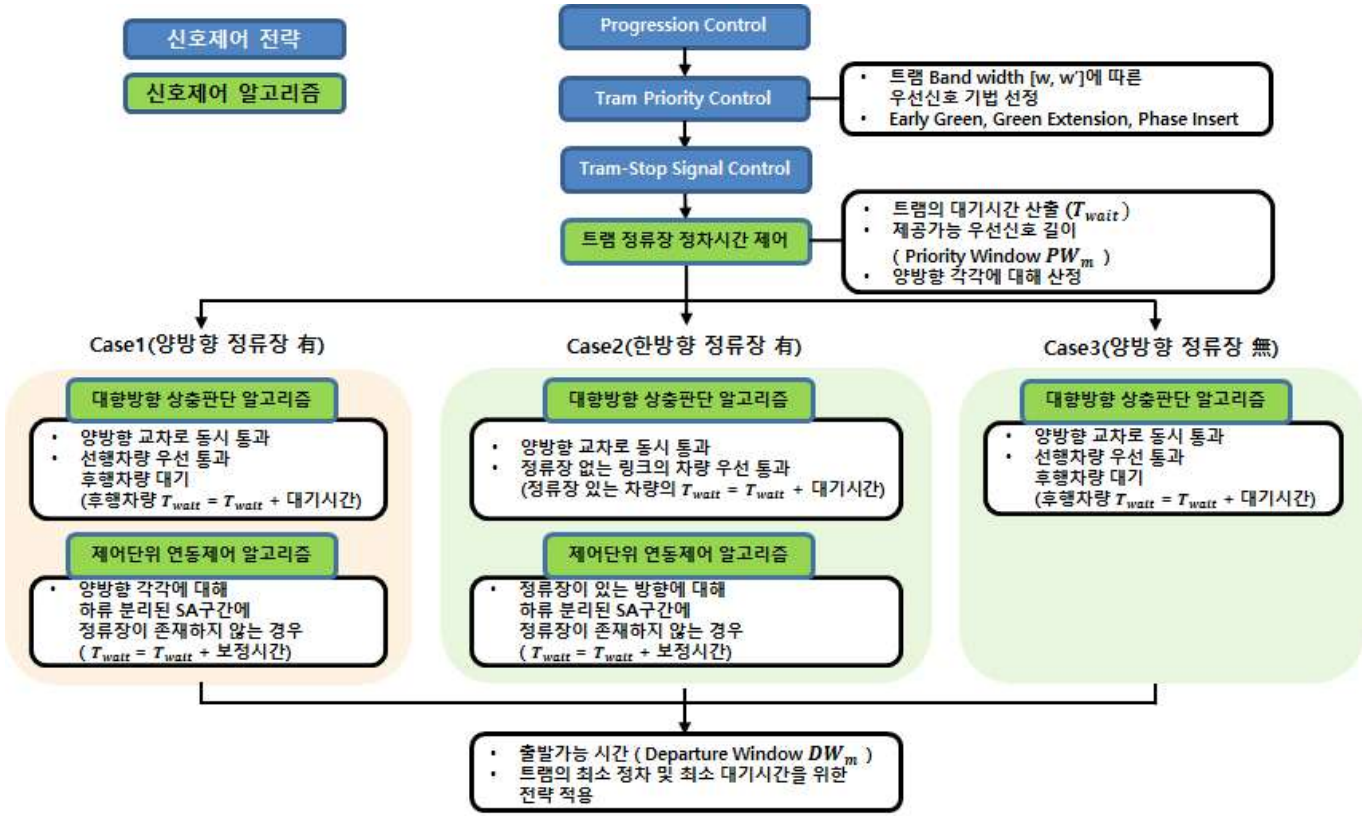
○ SA 간 연동제어 알고리즘은 하류부 교차로가 다른 SA에 속해있을 때 수행되어 두 교차로간의 연동의 단절을 방지

○ 우선신호 판단 알고리즘은 트램의 정류장 정차시간을 최소화하는 우선신호 전략을 판단하는 알고리즘

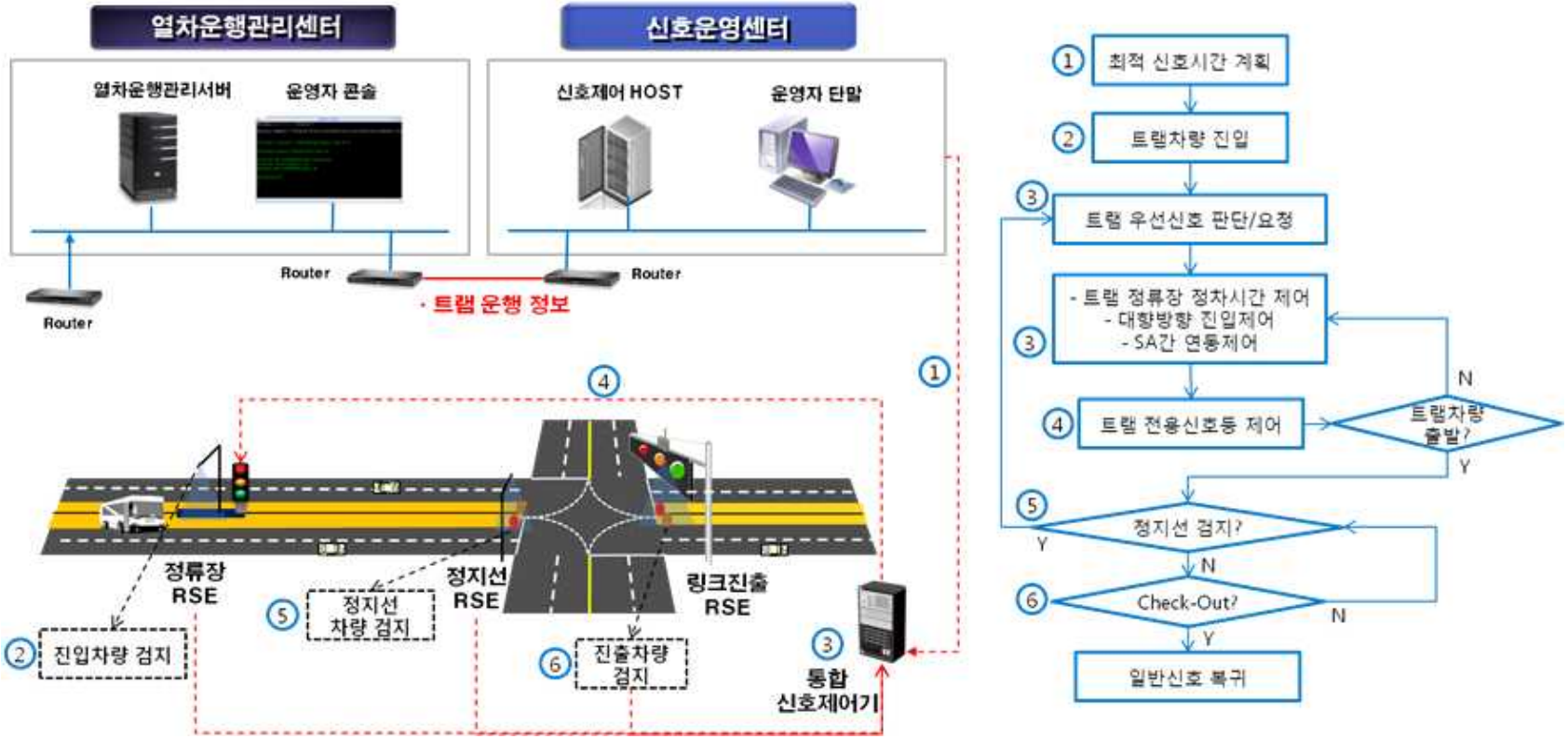
○ 통합 신호제어기에서 수행되는 알고리즘은 능동식 트램 우선신호 제어 명을 수행하기 위해 구성되고, 트램과 통합 신호제어기, 트램 정류장 간의 실시간 정보교환을 통해 알고리즘이 순차적으로 수행됨

○ 트램 정류장이 없는 링크에서는 링크의 길이에 경험적 방법에 따른 감응식 신호제어 검지기 위치설치 방식(McGinley, 1985; Liao, 2006)에 따라 교차로 80~150m 상류부에서 트램차량을 검지하여 트램 정류장 정차시간 제어 알고리즘과 SA 간 연동제어 알고리즘을 제외한 대향방향 진입제어 알고리즘과 우선신호 판단 알고리즘을 수행함

○ 다음의 <그림 2-19>은 신호제어 전략과 알고리즘의 수행 순서도를 나타냄



<그림 2-19> 신호제어 알고리즘의 수행 순서도



<그림 2-20> 트램 우선신호 제어 순서도

○ <그림 2-20>는 트램 차량이 해당 교차로를 진입한 이후, 트램 우선신호가 수행되기까지의 순서도를 나타냄

- 트램 우선신호를 제어하는 신호운영센터와는 열차운행관리센터로부터 트램의 운행정보를 수집
- 사전에 신호운영센터에서 Progression Control 전략을 통해 교차로의 최적 신호시간 계획을 작성하여 고정식 우선신호제어를 수행
- 진입차량 검지기를 통해 트램차량이 진입여부를 확인
- 트램 정류장에서 최소정차시간 후에 트램 우선신호가 필요한지 판단
- 정류장 정차시간 제어를 통해 우선신호 제어 수행을 판단
- 대향방향 상충판단 알고리즘을 통해 양방향의 트램 우선신호 제어가 가능한지 판단
- Sub Area의 단절구간일 경우, 제어단위 연동제어 알고리즘을 통해 트램 정류장 정차시간 보정
- 트램 전용신호등을 통해 트램의 출발 여부 통보
- 트램의 정류장 출발 이후에 교차로 통과여부를 진출차량 검지기를 통해 확인
- 트램 우선신호제어가 종료되면 최적 신호시간 계획으로 복귀함

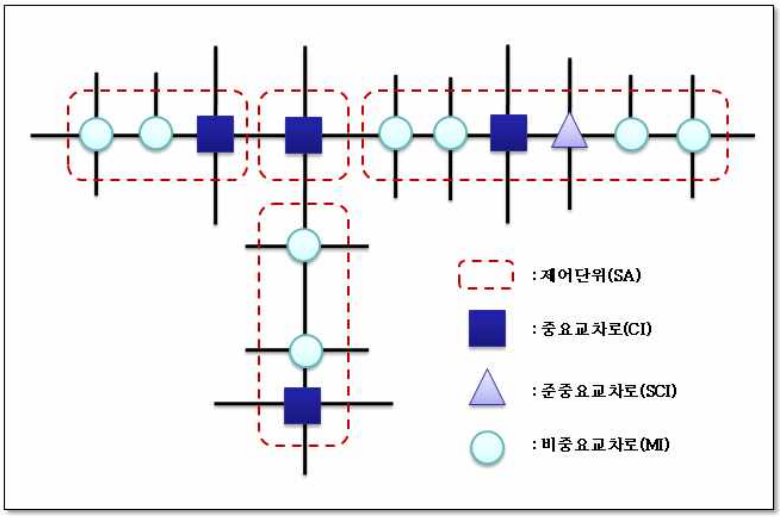
2. Progression Control 전략 개발

가. 통합 신호제어 제어단위의 결정 방법

○ 트램차량과 일반차량의 효율적인 신호운영과 교차로 간 연동제어를 위하여 연동화에 영향을 미치는 가로망 형태, 교통패턴의 변화, 주교통류의 방향 등을 고려하여 교통상황이 유사한 교차로들을 하나의 그룹으로 구성하는데, 이를 제어단위(SA, Sub-Area)라 정의함

○ 트램 운영구간에 교차로들의 SA를 구분하여 SA 별 통행특성을 반영

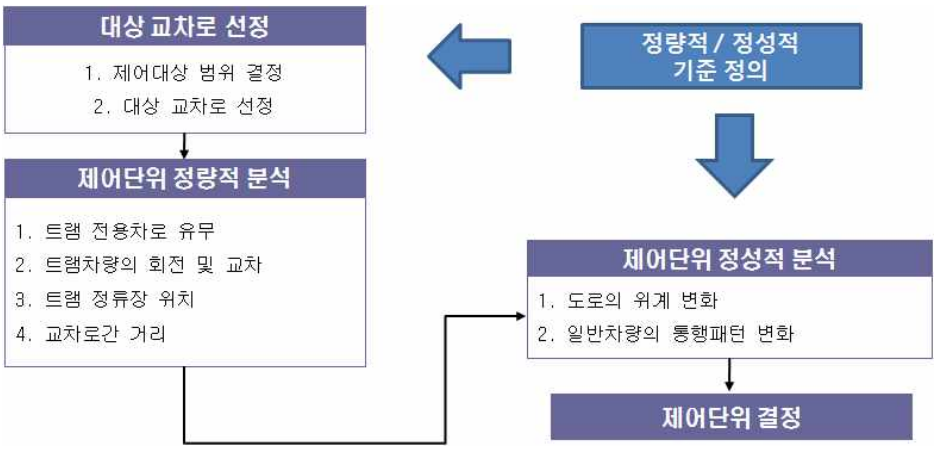
- 트램노선의 시/종점 간의 연동 확보를 위해서 과도한 신호주기를 사용할 수 있으므로 통행특성에 따른 SA를 구분하여 신호주기를 짧게 하고 교차로 지체를 감소시킴



<그림 2-21> 제어단위 구성방법

1) 제어단위의 선정 절차

○ 트램 운영구간의 제어단위는 대상범위의 일반차로와 구분되는 트램 전용차로의 특성을 고려하여 구성하고, 일반차로에 대한 정량적 분석을 통해 일반차로의 통행특성을 반영함



<그림 2-22> 제어단위 및 중요교차로 선정 절차

2) 제어단위의 선정 기준

○ 트램차량 운영구간의 제어단위는 트램차량의 운행특성을 고려한 교차로 간 무정차 운행 제어전략 실현에 적합하도록 정량적 기준과 정성적 기준에 따라 선정함

<표 2-6> 트램 전용차로 구간의 SA 선정 기준

정성적 기준	정량적 기준
1. 트램 전용차로의 운행의 연속성 2. 도로 위계의 변화 3. 일반차량의 통행패턴 변화 4. 기타 고려요소	1. 트램 정류장의 유무 2. 트램 전용차로의 유무 3. 트램 차량의 회전 및 교차 4. 교차로 개수 6. 교차로간 거리 6. 기타 고려요소

○ 트램의 우선 통행권을 보장한 상태에서 일반차량의 통행특성을 반영할 수 있도록 일반차량의 통행패턴을 고려하여 제어단위를 선정함

○ 트램 전용차로의 기능 및 가로망 체계, 도로 기하구조 조건, 교통류 패턴을 고려하여 구성

○ 자동차와 트램의 통합운영을 위한 SA를 구분하기 위해서는 트램의 운행특성과 우선신호 전략을 위한 SA 구성 전략이 필요함

○ 다음 우선순위에 따라 SA를 구성

① 트램 전용차로 유무

② 트램 정류장 유무

③ 트램차량의 회전/교차 유무

④ 교차로 개수

⑤ 교차로간 거리

⑥ 도로의 위계 변화

⑦ 일반차량의 통행패턴 변화

⑧ 도로의 공사 유무와 같은 기타 고려사항

3) 정량적 기준 정의

○ 일반차량과의 혼용구간의 유무

- 트램차량의 운영구간 내에 트램의 전용차로와 일반차량과의 혼용차로가 존재하면 두 교통류의 혼재에 따른 통행패턴의 변화가 발생하고, 신호운영 패턴의 변화가 발생하므로 각각의 제어단위로 구분하여 동일한 교통류 흐름을 유지하도록 함

<표 2-7> 트램 전용차로 유무에 따른 기준

구분	내용
기준	트램 전용차로와 일반차량과의 혼용차로가 존재할 경우, 두 개의 제어단위로 분리
목적	통행특성이 다른 두 개의 링크를 분리
필요자료	도로 기하구조 자료

○ 트램 정류장 유무

- 트램차량의 운행 연속성이나 효율성을 확보하기 위해 두 개의 제어단위를 구분해야 할 경우에 트램정류장이 있는 링크에서 구분
- 트램 정류장이 없는 링크에서 SA를 구분할 경우, 트램차량의 연속적인 운행에 제약이 있으므로 가능한 트램정류장이 있는 링크를 기준 구분

<표 2-8> 트램 정류장 유무에 따른 기준

구분	내용
기준	제어단위의 구분 시에 트램정류장이 존재하는 링크를 기준으로 두 개의 제어단위로 분리
목적	트램차량의 SA 간 통행 연속성 확보
필요자료	도로 기하구조 자료

○ 트램차량의 회전/교차 유무

- 두 개의 트램노선이 서로 교차하는지 확인하여 두 개의 SA가 교차하는

경우에는 2개의 신호제어군의 도로위계, 정량적 기준 정도를 확인하여 SA를 분리할지 유지할지 판단

- 특히, 링크 상류부의 트램정류장의 유무를 확인하여 트램정류장이 있는 링크를 우선으로 SA를 분리함

- 트램차량이 회전해야하는 교차로의 경우, 별도의 우회전 신호가 필요하고, 일반차량과의 상충이 발생하므로 SA를 분리

<표 2-9> 트램의 회전/교차에 따른 SA 선정기준

구분	내용
기준	- 두 개의 트램노선이 교차 유무 - 트램 차량의 회전 유무
목적	- 트램차량의 안전성 확보 - 트램차량과 일반차량의 혼재 방지
필요자료	도로 기하구조 자료

○ 교차로 개수

- 동일한 제어단위 내 교차로 수가 너무 많을 경우, 동일한 주기사용으로 교차로 신호운영의 효율성이 저하되므로 10개 이하의 제어단위로 구성

○ 교차로 간 거리

- 교차로 간격이 800m 이상일 경우, 일반차량의 신호연동효과가 미미하므로 제어단위를 분리

- 단, 교차로간 거리가 800m를 초과하더라도 트램의 연동을 유지해야하는 교차로나 도로특성 및 교통관리상 필요성이 요구되면 하나로 유지

<표 2-10> 교차로 간 거리에 따른 SA 선정기준

구분	내용
기준	- 교차로간 거리가 800m 이내는 가급적 동일 신호제어군으로 설정 - 1500m 이상은 분리 - 800~1500m 거리의 교차로는 정성적, 정량적 기준에 의해 판단
목적	트램차량과 일반차량의 연동 효율성 유지
필요자료	교차로간 거리(m)

4) 정성적 기준 정의

○ 도로의 위계 변화

- 위계가 다른 교통류는 이동성과 접근성의 목적이 다르므로 동일한 위계를 가지는 도로를 하나의 SA로 묶어 동일한 교통류 흐름이 유지
- 특히 동일한 위계를 갖는 도로가 교차할 경우, 네트워크 전체의 통행패턴을 고려하여 SA를 구분

<표 2-11> 도로의 위계에 따른 SA 선정기준

구분	내용
기준	동일한 도로 위계 유지
목적	위계가 다른 교통류의 분리하여 일반차량의 신호운영 효율성 확보
필요자료	도로별 기능분류, 차로수, 교통량(veh/h)

○ 일반차량의 통행패턴 변화

- 교차로의 교통패턴이 동일할 경우, 가능한 동일한 SA로 구성하여 연속적인 교통흐름을 유지시키는 것이 중요하므로, 조사된 자료가 충분할 시 운영자의 판단에 의해 교통특성을 유지
- 특히 트램차량의 경우, SA를 구분할수록 교차로 무정차 통행가능성이 저하되므로 가능한 동일한 SA 내에서 통행권을 보장하는 것이 중요하므로 기타 정량적 요소를 고려하여 운영자의 판단에 의해 결정함

<표 2-12> 교통패턴의 연속성에 따른 SA 선정기준

구분	내용
기준	교통패턴이 유사한 교차로의 경우에 동일한 제어군으로 구성
목적	- 트램차량의 통행 연속성 유지 - 일반차량의 통행연속성 유지
필요자료	- 교차로 방향별 교통량 (veh/hr) - 교차로의 Level Of Service (A~F) - 링크통행속도 (km/h) - 트램정류장의 위치

○ 기타 고려사항

- 기타 고려해야할 사항으로 트램의 운행과 일반차량의 교통류 흐름에 영향을 미치는 요소가 있을 경우, SA 분리를 고려함
- 어린이 보호구역 : 해당도로가 어린이 보호구역으로 지정되어 있을 경우, 통행제한속도의 변화에 따른 교통류 흐름에 영향이 있으므로 이를 감안하여 SA를 분리
- 도로의 구배 및 경사 : 해당구간에 심한 도로의 구배 및 경사가 있을 경우 SA 분리를 검토
- 긴급차량 출동 : 소방서와 같은 시설이 위치하여 긴급출동과 같은 교통류 흐름의 방해요소가 있을 경우 이를 검토
- 대량 교통유발 시설 : 신호제어군 내에 대량 교통유발시설이 존재하여 유출입교통으로 인한 교통량 변화와 교통류의 방해요소가 존재할 경우, 이를 감안하여 SA를 분리
- 도로의 공사 : 트램의 운행구간 내에 공사 중인 구간을 포함하게 되면 교통흐름에 영향을 미치기 때문에 공사가 장기적으로 지속될 경우 해당구간을 분리하여 운영

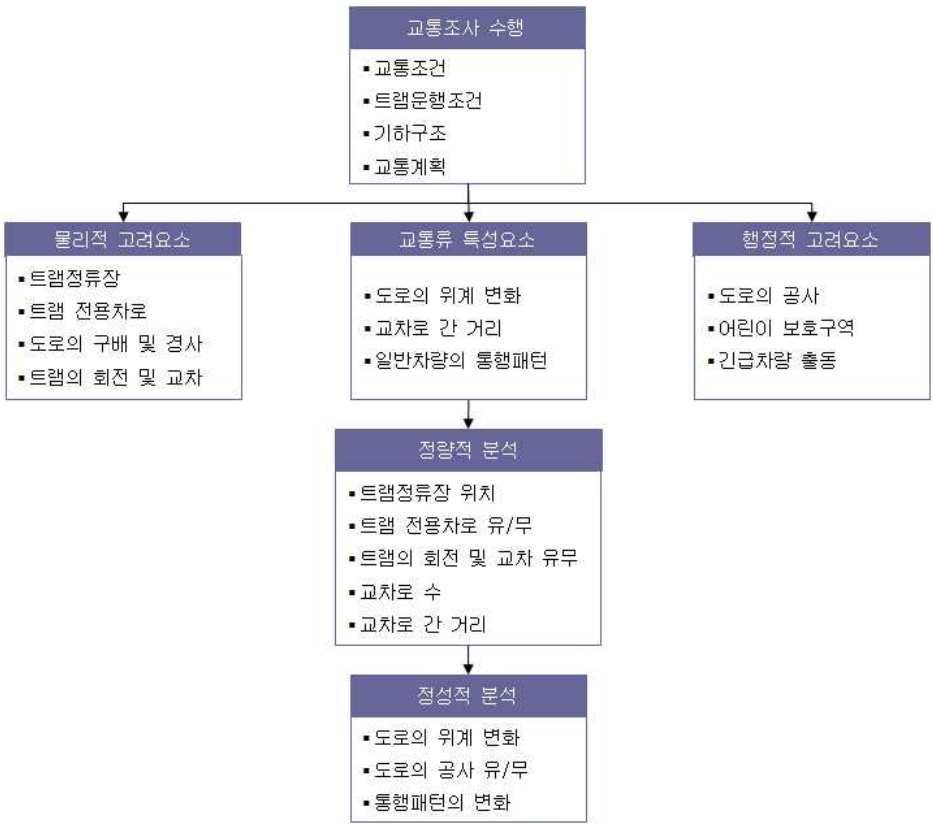
5) 신호제어군 선정과정

○ 신호제어군 설계는 해당구간의 트램 운영조건, 트램운행 시설, 일반차량의 교통조건, 기하구조 조건의 교통조사를 통한 자료를 바탕으로 정성적, 정량적 요소들에 대한 종합적인 기준을 적용하여 복수의 설계안을 작성

○ 최적대안의 선정을 위해 정성적 고려요소 중 해당사항이 가장 적고, 정량적 요소 기준이 가장 높은 최종설계안을 선택

○ 정량적인 설계기준에 의해 1차적으로 SA를 구분하고, 정성적 판단기준에 의해 결과를 확인하고 보완함

○ <그림 2-23>은 트램의 제어단위 설계과정 전체 흐름도를 나타냄



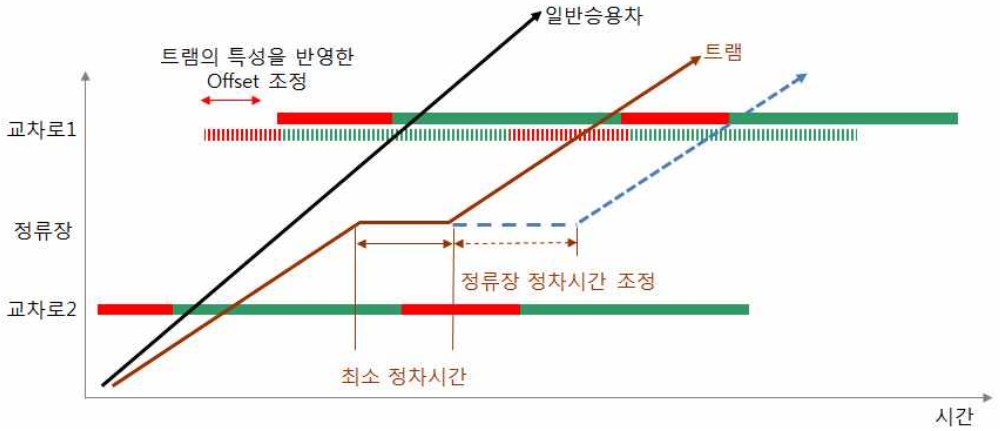
<그림 2-23> 트램의 제어단위 설계 과정

나. 트램 차량 고정식 우선신호 제어 전략

1) 고정식 트램 우선신호 제어 개요

- ○ 고정식 트램 우선신호제어는 교차로의 신호체계와 교통여건에 따라 다양한 전략을 수립하여 트램이 녹색시간에 도착하는 확률을 높이는 방안
- ○ 본 사업에서는 일반차량에 미치는 영향을 최소화하고 트램의 연동속도를 증가시킬 수 있는 트램연동 중심 제어 방안을 적용하고자 함
- ○ 트램연동 중심 제어 방안은 구간 통행속도를 승용차가 아닌 트램 통행속도를 기준으로 하여 신호시간 변수를 결정하는 방법으로, 트램의 통행특성을 반영하여 트램 정류장과 신호교차로별 트램도착 예정시간을 미리 산정하여 이에 맞게 연동을 조정해 주는 기법

○ 이는 트램이 신호교차로에 도착 시 녹색시간이 부여될 확률을 증가시켜 트램의 통행속도가 증가됨



<그림 2-24> 고정식 트램 우선신호 제어 개념도

○ 트램의 연동폭 최대화와 일반차량 지체변화의 최소화를 위하여 Passer 모형과 TRANSYT-7F 모형을 이용하여 각각의 모형특성을 이용한 결합모형 구축

○ Passer 모형을 이용한 트램연동중심의 신호시간을 산정한 후, 트램의 연동폭을 유지한 채, T-7F를 이용한 일반차량 지체변화를 최소화하는 신호시간을 산정하고, 두 모형으로 산정된 최적 신호시간계획을 이용하여 각 SA군에 대해서 TOD 제어를 수행함



<그림 2-25> Passer + T-7F 결합모형

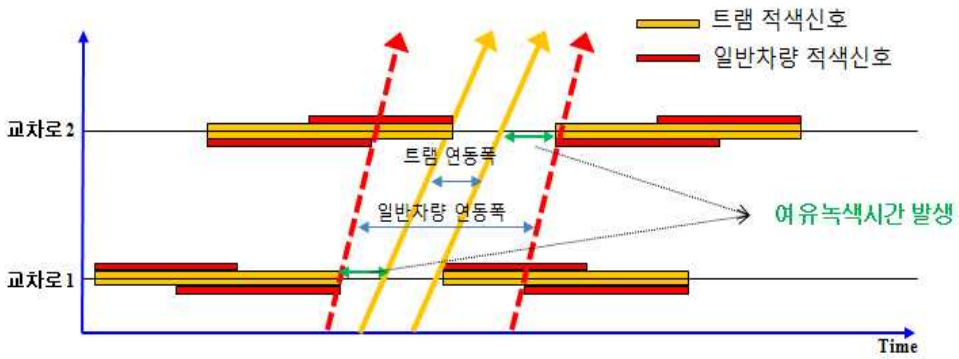
2) 트램차량의 최소연동폭 산출

○ 1차로 산정될 트램의 최소 연동폭을 결정하는 것은 네트워크 내 임계교차로이므로 이외의 교차로에는 여유녹색시간(Slack Green Time)이 발생함

○ 여유녹색시간은 녹색시간 시작부터 연동폭 시작지점, 연동폭 끝나는 지점부터 적색시간 시작하는 구간까지를 의미하며, 양방향 연동폭을 고려하여 여유녹색시간을 산정할 수 있음

○ 단방향 연동폭만 고려하는 경우 해당 연동폭만을 고려하여 여유녹색시간 범위를 설정할 수 있지만 양방향 연동폭을 고려해야 하는 경우 한쪽방향 여유녹색시간을 산정하여 여유녹색시간 내 옵셋을 수정할 경우, 다른방향 연동폭을 해칠 수 있기 때문에 양방향 연동폭을 고려한 여유녹색시간 범위를 설정

○ 여유녹색시간 내 옵셋값을 조정하는 것은 트램의 연동폭에 영향을 미치지 않으므로, 트램중심의 신호시간 계획방법에 의해 일반교통류에 영향을 미치는 것을 최소화하기 위하여 T-7F를 이용하여 여유녹색시간 내 일반 교통류 지체를 최소화하는 2차 옵셋을 산정함



일반차량과 트램차량의 이중화 된 연동폭이 발생

<그림 2-26> 트램차량의 연동폭 산출 개념도

○ 트램은 일반차량과 통행특성이 다르고, 전용차로를 이용하는 트램차량의 특성을 고려한 최소한의 연동폭을 확보

- 트램의 통행시간에는 정류장의 정차시간이 포함되어 있고, 1대의 차량이 일반차량 대비 상대적으로 느린 속도로 운행하므로 트램과 일반차량의 주

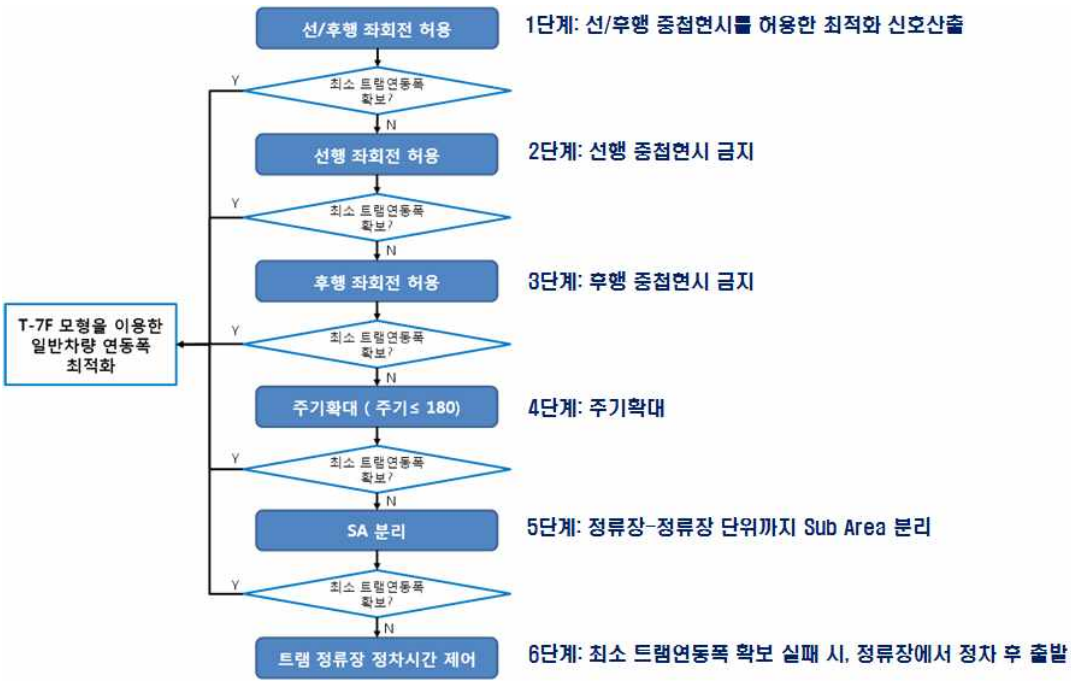
행궤적은 기울기가 다르므로 미리 수집된 트램차량의 운행속도, 최소 정차시간 및 승/하차 시간의 오차범위를 고려하여 링크통행시간을 기준으로 옵셋값을 산출

○ 트램은 특정한 패턴을 가지고 1주기에 최대 1대의 차량이 교차로를 운행하므로, 미리 산정된 옵셋값을 정류장 승/차하시간의 오차범위 내에서 최소한의 연동폭을 적용하고, 트램의 운행특성을 반영한 진행대폭을 산출하여 무정차 제어전략에 활용함

○ 트램차량의 특성을 반영하여 최소연동폭을 확보하기 위해 Passer 모형을 사용하여 신호최적화를 수행

○ Passer 모형은 간선도로의 연동폭을 최대화하는 모형으로 트램정류장의 정차시간과 트램의 속도를 반영한 주행궤적을 고려하여 모형을 구축

○ 다음은 트램의 연동폭을 확보하기 위한 교차로 간 최적 옵셋을 산출하기 위한 과정을 정의



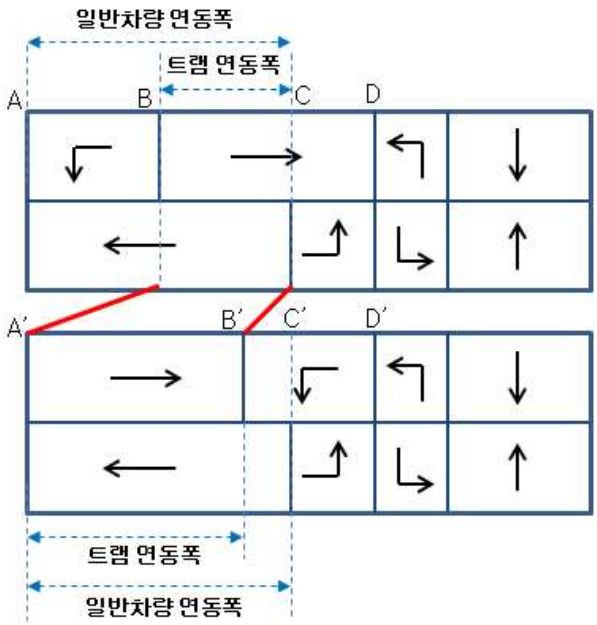
<그림 2-27> Passer 모형의 신호최적화 과정

○ 일반차량의 교통류 흐름에 영향을 최소화하면서 트램의 최소연동폭 크기를 확보하기 위해서 6단계의 신호최적화 과정을 수행

○ Passer 모형에서 6단계의 신호최적화 과정을 거치는 이유는 모형에서 중첩현시를 허용할 경우, 트램의 연동폭 확보 가능성이 낮아지기 때문임

○ 중첩현시를 허용할 경우, 이중화된 연동폭이 발생하여 실제 트램차량이 통과할 수 있는 연동폭은 최소연동폭(15초)을 확보하지 못할 가능성이 커짐

○ 아래의 그림에서 Passer 모형은 일반차량 기준의 A-C와 B-D를 최적해로 제시하지만, 실제 트램이 통과할 수 있는 연동폭은 B-D의 크기로 제한됨



<그림 2-28> 현시순서 제약에 따른 연동폭 변화

○ 따라서 선행 중첩현시와 후행 중첩현시를 순서대로 금지할 경우, 트램의 연동폭은 B-C에서 A'-B'로 확대됨

○ 따라서 일반차량의 현시순서를 최적화를 위해 Passer 모형의 단계별 신호최적화를 수행함

○ 1단계 : 선/후행 중첩현시 허용

- 일반차량의 신호 효율성을 높이기 위해 선·후행 좌회전을 허용하여 최

적화된 신호를 산출하는 과정

- 신호현시 입력 시 주방향 현시에 Overlap을 체크하여 최적화 수행
- 최적화된 결과에서 트램의 연동폭이 일반차량의 회전신호와 상충하지 않도록 연동폭 보정 시행
- 보정된 연동폭 크기를 확인하고, 원하는 크기의 연동폭이 확보되지 않았을 경우 2단계를 수행

○ 2단계 : 선행 중첩현시 금지

- 트램의 직진신호가 일반차량의 선행좌회전신호와 상충하는 문제를 방지하고 최적화를 수행하는 과정
- 신호현시 입력 시 주방향 현시에 Left#1 Leads+Overlap, Left#5 Leads+Overlap, Dual Left Lead+Overlap을 선택하지 않고 최적화 수행
- 최적화된 결과에서 트램 연동폭이 일반차량의 후행좌회전 신호와 상충하지 않도록 연동폭 보정 시행
- 보정된 연동폭 크기를 확인하고, 원하는 크기의 연동폭이 확보되지 않았을 경우 3단계를 수행

○ 3단계 : 후행 중첩현시 금지

- 트램의 직진신호가 일반차량의 회전신호와 상충하는 문제를 방지하고 최적화를 수행하는 과정
- 신호현시 입력 시 주방향 현시에 Overlap을 체크하지 않은 Through First 또는 Dual left first를 선택하여 최적화수행
- 선/후행 좌회전을 모두 금지하여 최적화된 결과에서 트램 연동폭 크기를 확인하고, 원하는 크기의 연동폭이 확보되지 않았을 경우 4단계를 수행

○ 4단계 : 주기확대

- 앞선 1단계~3단계 과정을 거쳤음에도 불구하고 트램의 연동폭이 확보되지 않았을 경우 수행하는 단계
- 주기를 증가시키면 트램의 연동폭 또한 증가하기 때문에 앞서 확보하지 못했던 트램의 연동폭 확보 가능
- 주기를 최대 180초까지 5초씩 증가시켜 1단계 과정부터 재 수행을 하면

서 원하는 크기의 연동폭이 확보될 때 까지 반복하여 수행

- 원하는 크기의 연동폭이 확보되지 않을 경우 5단계를 수행

○ 5단계 : SA 분리

- 신호제어군에서 동시에 트램의 최소연동폭이 확보되지 않는다면 Sub Area를 분리하여 트램의 연동폭을 확보

- 트램의 연동을 방해하는 임계교차로를 중심으로 SA를 분리하고, 1단계부터 신호최적화 작업을 재 수행

○ 6단계 : 최소 트램연동폭 확보 불가

- 트램차량의 최소연동폭 확보가 불가능할 경우, 정류장의 정차시간을 이용하여 교차로의 정지선에서 정차 없이 교차로를 통과

3) 일반차량의 최적 신호시간 산출

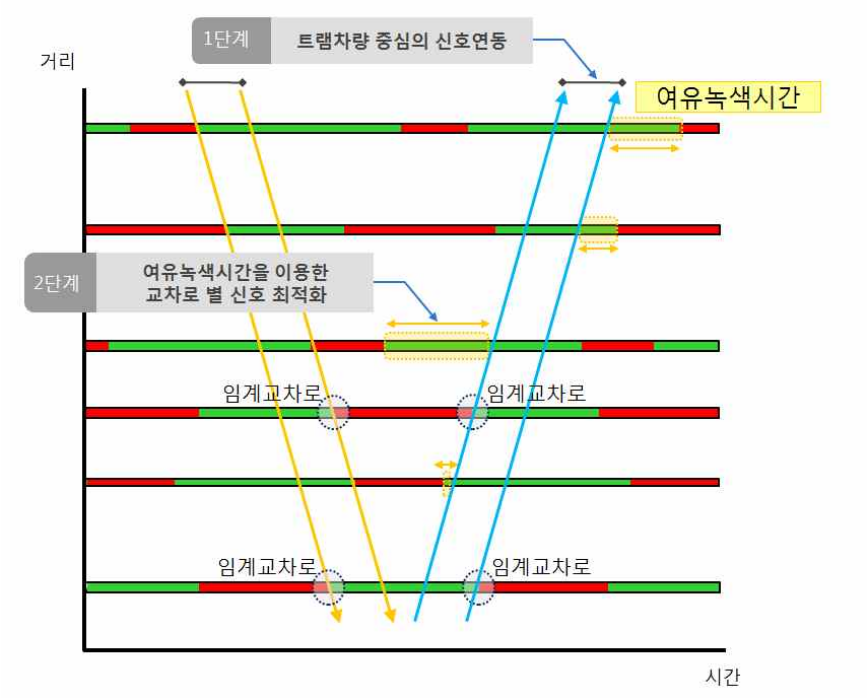
○ 트램차량의 우선신호 제어로 인해 일반차량의 지체가 증가하는 것을 최소화하기 위한 방법

○ 트램차량의 최소연동폭을 확보하고 발생되는 여유녹색시간(Slack Green)을 이용하여 일반차량의 지체를 감소시키기 위한 신호시간 재 산출

- SA 별로 트램차량 중심의 신호연동을 산출하면 트램 연동폭을 최대화하는 임계교차로(Critical Intersection) 이외의 교차로에서 여유녹색시간이 발생

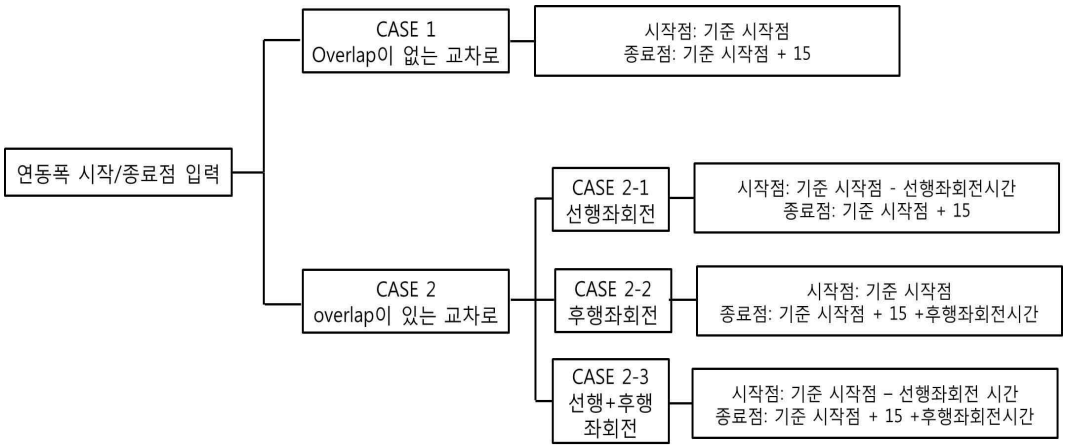
- 1단계로 트램 연동중심의 옵셋값을 산정한 후 2단계는 이 여유녹색시간을 이용하여 일반차량 중심의 옵셋값을 재 산정

- 일반차량 연동폭이 트램 연동폭의 녹색시간범위에 포함되면 그 옵셋값으로 제어를 하여도 일반차량이 느끼는 지체는 크게 달라지지 않지만, 일반차량 연동폭이 그 녹색시간 범위에 들어가지 않을 경우, 트램의 연동폭에 해당되지 않는 여유녹색시간만큼 일반차량 연동폭에 할당을 하여 일반차량에게 발생하는 부가적인 지체의 영향을 최소화



<그림 2-29> 여유녹색시간을 활용한 지체개선 전략

- ○ 여유녹색시간을 이용하여 일반차량의 지체를 개선하기 위해 지체최소화 모형인 T-7F 모형을 이용하여 일반차량의 신호를 최적화
- ○ Passer 모형에서 산출한 연동폭 시작점을 기준으로 최적화범위를 제한(트램 연동폭 제한)
- ○ 연동폭의 범위는 일반차량의 회전시간과 상충하지 않도록 제한하여 연동폭의 시작점이 좌회전 신호시간이 아닌 주방향 직진 신호에 맞추어 보정함
- ○ 트램의 최소연동폭을 15초로 가정하고, 주방향의 중첩현시가 존재하는 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 보정작업을 수행
- ○ 이와 같은 보정과정을 수행하는 이유는 중첩현시가 있는 교차로의 경우, T-7F 모형에서 트램의 연동시작 기준점을 일반차량 기준으로 잘못 인식하기 때문에 트램의 최소연동폭을 확보해주기 위한 최소연동폭 입력값이 보정과정이 필요함



<그림 2-30> T-7F 모형의 신호최적화 보정 과정

○ CASE 1: Overlap이 없는 교차로에서의 연동폭 입력 값의 조정

- 시작점: PASSER최적화 과정에서 산출한 연동폭 시작점을 입력
- 종료점: PASSER최적화 과정에서 산출한 시작점에 15초를 더하여 입력

○ CASE 2: Overlap이 있는 교차로에서의 선행 좌회전과 후행좌회전에 따른 연동폭 입력 값의 조정

- 최적화 수행 시 Overlap이 있는 교차로에서 회전신호와 트랩 연동폭 범위가 상충하는 것을 방지하기 위한 단계로 아래 세 경우로 나누어 연동폭의 시작점과 종료점을 입력

○ CASE 2-1: 선행좌회전만 존재

- 시작점: Passer 모형의 신호최적화 과정에서 산출한 연동폭 시작점에서 선행좌회전 시간만큼 빼서 입력
- 종료점: 연동의 시작점에 15초를 더하여 입력

○ CASE 2-2: 후행좌회전만 존재

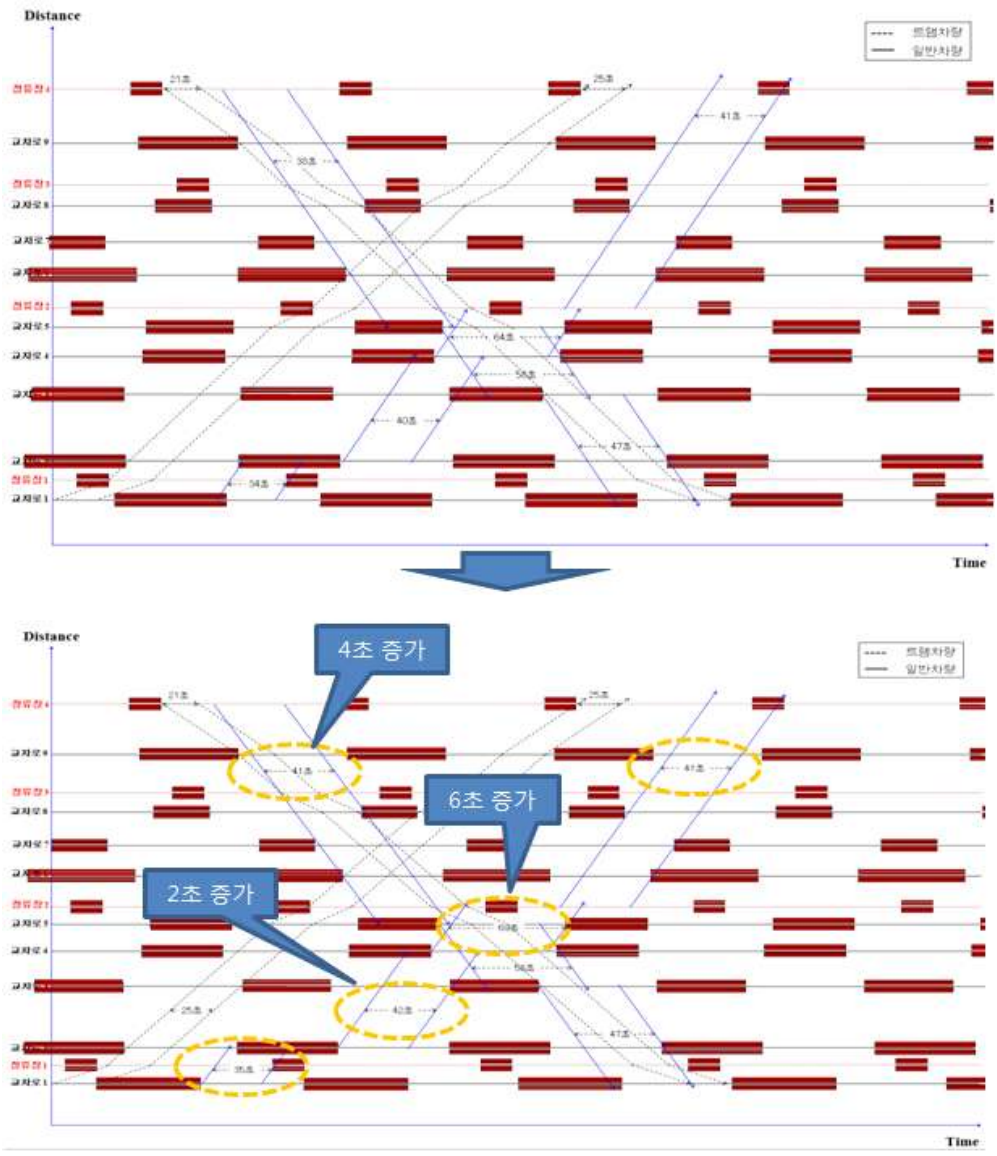
- 시작점: Passer 모형의 신호최적화 과정에서 산출한 연동폭 시작점을 입력
- 종료점 해당현시의 시작점에서 15초, 후행좌회전 시간을 더하여 입력

○ CASE 2-3: 선/후행 좌회전 모두 존재

- 시작점: Passer 모형의 신호최적화 과정에서 산출한 연동폭 시작점에서

선행좌회전 시간만큼 빼서 입력

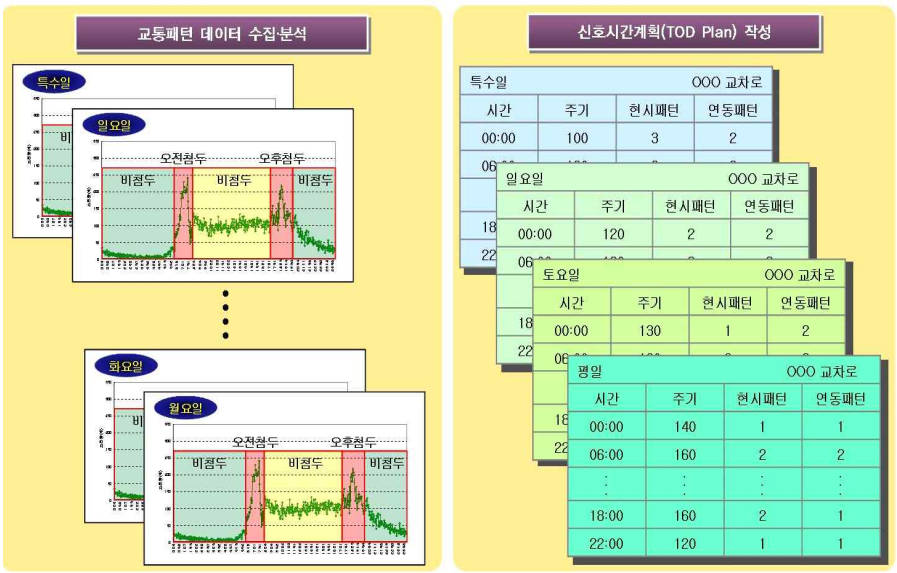
- 종료점: 해당현시의 시작점에 15초, 후행좌회전 시간을 더하여 입력



<그림 2-31> T-7F 모형의 신호최적화 보정결과 예

다. TOD(Time of Day) 제어 수행

- ○ TOD제어는 유사한 교통상황을 나타내는 시간대를 구분하여 사전에 계획된 특정 신호시간 운영계획을 유지하도록 하는 형태의 신호제어서비스를 의미하며, 시간대별 교차로 신호운영정보는 요일별·특수일별로 구분된 신호시간계획(TOD Plan)을 통해 정의됨
- ○ 신호시간계획(TOD Plan)은 교통량, 보행량 등의 조사·분석을 토대로 작성되며, 시간대별·요일별·특수일별로 구분된 주기, 현시, 보행자시간, 현시순서, 연동시간 등의 내용을 포함함
- ○ 신호운영센터와 제어기간의 통신체계가 갖추어진 환경에서의 TOD 제어기법은 교통신호제어기에 저장된 신호시간계획(TOD Plan)에 대한 정기적 갱신 등의 작업이 온라인으로 수행될 수 있어 교차로 신호운영 효율성을 극대화 시킬 수 있음
- ○ 트램 전용차로 구간에서 TOD 제어는 트램의 배차간격, 운행속도, 운행시간대 변화 등의 트램 운행패턴의 변화에 따라 각 시간대 별로 TOD 제어를 수행함

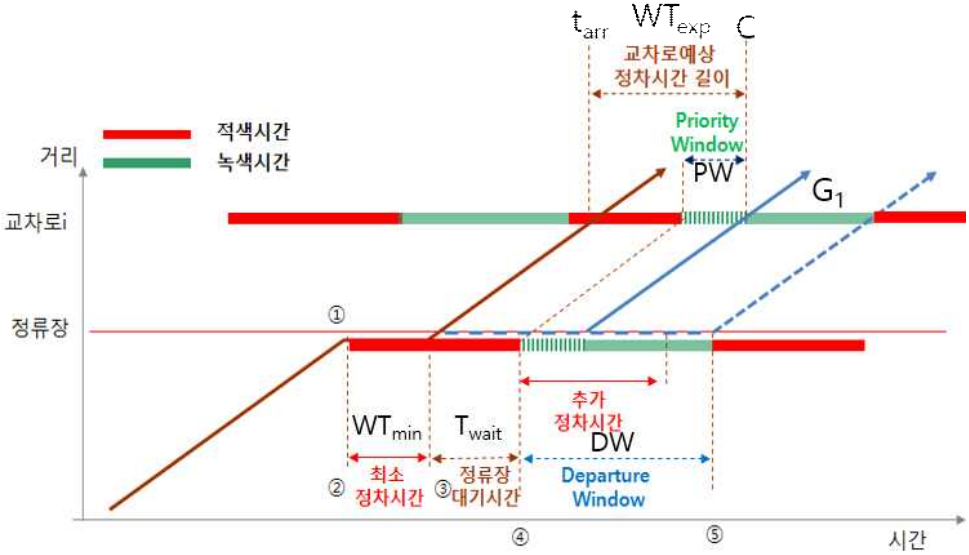


<그림 2-32> TOD 제어 원리

3. Tram-Stop Signal Control 전략 개발

가. 트램 정류장 정차시간 제어

- ○ 트램 우선신호 제어의 두 번째 전략으로 트램 정류장에 설치된 트램 전용 신호등을 이용한 트램 정류장 정차시간 제어 전략을 개발함
- ○ 앞서 개발한 Progression Control 전략과 같은 고정식 우선신호 제어는 트램의 정류장 정차시간이 승객의 승/하차 지연으로 인해 지체되거나, 링크상에서 어떠한 이벤트가 발생하여 트램이 연동폭을 벗어났을 때 이를 회복시킬 수 있는 방법이 없으나, 최근 대중교통의 우선신호 제어는 실시간 신호제어 전략과 결합하여 능동식 우선신호 제어를 통해 대중교통을 우선처리를 하는 방향으로 발전하고 있음
- ○ 본 연구에서는 계층적 우선신호 제어전략의 2단계로 트램의 정류장 정차시간을 제어함으로써 트램 차량이 고정식 우선신호를 통해 확보된 연동폭을 벗어났을 경우, 트램 정류장의 정차시간을 제어함으로써 다시 연동폭 안으로 회복시키는 방법을 적용
- ○ Tram-Stop Priority 전략의 첫 번째로 트램의 정류장 정차시간을 제어함으로써 연동폭을 벗어난 트램 차량이 하류부 교차로에 정차하는 것을 방지하는 것을 목표로 함,
- ○ 두 번째 목표는 능동식 우선신호의 수행을 통해 정류장의 정차시간을 최소화시키고, 트램의 정류장 대기시간을 줄이도록 함
- ○ Tram-Stop Signal Control 전략에서는 트램이 정류장에 도착해서 출발하는 시점에 따라 능동식 우선신호의 전략, 현시의 길이, 하류부 신호교차로의 현시 계획 등이 결정되고, 트램의 정류장 정차시간을 최소화해서 트램 운전자에게 정류장의 출발 시점을 알려주는 역할을 수행함
- ○ 트램 정류장 정차시간 제어 순서
  - Tram-Stop Signal Control 수행과정은 아래의 그림과 같이 총 5단계로 수행됨



<그림 2-33> 정류장 정차시간 제어 순서

여기에서,

추가 정차시간 = 정류장의 승/차로 인해 추가로 정차하는 시간

최소 정차시간($WT_{\min}$) = 정류장 승객 최소 승/하차 시간

교차로 도착 예상시간 (T_{arr}) = 트램이 최소정차시간 이후에 평균주행속도로 하류부 교차로에 도착하는 시간

교차로 예상 정차시간 길이 ($WT_{\exp}$) = 최소정차시간 이후 바로 출발했을 때 교차로에서 정차하는 시간

녹색시작시간(T_g) = 하류부 교차로의 대중교통 현시 시작시간

Priority Window(PW_m) = m번째 주기에 제공 가능한 우선신호 시간 길이

Departure Window(DW_m) = m번째 주기의 트램이 정류장에서 트램이 정지없이 교차로를 통과할 수 있는 출발가능 시간

정류장 대기시간(T_{wiat}) = 최소정차시간 이후 출발 가능한 시간까지 정류장에 정차해야 하는 시간

트램현시 녹색시간 길이 (G_p) = 하류부 교차로 트램현시의 녹색시간 길이

<표 2-13> 트램 정류장 정차시간 제어 순서

제어순서	제어방법	트램 전용 신호등 등화순서
①	Departure Window 종료 ~ 트램의 정류장 도착	적색등화
②	사전에 약속된 최소 정차시간 동안 정차	적색등화
	교차로 예상 정차시간 계산	적색등화
	우선신호 판단 알고리즘 수행	적색등화
	Priority Window 계산	적색등화
	하류부 폐색구간 내 차량점유에 따른 대기시간 계산	적색등화
	트램의 교차로 대기시간 계산	적색등화
	대향방향 상충 판단 알고리즘 수행	적색등화
	제어단위 간 연동 제어 알고리즘 수행	적색등화
	Departure Window 계산	적색등화
③	대기시간 동안 교차로 정차	적색등화
④	Departure Window 시간 시작	녹색등화
	트램차량 출발	녹색등화
⑤	Departure Window 종료	적색등화

○ <그림 2-33>에서 트램의 정류장 도착 (①)부터 Departure Window의 종료 (⑤)까지 제어순서는 <표 2-13>와 같음

$$T_{arr} = WT_{\min} + 3.6 \times (D / V_{avg})$$

$$WT_{\exp} = C - T_{arr} \ (\text{if}, \ T_{arr} \le G_1, \ WT_{EXD} = 0)$$

$$PW_{E.G} = WT_{EXD} + 2 \ (\text{if}, \ PW_{E.G} \le Max\ PW)$$

$$PW_{G.E} = T_{arr} - G_1 + 3.6 \times ((d+L)/V_{avg}) \quad (\text{if},\ PW_{G.E} \le MaxPW)$$

$$PW_{P.I} = 3.6 \times ((d+L)/V_{avg}) \quad (\text{if},\ PW_{P.I} \le MaxPW)$$

$$MaxPW = C - \sum_{1}^{i} G_i + \sum_{i}^{n} MinG_i$$

$$T_{wait} = WT_{EXD} - BS \quad (\text{if},\ E.G, G.E)$$
$$= BS \quad (\text{if},\ P.I)$$

$$DW_m = PW_m + G_1 \quad (\text{if},\ E.G, G.E)$$
$$= PW_m \quad (\text{if},\ P.I)$$

여기에서,

i = 교차로 도착 현시번호
n = 현시개수
m = 교차로 도착 주기번호
D = 정류장 정지선에서 하류부 교차로 정지선까지의 거리(m)
d = 교차로 횡단거리(m)
L = 트램 차량의 길이(m)
V_{avg} = 트램의 평균 주행속도(km/h) (≒ 7.8 m/sec)
G_i = i현시의 녹색시간 길이 (sec)
C = 신호주기(sec)
$PW_{E.G}$ = Early Green 제어에 필요한 우선신호시간 길이(sec)
$PW_{G.E}$ = Green Extension 제어에 필요한 우선신호시간 길이(sec)
$PW_{P.I}$ = Phase Insertion 제어에 필요한 우선신호시간 길이(sec)

- 첫 번째로 트램차량이 트램 정류장으로 진입했을 때, 하류부 교차로의 트램 현시와 트램차량의 최소정차시간 이후 바로 출발했을 때의 교차로 도착 예상시간(T_{arr})을 비교하여 우선신호 제어가 필요한지 판단
- 두 번째로 트램 우선신호의 수행이 필요한 경우, 우선신호 판단 알고리즘에 의해 Early Green과 Green Extension, Phase Insertion 전략 중에 교차로 대기시간을 최소화하는 전략을 선택
- 세 번째로 트램이 교차로를 정지없이 통과하는데 필요한 우선신호 시간인

Priority Window(PW_i)를 계산하여 트램의 교차로 대기시간(T_{wait})을 계산한다. 이때 하류부 폐색구간에 선행차량이 존재할 경우, 폐색구간 길이까지 트램의 교차로 대기시간을 연장

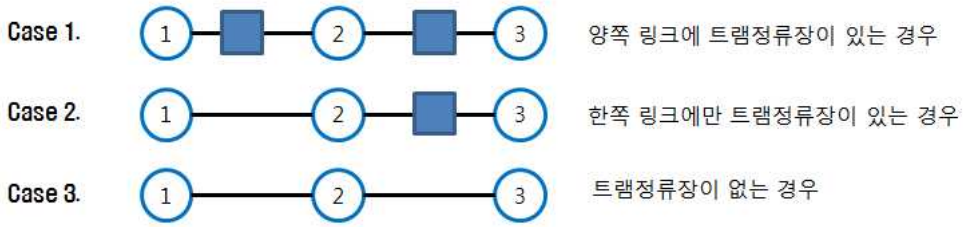
- 네 번째로 정류장에서 트램이 정차없이 교차로를 통과할 수 있는 시간인 Departure Window($DW_{i,n}$)를 산출한다. 이때 대향방향의 트램 차량의 진입 여부를 체크하고, 제어단위가 분리되는 교차로인지 확인하여 대향방향 상충 알고리즘과 제어단위 간 연동제어 알고리즘을 수행
- 마지막으로 트램차량이 승객들의 승/하차 시간이나 하류부 폐색구간에 선행차량이 존재하여 Departure Window($DW_{i,n}$) 시간 내에 출발이 불가능할 경우, 다음 Departure Window($DW_{i,n+1}$)까지 교차로에서 대기함

나. 대향방향 트램과의 상충판단 알고리즘

1) Green Extension과 Early Green 기법을 이용한 알고리즘 개발

- ○ 트램은 양방향 복선으로 운행되기 때문에 1주기 동안 양방향에서 트램차량이 동시에 교차로에 진입하여 우선신호를 요청하는 경우에는 트램의 교차로 정차가 발생할 수 있음
- ○ 대향방향 상충판단 알고리즘은 이러한 상황이 발생할 경우, 양방향 트램의 정류장 도착시간 및 교차로 예상 도착시간에 따라 우선신호를 통해 대향방향 상충판단 및 제어를 수행함
- ○ 트램 전용차로는 링크 양쪽 방향의 트램 정류장 유/무에 따라서 양쪽 링크에 트램 정류장이 있는 경우와 한쪽 링크에만 트램 정류장이 있는 경우, 양쪽 링크에 모두 트램 정류장이 없는 경우로 구분할 수 있고, 우선신호를 요청하는 시간순서에 따라 양쪽방향에서 한 신호주기 동안에 Early Green이나 Green Extension, Phase Insertion을 동시에 요청하는 경우와 각각 요청하는 경우로 구분할 수 있음
- ○ <그림 2-34>에서 Case 1과 Case 2의 경우에는 한 개 이상의 트램 정류장이 제어대상 교차로에 인접해 있는 경우로 한쪽 방향의 트램의 정류장 정차시간

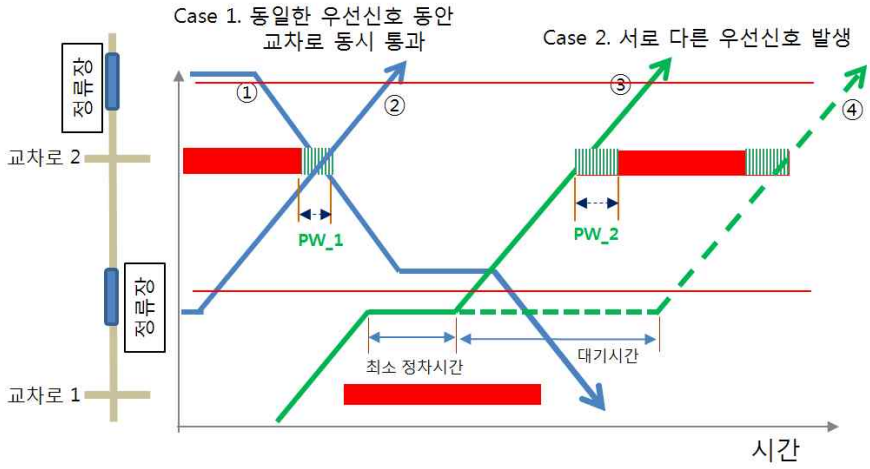
을 제어함으로써 트램이 교차로에 정차하는 것을 방지할 수 있지만, Case 3의 경우에는 두 방향에서 트램차량이 동시에 우선신호를 요청할 때 트램차량이 대기할 공간이 없으므로 교차로에 정차하게 될 상황이 발생할 수 있음



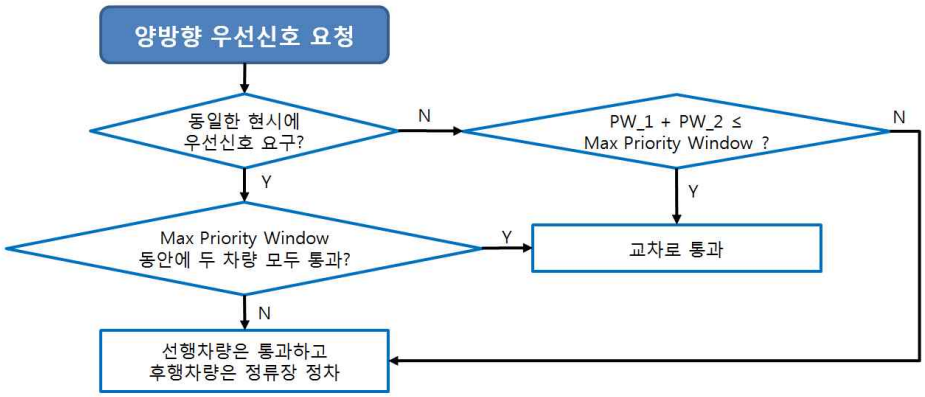
<그림 2-34> 트램 정류장 위치 경우의 수

○ 첫 번째로 링크의 양쪽방향에 정류장이 설치된 교차로에서는 <그림 2-35>의 Case 1와 같이 양쪽방향에서 ①과 ②의 두 대의 트램 차량이 동시에 같은 우선신호를 요청했을 경우에는 문제없이 교차로의 동시통과가 가능함

○ ①번 차량과 ③번 차량이 같은 주기에 각각 Green Extension과 Early Green을 요청하게 되면 후행차량은 교차로에 정차할 수 있는 상황이 발생하고, 이런 경우에는 후행차량인 ④번 차량이 그림과 같이 정류장에 대기 후 출발하여 교차로 정차를 방지



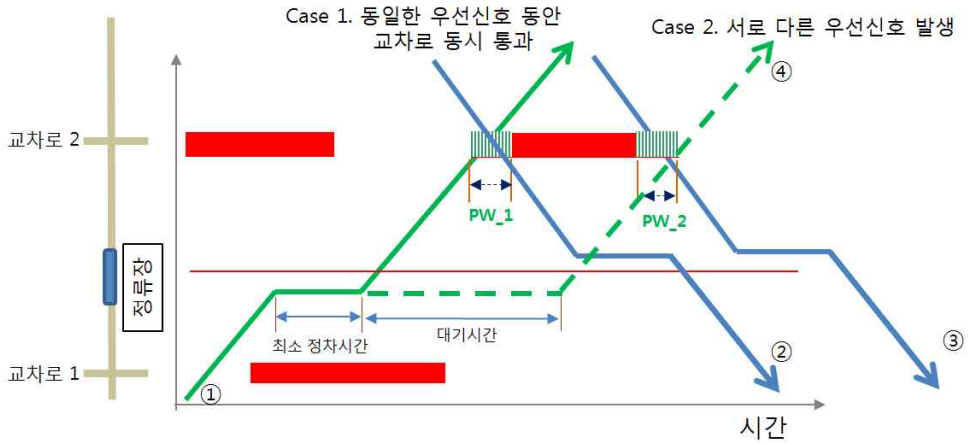
<그림 2-35> 링크 양쪽방향에 정류장이 있는 경우 제어 방법



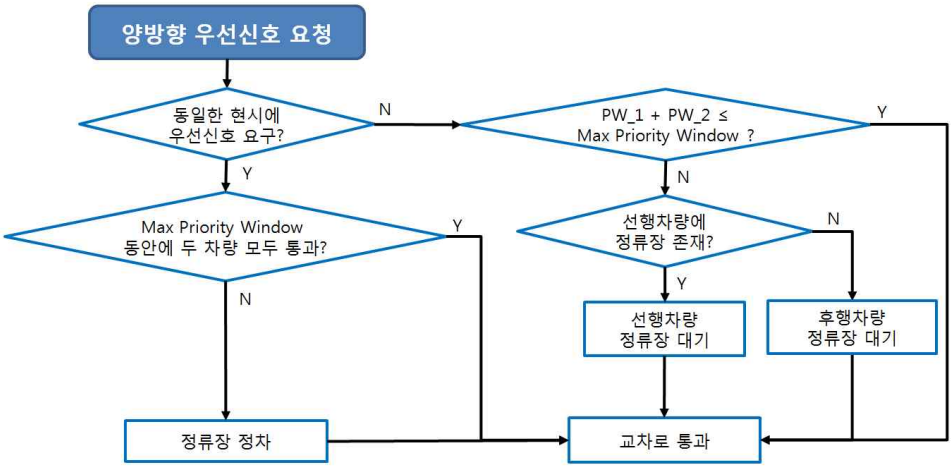
<그림 2-36> 양쪽방향 정류장 링크의 대향방향 상충판단 알고리즘

○ 두 번째로 <그림 2-37>과 같이 링크의 한쪽방향에만 정류장이 설치된 교차로에서는 동일한 현시에 ①과 ②의 차량이 우선신호를 요청할 경우에 두 차량 모두 교차로를 통과할 수 있지만, ①번 차량과 ③번 차량이 동시에 우선신호를 요청했을 경우에는 우선신호의 요청순서에 따라 ③번 차량이 교차로에 정차하게 될 상황이 발생

○ 이러한 경우에는 <그림 2-37>과 같이 정류장이 있는 링크의 ①번 트램차량이 정류장에 대기 후, ③번과 ④번 차량이 동시에 교차로를 통과함

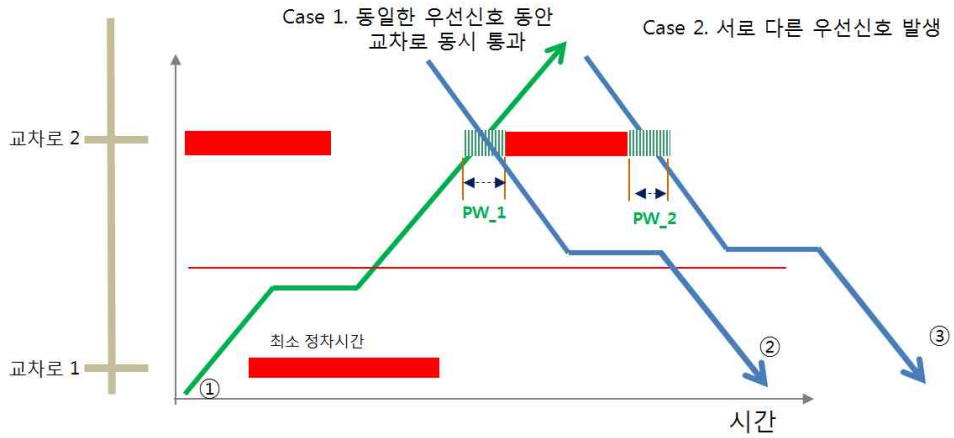


<그림 2-37> 링크 한쪽방향에 정류장이 있는 경우 제어 방법



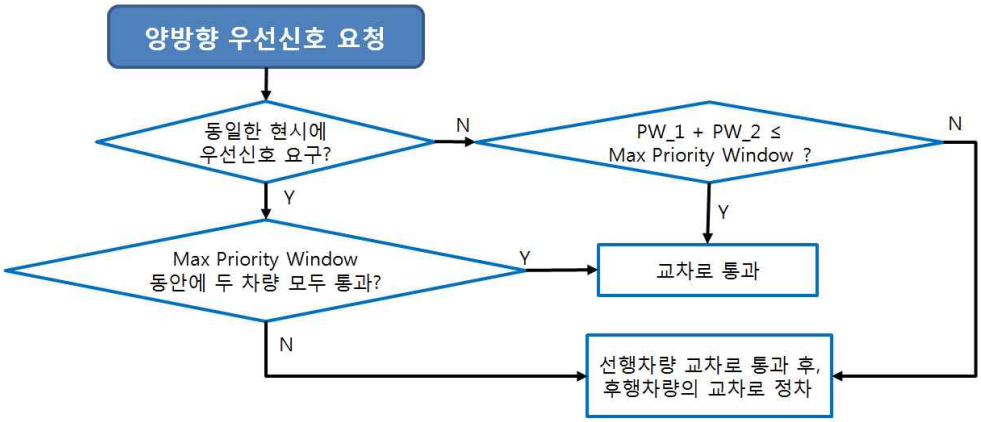
<그림 2-38> 한쪽방향 정류장 링크의 대향방향 상충판단 알고리즘

○ 세 번째로 링크의 양방향에 정류장이 없는 경우에는 동일한 현시에 ①과 ② 차량이 동일한 우선신호를 요청했을 때, Max Priority Window를 초과하는지 판단하여 양쪽 차량이 모두 교차로를 동시에 통과하거나 후행차량인 ③번 차량은 교차로에 정차해야 하는 상황이 발생함



<그림 2-39> 링크 양방향에 정류장이 없는 경우 제어방법

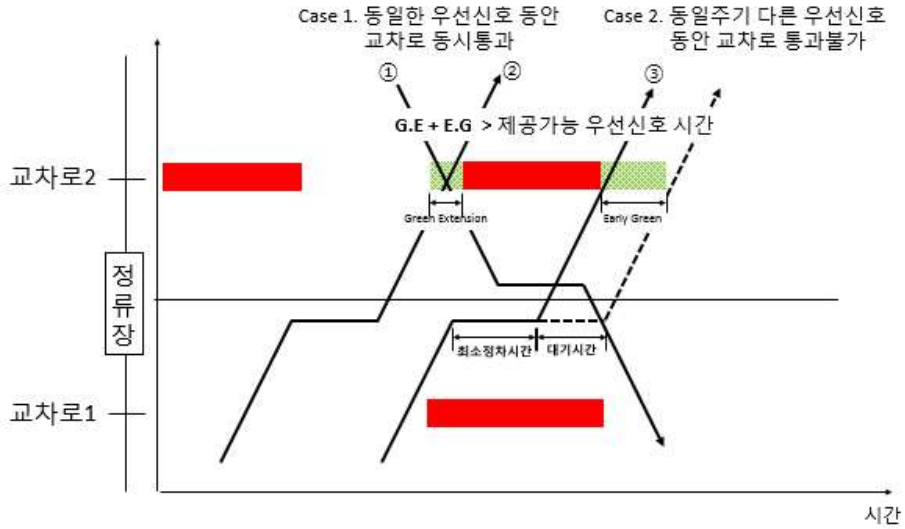
○ 이러한 경우에는 <그림 2-40>의 대향방향 상충판단 알고리즘을 통해 선행차량이 교차로를 통과하고, 후행차량은 정차함



<그림 2-40> 양방향 정류장이 없는 링크의 대향방향 상충판단 알고리즘

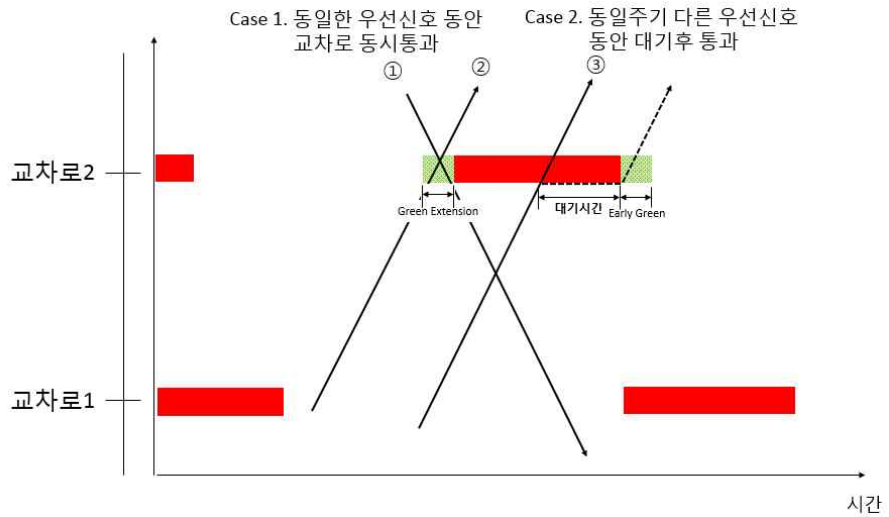
2) Phase Insertion 기법을 이용한 알고리즘 개발

- 앞서 제시한 Green Extension과 Early Green 기법만을 사용하여 우선신호 제어를 수행하게 되면, 경우에 따라 양방향에서 동시에 우선신호를 요청하는 경우에 트램이 교차로에 정차하게 되는 상황이 발생하게 됨
- 양 방향에서 동시에 우선신호를 요청하는 경우 두 차량이 요구하는 우선신호 요청시간의 합이 제공 가능한 우선신호시간을 초과하지 않을 때, 양 방향 모두 추가 대기 없이 교차로 통과가 가능함
- 하지만, 한쪽방향에 정류장이 있는 경우나 양쪽방향 모두 정류장이 존재하지 않는 교차로에서는 상황에 따라 과도하게 한쪽방향의 트램차량이 정류장에 대기하거나 교차로에 대기해야 하는 상황이 발생하게 됨
- <그림 2-41> case 2 같이 ①과 ③차량이 서로 다른 우선신호를 요청하나 제공 가능한 우선신호 시간이 요청된 우선신호 시간보다 작아 후행차량의 대기가 발생함



<그림 2-41> G.E, E.G 기법을 이용한 알고리즘의 한계 - 1
(링크 한 방향에 정류장이 있는 상황)

○ <그림 2-42> case2 같이 ③차량의 우선신호 요청시점에 대해 Early Green 이나 Green Extension 적용이 불가능하기 때문에 ③차량의 교차로 정차가 발생할 수 있음

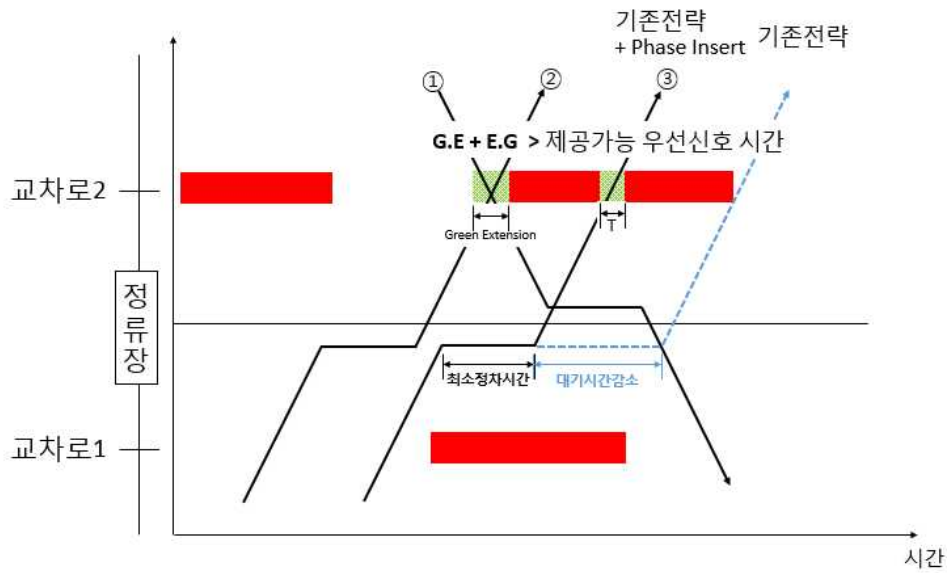


<그림 2-42> G.E, E.G 기법을 이용한 알고리즘의 한계 - 2
(링크 양방향에 정류장이 없는 상황)

따라서 위의 경우와 같이 우선신호 적용범위를 벗어난 경우 대기시간이 발생하기 때문에 트램의 대기시간 및 정차시간 최소화를 통한 추가적인 방법이 필요함

○ 이러한 경우에 과도한 정류장 정차와 신호교차로의 대기시간을 최소화하기 위해서 Phase Insertion 기법을 적용하여 트램차량의 대기시간을 단축함

○ Phase Insertion 기법의 사용을 개념적으로 정리해 보면, 링크의 한쪽 방향에 정류장이 존재하는 경우, ①과 ③차량이 동시에 요청한 신호가 제공 가능한 우선신호를 초과하거나 ③차량의 대기시간이 긴 경우 짧은 트램현시(T)를 적용하여 트램의 대기시간 감소하게 됨 (<그림 2-43>)

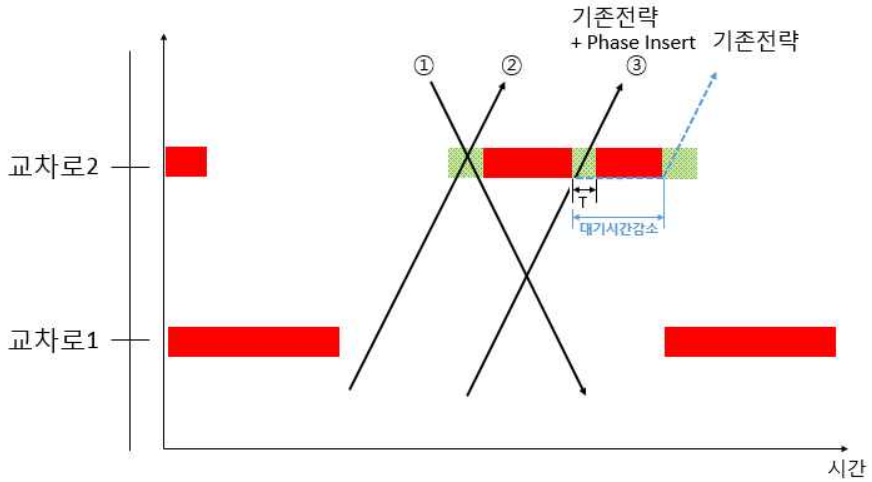


<그림 2-43> 기존기법 + Phase Insertion 효과 (한쪽방향 정류장)

○ 링크의 양쪽방향에 정류장에 모두 존재하는 않는 경우에는 ①과 ③차량이 서로 다른 우선신호를 요청하나 ③차량의 교차로 정차가 발생하기 때문에 Phase Insertion전략을 적용함으로써 무정차 통과가 가능함

○ Green Extension, Early Green 기법과 Phase Insertion 기법을 함께 적용하는 경우 기존전략만 적용할 때에 비해 트램의 정류장 및 교차로 대기시간 감소나 교차로 무정차 통과가 가능

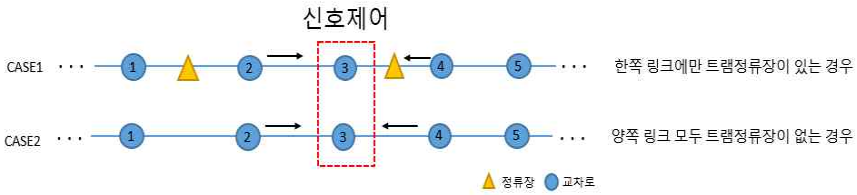
○ 또한 일반적으로 Green Extension이나 Early Green에 비해 우선처리에 필요한 시간이 길지 않기 때문에 비우선 현시의 신호감소로 인한 지체 증가폭을 줄일 수 있음



<그림 2-44> 기존전략 + Phase Insertion 효과 (양쪽방향에 정류장이 없는 경우)

3) Phase Insertion 기법의 적용

○ Phase Insertion 기법은 한쪽방향에 정류장이 존재하거나, 양쪽방향에 정류장이 없는 경우, 트램이 교차로에 정차하는 것을 방지하기 위해서 사용하고, 이를 이용하여 정류장의 정차시간을 최소화 함

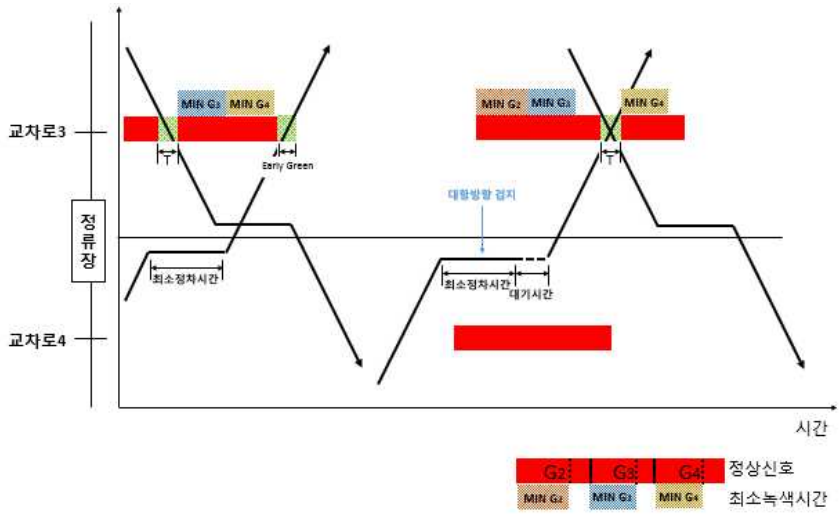


<그림 2-45> 정류장에 유무에 교차로 정차발생 경우의 수

○ 접근로 한 쪽 방향에만 정류장이 있는 경우

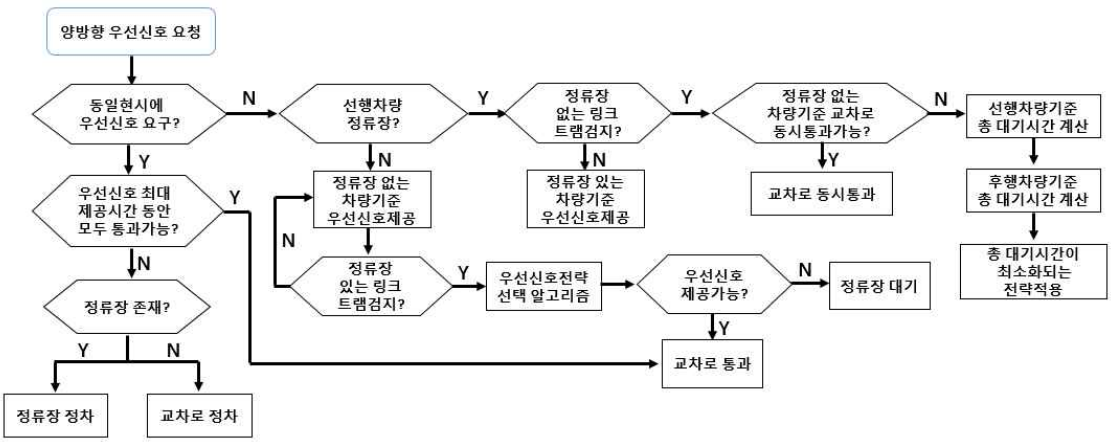
- 양 방향에서 서로 다른 우선신호 전략이 동시에 발생한 경우 해당 교차로의 제공 가능한 우선신호 시간 초과여부를 판단

- 선행차량에 정류장이 없는 경우에 선행차량을 기준으로 우선신호를 제공하고 잔여 우선신호 시간에 따라 후행차량의 정차여부를 판단
- 선행차량에 정류장이 있는 경우 대항방향 차량 진입 시 각 방향기준 총 대기시간을 최소화하는 전략을 선택함



<그림 2-46> 링크 한 쪽 방향에만 정류장이 있는 경우 제어방법

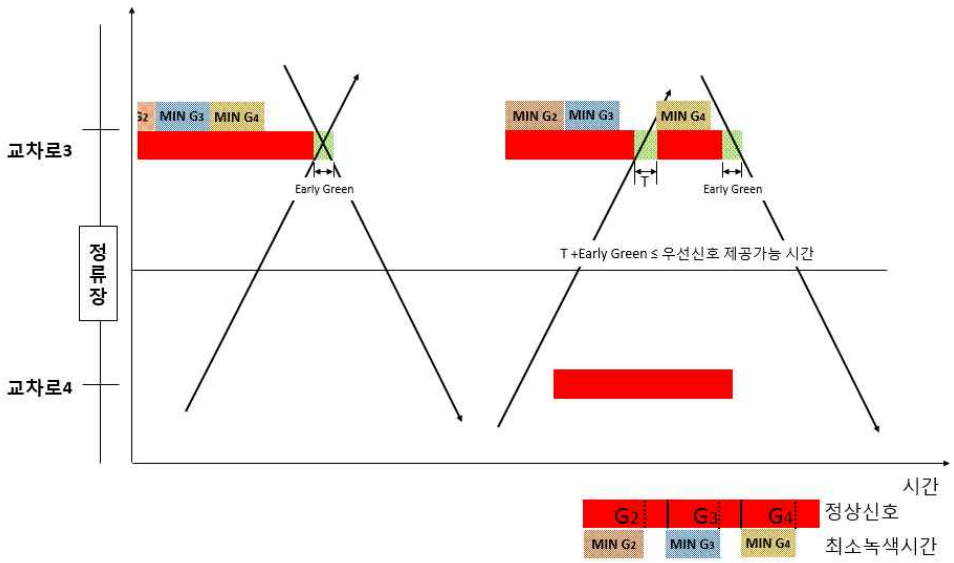
○ 링크 한 쪽 방향에만 정류장이 있는 경우의 트램차량의 제어순서도는 다음과 같음



<그림 2-47> 링크 한 쪽 방향에만 정류장이 있는 경우 대항방향 상충알고리즘

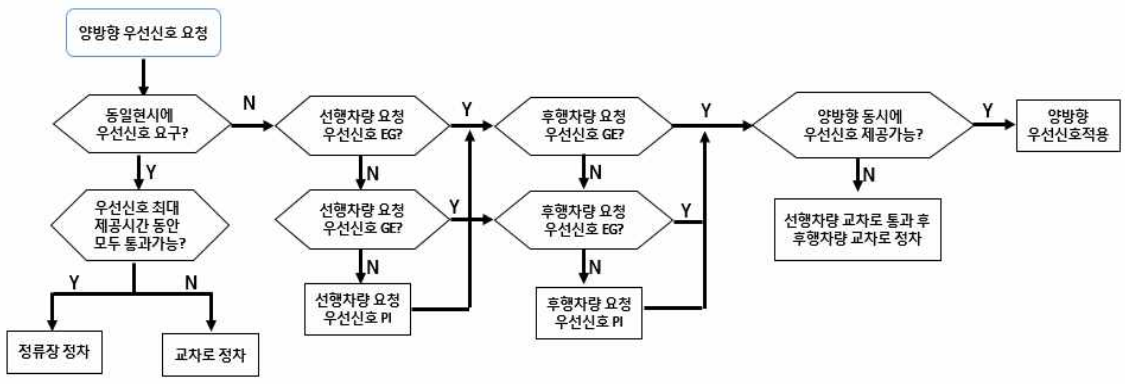
○ 링크 양방향에 정류장이 없는 경우

- 차량의 도착시점이 Early Green이나 Green Extension 제공 범위에 해당하지 않는 경우 Phase Insertion를 해당 교차로에 적용하여 트램이 교차로를 통과 하도록 함



<그림 2-48> 링크 양방향에 정류장이 없는 경우 제어방법

○ 링크 양방향에 정류장이 없는 경우의 신호제어 순서도는 다음과 같음

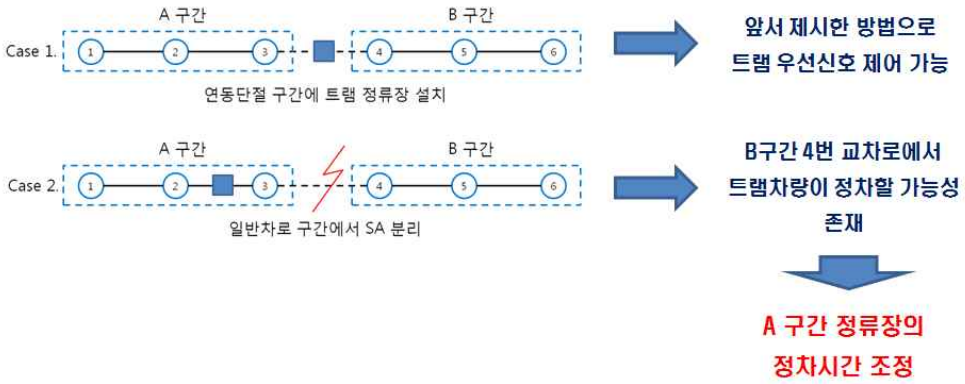


<그림 2-49> 링크 양방향에 정류장이 없는 경우 대향방향 상충판단 알고리즘

다. 제어단위 간 연동제어 알고리즘

○ 서로 다른 제어단위에 속해있는 교차로 간에는 두 제어구간의 신호시간 계획이 다르기 때문에 트램차량의 연동이 단절되어 트램차량이 교차로에 정차하는 상황이 발생

○ 아래의 그림과 같은 트램 정류장의 위치에 따라 다음 두 가지 경우가 발생



<그림 2-50> 정류장 위치에 따른 제어단위 간 우선신호 제어 방법

○ 첫 번째 경우는 연동단절 구간의 링크에 트램 정류장이 설치된 경우로 앞서 제시한 정류장 정차시간 제어 알고리즘으로 정류장에서 트램의 대기시간을 산출하여 교차로의 정차 없이 통과가 가능

○ 두 번째 경우는 트램정류장이 없는 일반차로 구간에서 제어단위가 분리된 경우로 트램차량이 교차로에 정차할 확률이 존재

○ 두 번째 경우에는 링크 상류부의 첫 번째 교차로에서 트램차량의 정류장 정차시간을 조정함으로써 연동의 단절 없이 교차로 통과가 가능

○ 따라서 제어단위를 구분할 때 트램 정류장의 유/무는 트램의 우선신호 제어에 매우 중요한 사안이며, 인접한 링크에 적어도 1개 이상의 트램 정류장이 설치된 교차로를 기준으로 제어단위를 분리해야 함

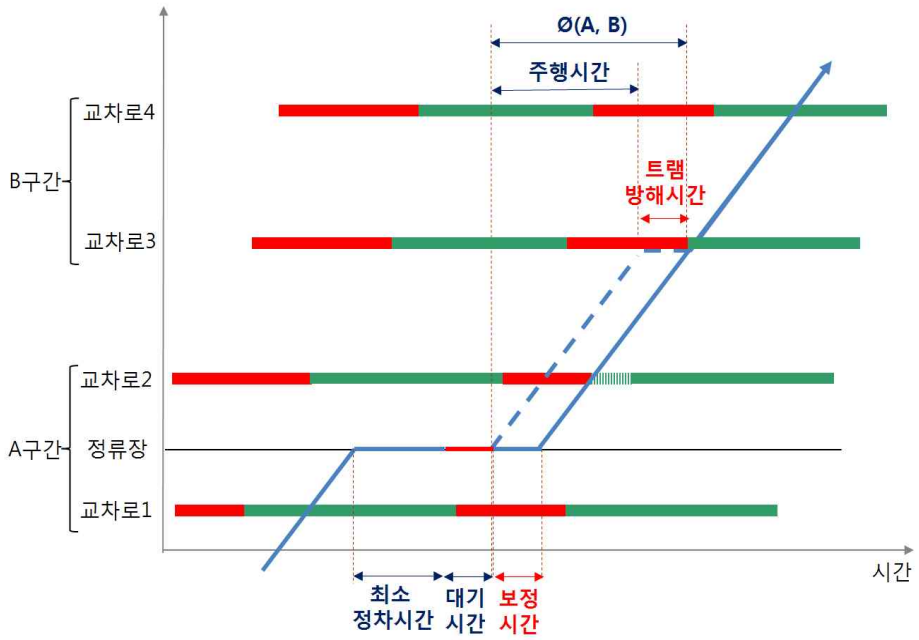
○ 이때의 트램 정류장의 정차시간 산출 방법은 정류장에서 트램차량의 대기시간을 산출하고, 교차로3의 도착예정시간을 산출하여 B구간 첫 번째 교차로에서 정차해야 할 트램 방해시간을 계산

○ 이후 B구간의 첫 번째 교차로를 통과하기 위해 A구간 정류장에서 추가적으로 대기해야할 시간인 보정시간을 구하여 A구간 정류장의 정차시간에 추가함

<표 2-14> 제어단위 간 우선신호 제어의 트램 정류장 정차시간 보정 순서

제어순서	제어방법	비고
①	트램의 정류장 도착	트램 정류장 정차시간 제어과정
②	최소 정차시간 동안 정차	
③	교차로 대기시간 계산	
④	트램 방해시간 계산	-
⑤	교차로 대기시간에 보정시간을 포함	트램 정류장 정차시간 제어과정으로 복귀

트램 방해시간 = ∅(A, B) - 트램의 주행시간
∅(A, B) = A구간 정류장의 최소정차시간의 종료시간과 교차로 3의 녹색시작시간과의 옵셋



<그림 2-51> 제어단위 간 우선신호 제어 개념도

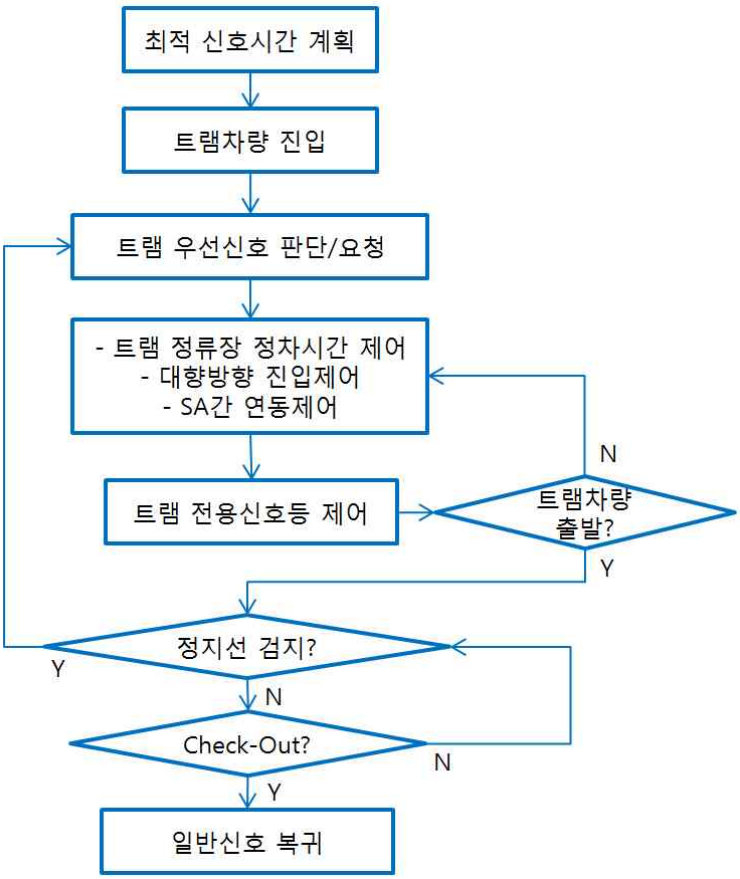
4. Tram Priority Control 전략 개발

가. 능동식 우선신호의 적용

- ○ 트램 우선신호 제어의 세 번째 전략인 Tram Priority Control 전략은 트래 정류장이나 상류부 트램 검지기에서 요청된 우선신호 제어를 신호교차로에서 효과적으로 처리하기 위한 전략임
- ○ 앞서 개발된 Progression Control과 Tram-Stop Signal Control 전략은 트램 차량의 최소 연동폭을 만들고 이를 벗어났을 때 다시 연동폭으로 회복시키는 과정을 수행함
- ○ Tram Priority Control은 트램의 교차로 정차를 방지하고, 정류장에서 정차시간을 단축시킬 수 있는 능동식 우선신호 제어전략을 수행하고, 계층적 우선신호 제어전략의 세 번째 단계로 능동식 우신신호 제어전략을 수행함으로써 트램차량이 정류장 정차시간을 초과하거나 주행차로의 돌발상황 등의 예상치 못한 지체로 인해 트램의 연동폭을 벗어나게 되면 트램 우선신호 전략을 사용하여 트램의 교차로 통과폭을 확대하고, 교차로 간의 정지없는 통행상태를 유지시키는 역할을 수행함
- ○ Tram Priority Control 전략의 첫 번째 목표는 능동식 우선신호 제어를 통해 트램의 교차로 정지를 방지하는 것이고, 두 번째 목표는 트램의 대기시간을 단축할 수 있는 능동식 제어기법의 선택을 통해 좀 더 효과적인 신호제어를 수행하는 것임
- ○ 트램 우선신호는 모든 개별교차로 단위에서 트램차량의 도착시간과 하류부 교차로의 신호 현황에 따라 Green Extension과 Early Green 기법, Phase Insertion 기법을 선택적으로 적용
- ○ 다양한 우선신호 제어전략 중 비우선현시의 최소시간 및 보행자 통행시간의 보장이 가능한 우선신호 기법을 사용하여 트램차량에게 우선신호를 제공하고, 우선신호 제공에 따른 신호교차로와 트램정류장의 신호시간 변화를 계산
- ○ 트램 정류장이 설치된 링크에서는 트램의 교차로 무정차 통행을 목표로 트

램차량의 진입과 동시에 신호제어기에 우선신호를 요청하고, 신호제어기는 예측된 교차로 도착시간을 기준으로 우선신호의 수행여부를 판단하여 트램차량의 정류장 정차시간을 계산

○ 트램의 정류장 최소정차시간 이후, 매초마다 교차로 무정차 통과에 필요한 정류장 정차시간을 계산하여 트램 정류장의 트램 전용신호등을 제어함



<그림 2-52> 능동식 우선신호제어 순서

○ 능동식 우선신호의 적용 순서는 다음과 같음

① 신호운영센터에서 계산된 최적신호시간을 받아서 고정식 우선신호 수행

② 트램차량이 트램정류장에 진입 (정류장이 없는 링크에서는 검지기 Check-In)

③ 통합신호제어기로 우선신호제어 요청

④ 능동형 우선신호 제어가 필요한지 판단해서 트램의 정류장 정차시간을 계산하고, 트램정류장의 트램 전용 신호등을 제어 (정류장이 없는 링크는 하류부 교차로에서 능동형 우선신호 제어)

⑤ 트램차량이 출발한 이후, 정지선 검지기를 통해 트램차량이 교차로 정지선에 정차했는지 확인하고, 링크진출 검지기로 트램차량이 교차로를 통과했는지 확인한 후에 일반신호로 복귀

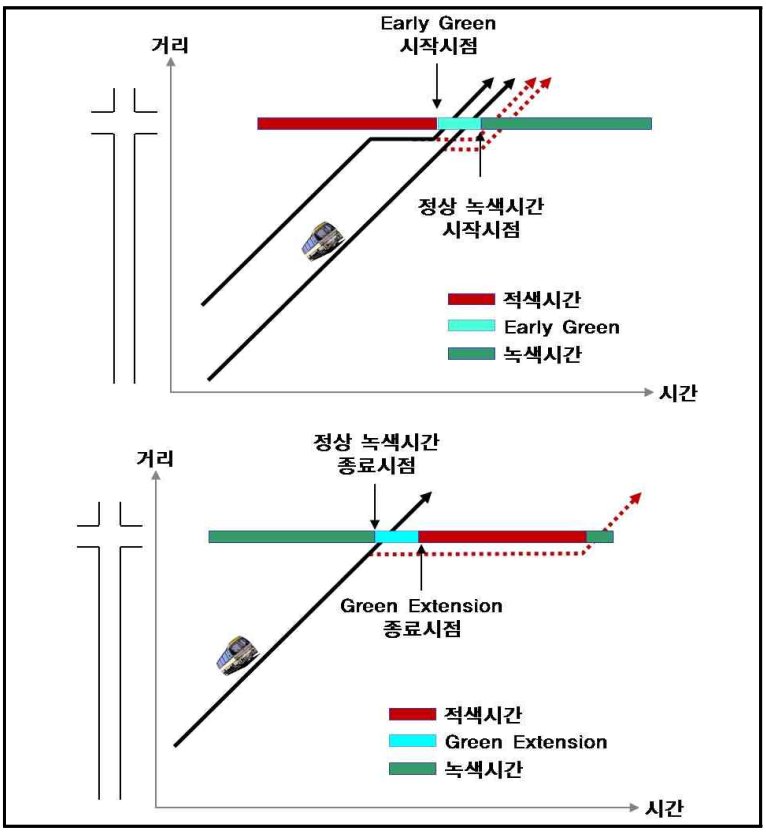
○ 트램 정류장이 없는 일반링크에서는 교차로의 78~150m 상류부의 검지기를 통해 트램차량의 진입을 검지하여 통합신호제어기에 우선신호를 요청

○ 신호제어기는 트램의 도착시간을 예측하여 우선신호의 수행여부를 판단하고, 능동형 우선신호 중에서 가장 적합한 우선신호 전략을 판단하여 교차로의 신호시간을 계산

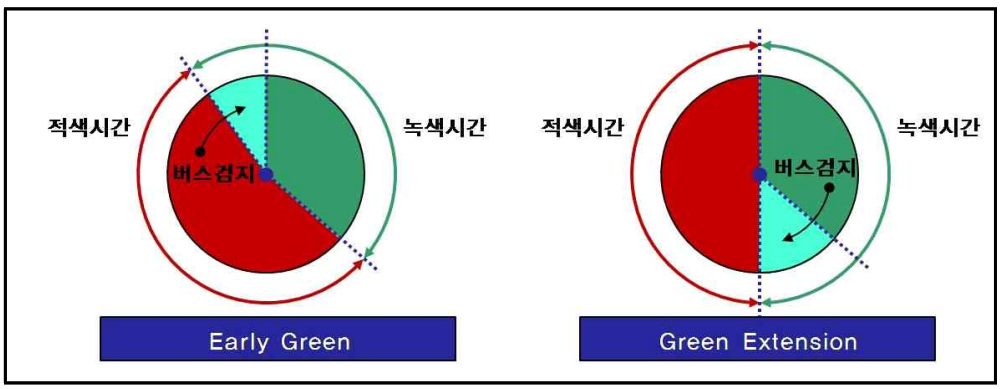
○ 능동형 트램 우선신호 기법 중 Early Green은 차량 검지 이후 우선신호의 요청 시 트램을 위한 현시를 단위시간 조기에 시작하는 방법이며, Early Green으로 인해 시간길이가 감소하는 비우선현시도 각 방향별 최소녹색시간의 확보가 가능함

○ Green Extension은 트램의 진입 시 트램 현시에 트램의 교차로 통행이 가능하도록 연장시켜 주는 기법이며, 이 경우 적색시간 길이에 해당하는 트램의 통행시간의 단축이 가능함

○ Green Extension 기법은 차량이 하류부 교차로를 통과하는데 필요한 만큼의 우선신호 현시를 사용하고, 나머지 비우선현시에서 현시길이 비율에 따른 시간감소가 가능하므로 Priority 기법 중 트램의 통행시간 단축에 가장 우수한 효과를 나타낼 수 있음



<그림 2-53> Early Green 및 Green Extension의 제어원리



<그림 2-54> 능동형 트램 우선신호 중 Green Extension, Early Green의 개념

○ 1차년도 연구에서 Early Green과 Green Extension의 적용에 이어 2차년도 연구에서는 Phase Insertion의 적용을 통해 트램의 교차로 정차 가능성을 줄임

○ Phase Insertion 기법은 트램의 정류장이나 교차로 접근이 검지되고, 우선신호가 요청될 경우, 정상상태에서 대중교통의 교차로 도착시점에 우선현가 강제로 삽입되는 방식임



<그림 2-55> Phase Insertion 기법의 적용 방식

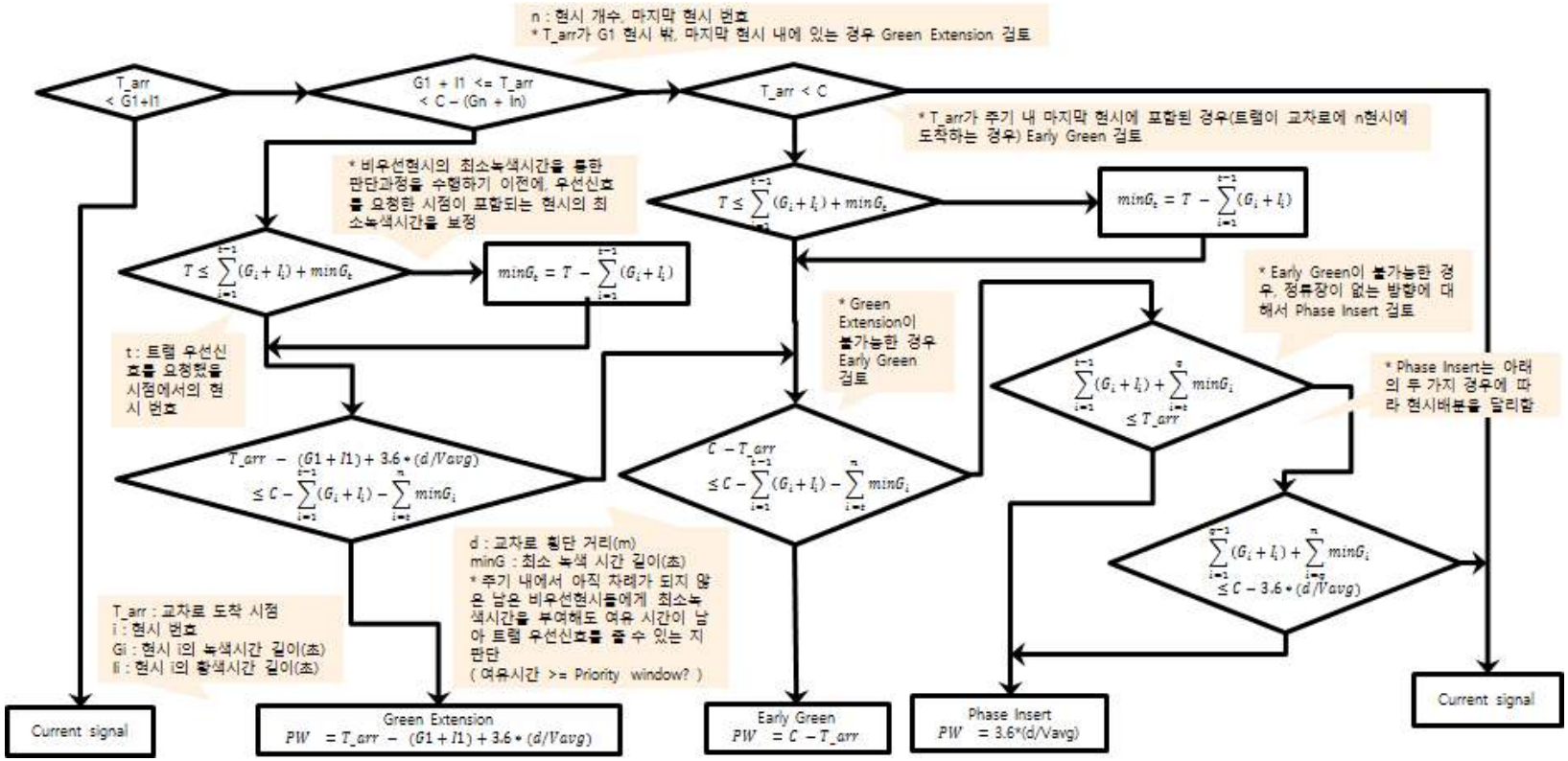
나. 최적 우선신호 판단 알고리즘

○ Tram Priority Control 전략에서 링크에 진입한 차량이 하류부 교차로에 우선신호 요청을 하거나 트램 정류장에서 우선신호 요청을 할 경우에 트램이 교차로를 정지하지 않고 통과할 수 있는 능동식 우선신호 기법이나 트램 정류장에서 대기하는 시간을 가장 짧게 하는 우선신호 기법을 선택하여 사용

○ 트램차량의 우선신호 판단 알고리즘은 트램차량이 정류장에 진입하거나 정류장이 없는 링크의 상류부에 검지됐을 때, 능동형 우선신호 전략의 수행여부와 Green Extension, Early Green, Phase Insertion의 우선신호의 적용여부와 트램정류장에서 대기하는 것 중에 어떤 전략이 가장 효과적인지 판

단하는 알고리즘

- 우선신호 전략의 판단기준은 트램 정류장이 설치된 링크에서는 최소정차시간 이후, 트램의 정류장 대기시간을 가장 짧게 하는 전략을 선택하게 되고, 트램정류장이 설치되지 않은 링크에서는 트램의 검지지점을 기준으로 Early Green과 Green Extension, Phase Insertion 중에 적용이 가능한 우선신호 제어전략을 선택함
- 트램정류장이나 상류부 검지기에서 트램의 교차로 도착시간, 대향방향의 트램차량 도착시간을 예측하여 트램의 주행궤적이 트램의 연동폭 내에 포함될 경우에는 일반적인 신호시간계획으로 진행하고, 트램의 주행궤적이 연동폭을 벗어난 경우, 트램의 신호주기 내 도착시간에 따라 수행 가능한 Green Extension이나 Early Green 기법, Phase Insertion 기법을 선택함
- 아래의 그림에서 교차로 예상도착시간 시작지점(W)과 이후 트램의 고정연동폭(15초)을 더한 교차로 예상도착시간 종료지점($W`$)을 계산하고, 두 변수가 모두 트램현시 ($G_p$) 내에 속하게 되면, 특별한 제어 없이 일반 신호시간계획으로 운영되고, $W$가 트램현시에 속하지만 $W`$가 트램현시를 벗어난 경우나 둘 다 벗어났지만 $W - G_1 - I_1 > (W - W') + I_1$의 조건에 부합하면 Green Extension 기법을 수행함
- W가 트램현시 보다는 크고, 비우선 현시의 최소녹색시간의 합보다 작으며, $C - W`$가 최소녹색시간의 합보다 작으면 정류장에 대기한다. 나머지 경우는 Early Green 기법을 사용함
- 트램의 교차로 도착시간과 대향방향의 트램차량의 영햐으로 Green Extension과 Early Green 기법을 사용함에도 교차로에 정차하는 상황이 발생하게 되면 Phase Insertion 기법을 사용하여 교차로의 대기시간을 최소화하는 전략을 선택함



<그림 2-56> 우선신호 결정 알고리즘

다. 신호시간의 결정방법

1) Green Extension

- ○ Green Extension은 트램의 진입 시 트램 현시에 트램의 교차로 통행이 가능하도록 연장시켜 주는 기법이며, 이 경우 적색시간 길이에 해당하는 트램의 통행시간의 단축이 가능함
- ○ Green Extension 기법은 차량이 하류부 교차로를 통과하는데 필요한 만큼의 우선신호 현시를 사용하고, 나머지 비우선현시에서 현시길이 비율에 따른 시간감소가 가능하므로 Priority 기법 중 트램의 통행시간 단축에 가장 우수한 효과를 나타낼 수 있음
- ○ 현시길이 결정방법은 능동식 우선신호의 우선현시 길이는 하류부 교차로의 비우선현시의 횡단보도 보행시간과 각 현시의 최소 이동류의 통행시간이 포함된 최소녹색시간을 뺀 나머지 시간으로 정의됨
- ○ Green Extension의 적용전략으로 우선현시의 시간길이는 아래의 식 (1-1)과 같이 비우선현시의 녹색시간으로부터 추출하고, 이때 개별현시에서 추출되는 시간길이는 비우선현시의 녹색시간 길이 비율에 따라 결정됨

◦ 녹색시간 연장이 수행될 때 비우선현시의 길이는 식 (1-2)와 같이 우선신호를 위해 추출된 시간을 제외한 나머지 시간을 적용함

$$G_i^{Ext} = \frac{G_i}{\sum_{i=p+1}^{n} G_i} Ext \qquad 1\text{-}1$$

$$G_i^{Pri} = G_i - G_i^{Ext} \qquad 1\text{-}2$$

여기에서,

i : 현시번호
n : 현시수
p : 우선현시의 번호 (1번 현시)
G_i : 현시 i의 녹색시간 길이
Ext : Green Extension의 우선현시 길이
G_i^{Ext} : Green Extension에서 각 비우선현시 i에서 추출되는 녹색시간
G_i^{Pri} : 비우선 현시 i의 녹색시간

2) Early Green

○ Early Green 기법에서 신호시간은 우선신호 현시의 종료시점부터 트램차량의 검지시점에 따라 각각의 비우선현시에서 줄어든 시간이 적용되며, 트램차량의 검지시간에 따라 두 가지의 비우선현시 길이의 계산방법이 적용됨

○ 첫 번째로 트램차량의 검지시간이 우선현시를 초과하지 않은 경우에는 개별 비우선현시로 부터 추출되어 우선현시에 할당될 비우선현시의 길이는 아래의 식과 같이 주기 종료까지 남아있는 비우선현시 시간을 모두 이용하여 각 현시의 비율만큼 우선현시에 할당함

○ 두 번째로 트램차량의 검지시간이 우선현시를 초과한 경우, 비우선현시의 검지시간에 따라 검지시간 이후의 비우선현시의 녹색시간만 우선현시로 할당하며, 아래 식의 Case 2와 같이 트램차량이 도착하는 해당 비우선현시의 도착시간에 따라 비율에 따른 녹색시간 할당, 도착현시 이후 나머지 현시의 녹색시간 할당함

○ 현재 진행 중인 비우선현시의 우선현시 시간을 결정한 후, 식 (2-5)에서는 트램의 도착현시 이후에 비우선 현시들의 할당시간을 결정하고, 식 (2-6)과 같이 각각의 비우선현시의 녹색시간 길이를 산출

$$\text{Case 1. } 0 < t \le \sum_{i=1}^{p}(G_i + Tr_i) \qquad 2\text{-}1$$

$$G_i^{EG} = \frac{G_i}{\sum_{i=p+1}^{n} G_i} EG; \quad i = p+1, ..., n \qquad 2\text{-}2$$

$$\text{Case 2. } \sum_{i=1}^{p}(G_i + Tr_i) < t \le C \qquad 2\text{-}3$$

$$G_q^{EG} = \begin{cases} \dfrac{G_q}{\sum_{i=q}^{n} G_i} EG; & (\sum_{i=1}^{q-1}(G_i + Tr_i) < t \le (\sum_{i=1}^{q-1}(G_i + Tr_i) + G_q - \dfrac{G_q}{\sum_{i=q}^{n} G_j} EG) \\ \sum_{i=1}^{q-1}(G_i - Tr_i) + G_q - t; & (\sum_{i=1}^{q-1}(G_i + Tr_j) + G_q - \dfrac{G_q}{\sum_{i=q}^{n} G_j} EG) < t \le (\sum_{i=1}^{q-1}(G_i + Tr_i) + G_q \\ 0; & (\sum_{i=1}^{q-1}(G_i + Tr_i) + G_q < t \le (\sum_{i=1}^{q}(G_i + Tr_i) \end{cases} \qquad 2\text{-}4$$

$$G_i^{EG} = \frac{G_j}{\sum_{i=q+1}^{n} G_i}(EG - G_q^{EG});\ i = q+1, q+2, ..., n \qquad 2\text{-}5$$

$$G_i^{Pri} = G_i - G_i^{EG};\ \ i = q, q+1, ..., n \qquad 2\text{-}6$$

여기에서,

t	: 주기 내에서 트램의 검지시각
q	: 트램 검지시각 t에 해당되는 현시번호
Tr_i	: 현시 i의 전이시간
EG	: Early Green의 연장시간 길이
G_q^{EG}	: 현재의 비우선 현시 q로부터 할당되는 녹색시간
G_i^{EG}	: q현시 이후의 현시 i로부터 할당되는 녹색시간

3) Phase Insertion

- ○ 주방향 현시는 1현시, 전체 현시 수를 n개라 가정할 때, Phase Insertion 기법을 사용하는 경우는 2가지가 있음
- ○ 트램의 교차로 예상도착 시간이 2~n-1현시일 때, Case 1은 트램의 교차로 예상 출발시간에서 1현시를 제외한 시간이 트램의 교차로 출발현시까지 최소녹색시간보다 크거나 같으면 Phase Insertion 기법을 적용함
- ○ Case 2는 트램의 교차로 예상 출발시간에서 1현시를 제외한 시간이 트램의 교차로 출발현시까지 최소녹색시간보다 작으나 주기에서 1현시와 삽입현시 길이(≒5초)를 제외한 시간이 2현시~n현시까지 최소녹색시간 보다 크거나 같으면 Phase Insertion 기법을 적용함
- ○ Case 1에서 트램의 교차로 예상 출발시간에서 1현시를 제외한 시간이 트램의 교차로 출발현시까지 최소녹색시간보다 크거나 같은 경우에는 트램의 교차로 예상 출발현시까지 시간과 Phase Insertion 적용 후 잔여시간은 현시 비율에 따라 분배함

$$G_i = \begin{cases} \frac{G_i}{C} * (W' - G_1) & (i = 2 \sim q) \quad 3\text{-}1 \\ \frac{G_i}{C} * (C - W' - 5) & (i = q+1 \sim n) \quad 3\text{-}2 \end{cases}$$

○ Case 2에서 트램의 교차로 예상 출발시간에서 1현시를 제외한 시간이 트램의 교차로 출발현시까지 최소녹색시간보다 작은 경우에는 트램의 교차로 예상 출발현시(q)까지는 최소녹색시간을 부여함

○ 트램의 대기시간은 1현시와 2현시~q현시까지 최소녹색시간의 합에 트램의 교차로 도착시간(w)를 뺀 시간이고, Phase Insertion 적용 후 잔여시간은 현시 비율에 따라 분배함

$$G_i = Min\, G_i \quad (i = 2 \sim q) \quad 4\text{-}1$$

$$G_i = \frac{G_i}{C} * (C - W' - 5) \quad (i = q+1 \sim n) \quad 4\text{-}2$$

$$Twait = \sum_{i=1}^{t-1} G_i + \sum_{i=t}^{q} Min\, G_i - W' \quad 4\text{-}3$$

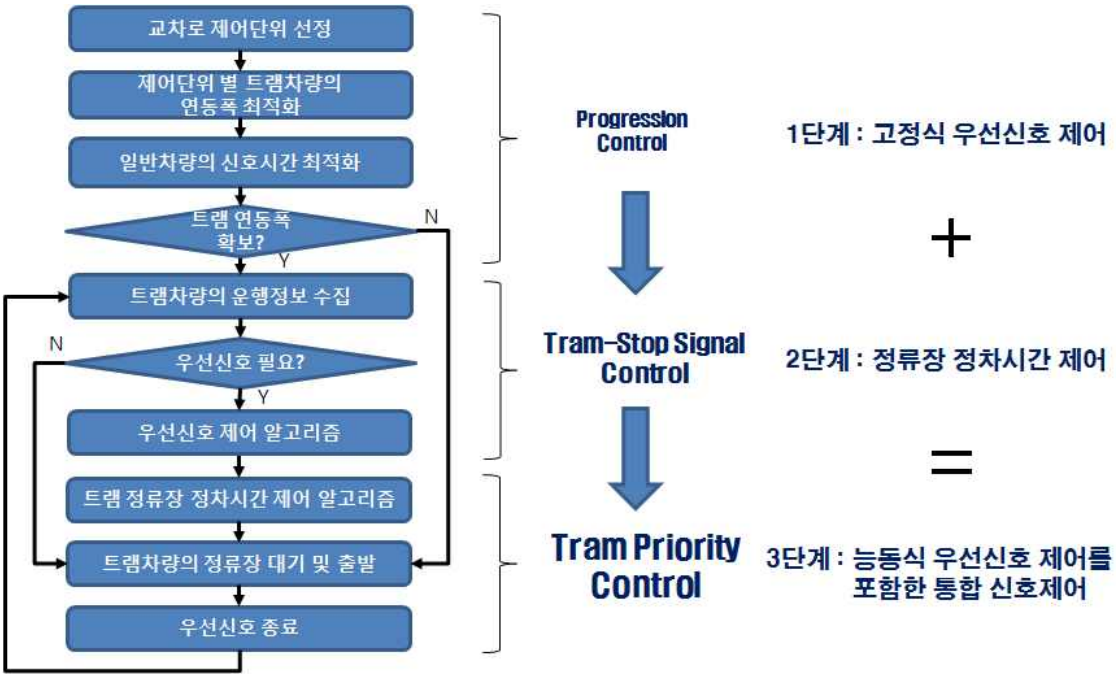
여기에서, $Twait$ = 트램 대기시간

5. 통합 신호제어 알고리즘 개발 및 S/W 구현

가. 트램 우선신호 제어 프로세스 정의

1) 통합 신호제어 전략 수행과정

- ○ 자동차와 트램의 통합 신호제어를 위한 신호운영 과정은 상위 제어단계에서 하위 제어단계로 순차적으로 명령을 전달함
- ○ Progression Control 단계와 Tram-Stop Signal Control 단계, Tram Priority 단계는 상호 유기적으로 제어에 필요한 정보를 실시간으로 교환함
- ○ 고정식 우선신호의 한계를 능동식 우선신호 제어를 통해 보완하고, 트램 정류장의 정차시간 제어를 통해 우선신호 전략의 한계를 극복
- ○ 신호제어 전략의 제어순서는 다음과 같이 정의



<그림 2-57> 통합 신호제어 전략 수행과정

2) 신호제어 알고리즘 수행 순서

○ 통합 신호제어 전략에서 정의된 바와 같이 통합 신호제어기에서 트램의 정류장 정차시간을 계산하기 위한 신호제어 알고리즘은 4가지로 구성
- 트램 정류장 정차시간 제어 알고리즘
- 대향방향 진입 제어 알고리즘
- SA 간 연동제어 알고리즘
- 우선신호 판단 알고리즘

○ 트램 정류장 정차시간 제어는 트램의 정류장 최소정차시간을 계산하기 위한 프로세스로서 트램의 우선신호가 필요하다고 판단될 경우에 수행됨

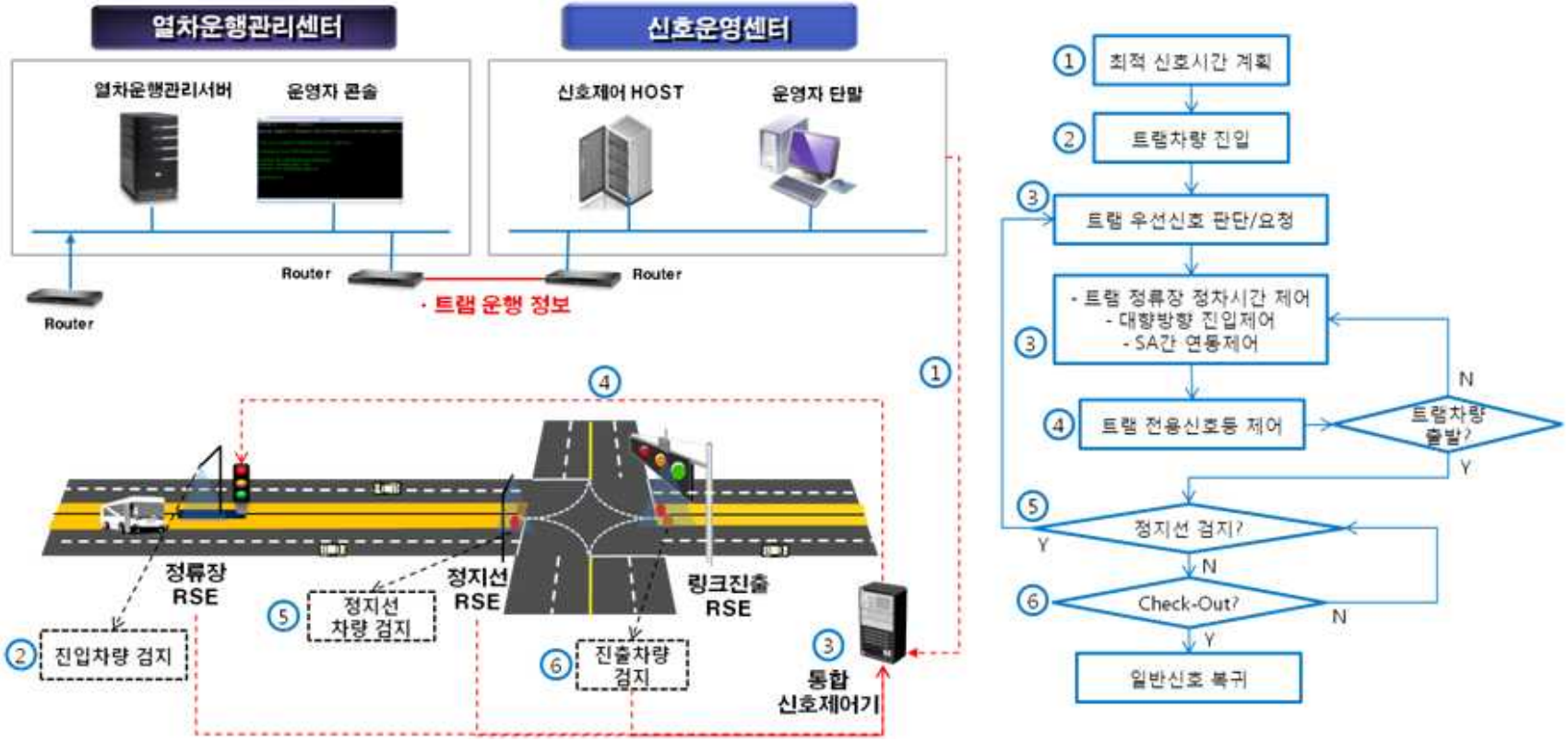
○ 대향방향 진입제어 알고리즘은 트램의 대향방향에서 트램이 동시에 우선신호를 요구할 경우, 트램 차량간 상충을 방지하기 위해서 수행되고, 트램 정류장 정차시간 제어 알고리즘 수행 시, 필요하다고 판단되면 수행됨

○ SA 간 연동제어 알고리즘은 하류부 교차로가 다른 SA에 속해있을 때 수행되어 두 교차로간의 연동의 단절을 방지

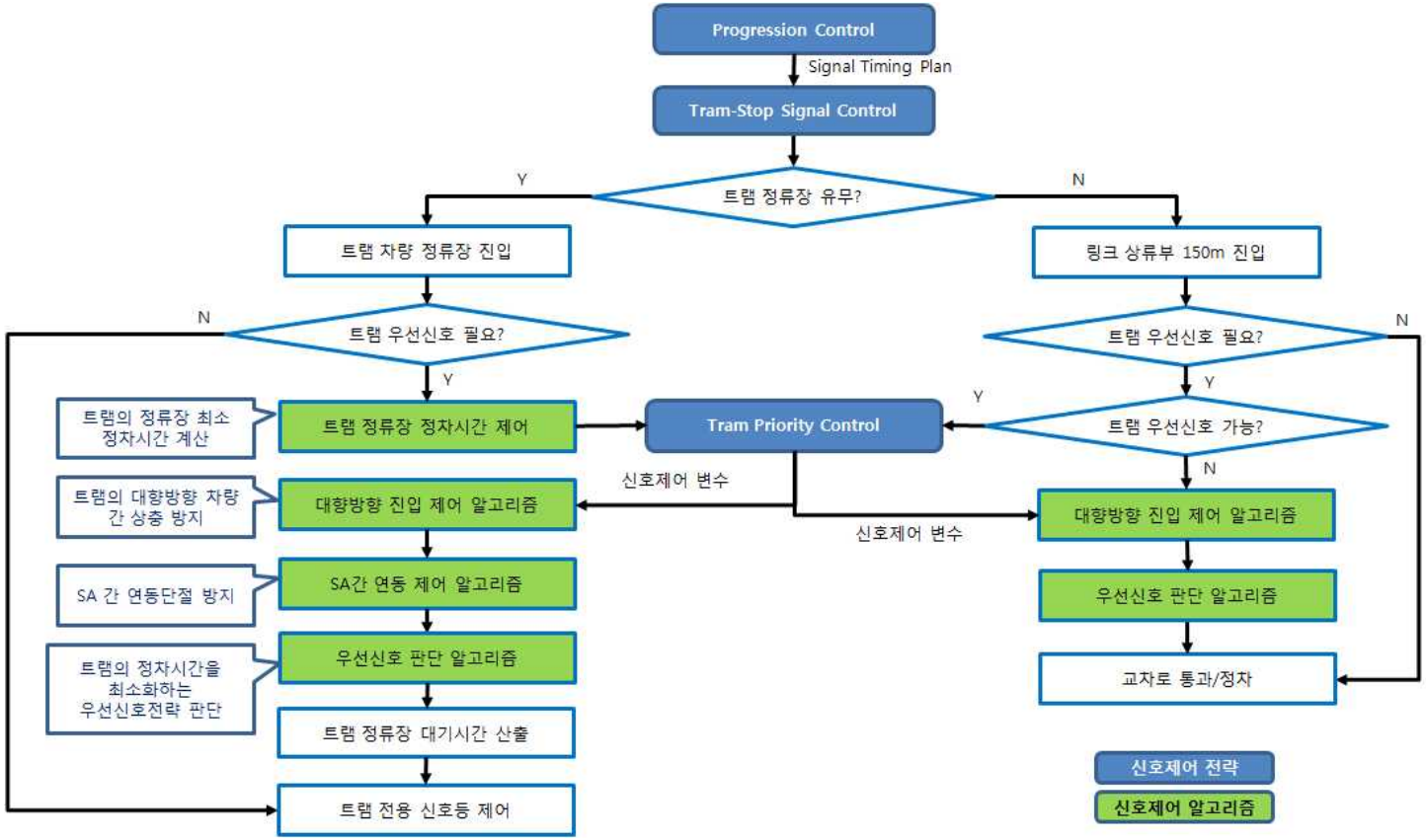
○ 우선신호 판단 알고리즘은 트램의 정류장 정차시간을 최소화하는 우선신호 전략을 판단하는 알고리즘

○ 통합 신호제어기에서 수행되는 알고리즘은 능동식 트램 우선신호 제어 명을 수행하기 위해 구성되고, 트램과 통합 신호제어기, 트램 정류장 간의 실시간 정보교환을 통해 알고리즘이 순차적으로 수행됨

○ 트램 정류장이 있는 링크의 개략적인 신호제어 순서는 아래의 그림과 같고, 트트램 정류장이 없는 링크에서는 링크의 길이에 경험적 방법에 따른 감응식 신호제어 검지기 위치설치 방식(McGinley, 1985; Liao, 2006)에 따라 교차로 80~150m 상류부에서 트램차량을 검지하여 트램 정류장 정차시간 제어 알고리즘과 SA 간 연동제어 알고리즘을 제외한 대향방향 진입제어 알고리즘과 우선신호 판단 알고리즘을 수행함



<그림 2-58> 신호제어 알고리즘의 개략 순서도

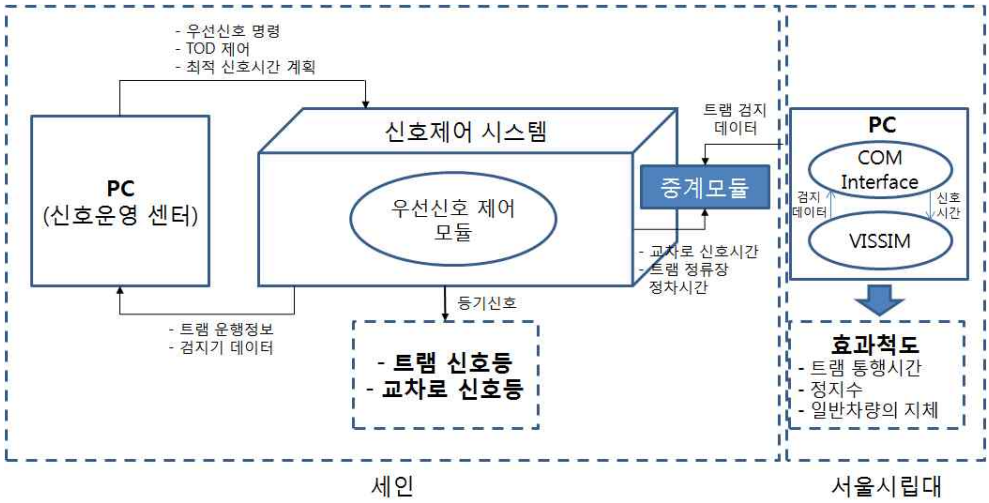


<그림 2-59> 신호제어 알고리즘의 수행 순서도

나. 통합 신호운영 평가 시스템의 정의

1) HILS 시스템 정의

- ○ 통합 신호운영 평가 시스템은 총 3가지의 모듈로 구성
  - 신호운영 센터 시스템
  - 통합 신호제어기
  - 현장 시스템 환경 (PC 상의 VISSIM 모형)
- ○ 신호운영 센터는 시스템 전체의 유지/관리 기능을 수행하고, HILS에서는 TOD 기능과 트램 우선신호 제어 명령 (On/Off) 기능만을 구현함
- ○ 신호운영 센터
  - 시스템 전체의 유지/관리 기능 수행
  - 고정식 최적 신호시간 계획 작성
  - TOD(Time Of Day) 제어 기능
  - 트램 우선신호 제어 명령
- ○ 통합 신호제어기
  - 트램 우선신호 제어 : 트램 우선신호 제어, 트램의 정류장 정차시간 계산
  - 트램 정류장 및 신호교차로 신호등 등기
  - 트램 검지정보 처리
  - 검지정보를 신호운영 센터로 전송
- ○ 현장 시스템 환경
  - VISSIM 모형을 통해 실험환경 모사
  - VISSIM 모형에서 트램차량 검지 데이터를 생성하여 COM Interface를 통해 전송
  - 신호제어기에서 계산된 신호교차로 및 트램 정류장 신호시간을 수신하여 시뮬레이션에 적용
- ○ 신호운영 센터, 통합 신호제어기, VISSIM 모형을 통한 현장시스템 환경은 실제 현장시스템과 동일하게 객체간의 교환정보를 사전에 정의하고, 센터의 명령과 통합 신호제어와 VISSIM 모형간의 연계를 통해 모의 실험 환경을 구축함



<그림 2-60> HILS 시스템 정의

2) 통합 신호운영 평가 시스템 제어 순서 정의

- PC 상의 VISSIM 모형의 COM Interface 모듈과 개발된 통합 신호제어기 간의 TCP/IP 통신을 통한 중계모듈과 연계 수행
- VISSIM 모형에서 트램차량이 검지될 때까지 정상적으로 시뮬레이션이 진행되며, 트램차량이 검지되면 COM Interface 모듈을 통해 중계모듈과 연결하여 트램차량의 검지데이터를 전송하고, 신호제어기에서 계산된 신호시간을 수신하여 VISSIM 모형에 적용함
- VISSIM 모형의 n 번째 time step에 대한 시뮬레이션 수행절차는 다음과 같이 정의됨

  ① 트램 차량이 검지될 때까지 시뮬레이션 수행

  ② 트램차량이 검지되면, 차량 검지 데이터 생성

  ③ Com Interface를 통해 중계모듈 연결

  ④ 차량 검지 데이터 송신

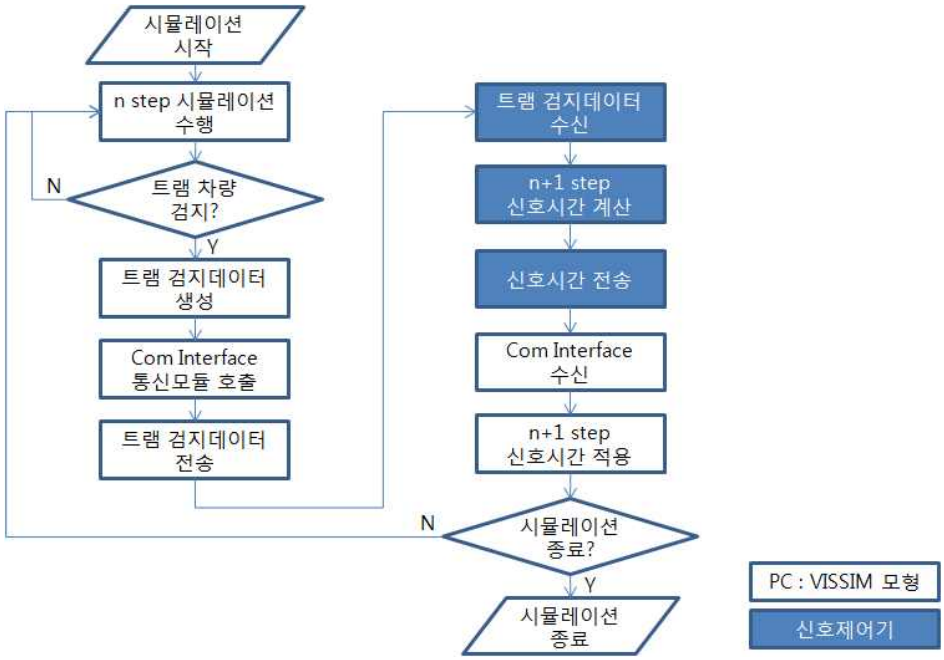
  ⑤ 신호제어기에서 차량 검지 데이터 수신하여 트램 우선신호 모듈을 통해 교차로 및 트램 정류장 신호시간 계산

  ⑥ 중계모듈을 통해 신호시간 전송

  ⑦ COM Interface에서 신호시간 수신

⑧ 다음 time step의 변경된 신호시간 적용

⑨ 다음 time step으로 시뮬레이션 진행



<그림 2-61> HILS 시스템 수행 절차

3) 시스템 내 객체 간 교환정보 정의

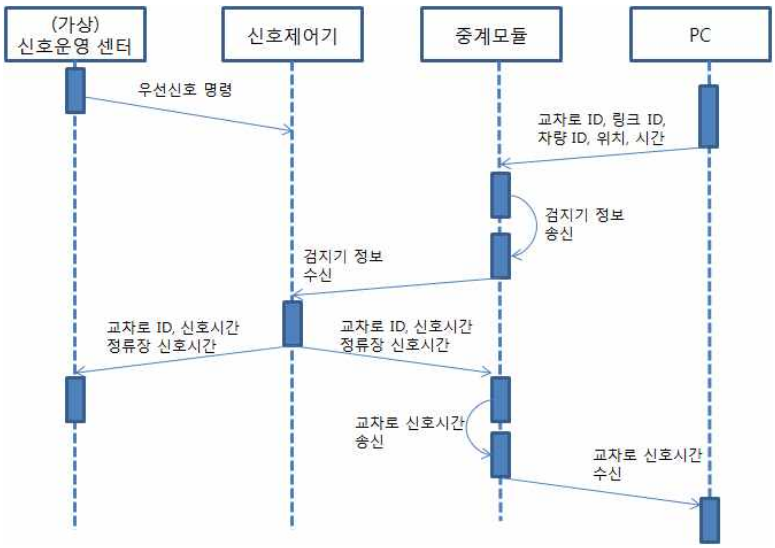
○ HILS 시스템의 객체 간의 교환정보는 다음과 같이 정의함

<표 2-15> 시스템 교환정보 정의

구분		제공 정보
전송	수신	
신호운영센터	신호제어기	- 주기, 현시길이, 현시순서, 옵셋
신호제어기	신호운영 센터	- 신호운영 상태 정보 - 검지기 수집/처리 데이터
신호제어기	VISSIM 모형	- 신호교차로 신호정보: 주기, 현시길이, 현시순서, 옵셋 - 정류장 신호정보: 현시길이
VISSIM 모형	신호제어기	- 트램 검지 데이터 - 차량 ID, 검지 시간, 검지 위치
신호제어기	신호제어기	- 신호 정보: 신호 주기, 녹색시간, 옵셋, 현시정보 등 - 트램 검지 유무

4) 시스템 객체 간 통신 및 정보교환 절차 정의

○ 가상의 신호운영 센터와 신호제어기, 중계모듈, PC 간의 통신절차는 다음과 같이 운영되며, 아래의 그림은 1 time step 동안의 통신 수행 절차를 나타냄



<그림 2-62> 시스템 객체간의 통신절차

다. 통합 신호운영 평가 시스템의 API프로그램 개발

1) 시뮬레이션 모형의 정의

○ 독일의 PTV에서 개발한 미시적 시뮬레이션 모형으로 2014년 현재 6.0 Version 시판 중이고, 본 연구에서는 5.4 Version을 적용함
○ 세계 교통 시뮬레이션 모형 시장에서 미시적 모형의 대표적인 제품임
○ Multi-modal, 강력한 3D 그래픽 표현, Car-following 모델, 현실적인 네트워크 모사 등의 강점
○ VISSIM ↔ VISSUM ↔ VISWALK 등과 연계
○ 간단한 알고리즘의 구현이 가능한 VISVAP 모형과 API 코딩을 이용한 알고리즘의 세부 구현 및 API 기반의 함수기능의 제공이 가능한 Com Interface

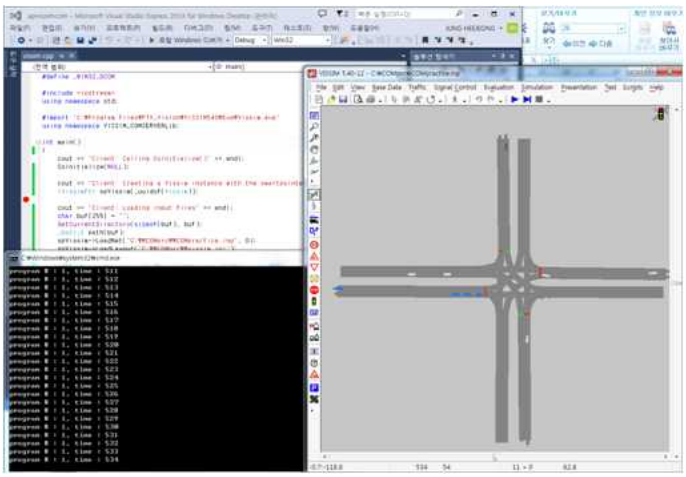
모형을 제공

- VISVAP 모형은 PTV에서 제공하는 각종 모듈과 인터페이스를 통해 각종 제어 알고리즘을 손쉽게 직관적으로 구현이 가능함

- Com Interface 모형은 MS에서 제공하는 표준 API를 지원하고 PTV에서 제공하는 각종 교통관련 정보 수집, 가공, 제공 등의 기능을 수행하는 함수와 C, C#, VB, delphi 등의 언어를 통해 프로그래밍이 가능함

2) Com Interface API 모형의 적용

- ○ COM이란 Component Object Model의 줄임말로 MS사에서 책정한 객체간의 표준규약으로 정의될 수 있음
- ○ COM은 객체간의 통합과 공유를 수행하기 위해 만들어졌으며 COM Interface 모델을 통해 VISSIM 모형의 프로그램 내 각종 설정 및 시뮬레이션 명령을 사용자의 임의로 수정할 수 있음 (Ex. TOD 수행, 감응제어 수행, 검지기 정보 수집, 개별차량 행태 수정 등)
- ○ 근본적으로 상용화된 실행 모듈인 VISSIM 프로그램으로의 접근 및 재사용은 불가능하지만, 사용자의 요구에 의해 특정 언어(C++, C#, Delphi 등)에 상관없이 프로그램에 접근하여 프로그램을 수정/보완할 수 있는 필요성에 의해 COM 이라는 표준모델을 책정하여 해결방안을 제공함



<그림 2-63> COM Interface 실행화면

○ VISSIM 모형은 IVissim, INet, ISimulation등 여러 개의 COM Interface로 구성됨

○ 사용자는 VISSIM의 세부적인 코드를 알지 못해도 Method(함수) 정의서에 의해 필요한 기능을 사용가능

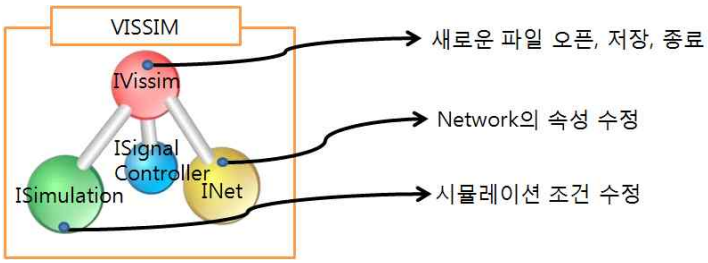
○ COM Interface는 다음과 같은 4가지 특징

① 인터페이스 표준 : 다른 소프트웨어 컴포넌트 자유롭게 공유, 통합 가능

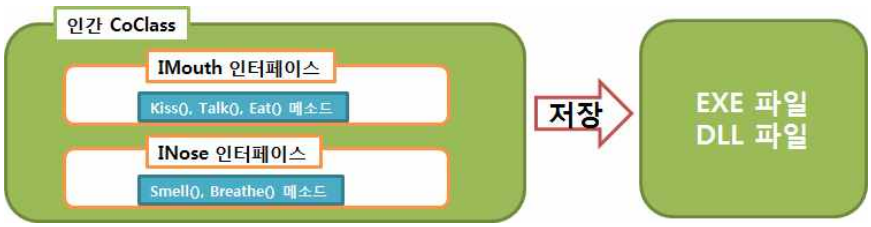
② 언어 중립적 : C++ 뿐만 아니라 여러 언어에서 만들어진 실행모듈에 적용 가능

③ 바이너리표준 : 소스코드 공개 없이 Interface 통해 다른 소프웨어와 공유, 통합 가능

④ 객체지향적 모델 : 컴포넌트의 오브젝트 단위 구성 가능, 객체지향 프로그래밍 특성 지원



<그림 2-64> COM Interface 적용 예



<그림 2-65> CoClass의 개념

○ COM Interface의 사용되는 내부용어들이 많은데 가장 많이 쓰이는 항목은 Method나 Property 등이 있음

- Method: 인터페이스가 자체적으로 가지고 있는 함수로서, 예를 들어 VISSIM의 인터페이스인 IVissim에는 기본적으로 가지고 메소드들이 존재하

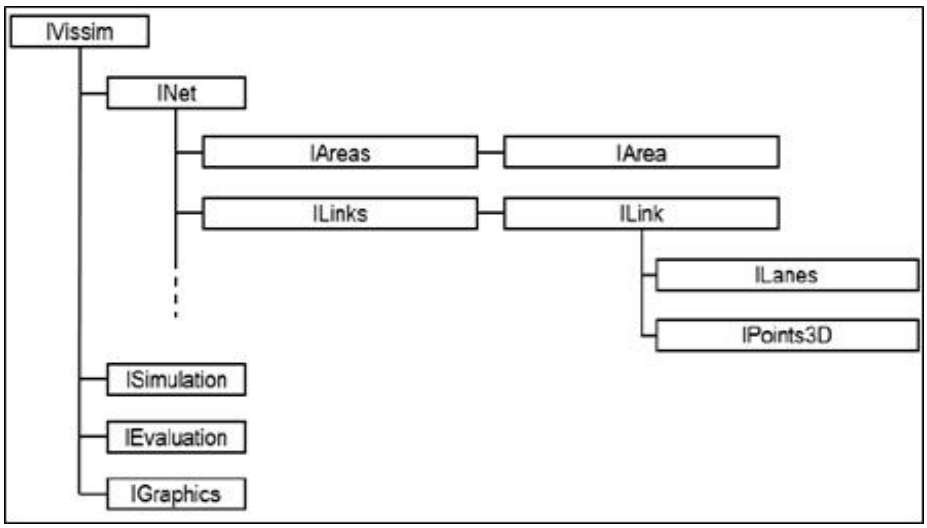
는데, 새로운 프로젝트를 만드는 New Method, 네트워크를 구현할 수 있게 만드는 GetNet Method 등 다양한 Method들이 있음

- Property: Method가 실행을 명령하는 함수와 같다면 Property는 속성값을 가져오는 함수라고 정의할 수 있음

- CoClass : 실제 인터페이스를 구현하는 코드로, 단일 또는 여러 개가 모여 있으면 DLL이나 EXE파일형태로 저장됨

3) Com Interface 기능

- ○ COM Interface를 통해 VISSIM 프로그램 내에 있는 기능들을 활용
- ○ IVissim 인터페이스 내에 INet, ISimulation, IEvaulation, IGraphics 등 많은 인터페이스들이 속해 있음
- ○ IVissim 인터페이스 내부에 이러한 인터페이스들이 있기 때문에 네트워크를 불러오거나 시뮬레이션을 돌릴 수 있지만, 세부적인 object를 실행하기 위해선 전체 경로를 제대로 입력해야함
- ○ 만약, ILanes에 있는 object를 실행하고 싶다고 한다면, IVissim-INet-ILinks-ILink-Ilanes라는 경로를 꼭 거쳐야만 실행 할 수 있음



<그림 2-66> VISSIM 인터페이스의 구성

○ INet 인터페이스는 Vissim에 속해 있고, links, signal controllers, vehicle과 같은 network objects의 접근이 가능하며, 이 외이 다른 인터페이스들은 VISSIM COM PDF파일이나 VISSIM 내 도움말을 참조

○ COM interface는 다양한 언어를 지원하는 기능이 있는데, 그 중 하나의 언어인 MS사의 Visual C++을 통해 COM을 활용할 수 있음

○ Visual C++을 통한 작업을 할 경우 쉽게 Method를 찾을 수 있고, Intelligence 기능은 클래스나 속성을 선택하면 문서화 주석의 내용을 보여주므로 어떤 기능을 하는 클래스, 속성, 메서드인지 도움말이 찾아보지 않아도 간단하게 알 수 있음



<그림 2-67> Intelligence로 Method 검색하는 모습

○ Intelligence를 활용하여 Method 찾는 방법

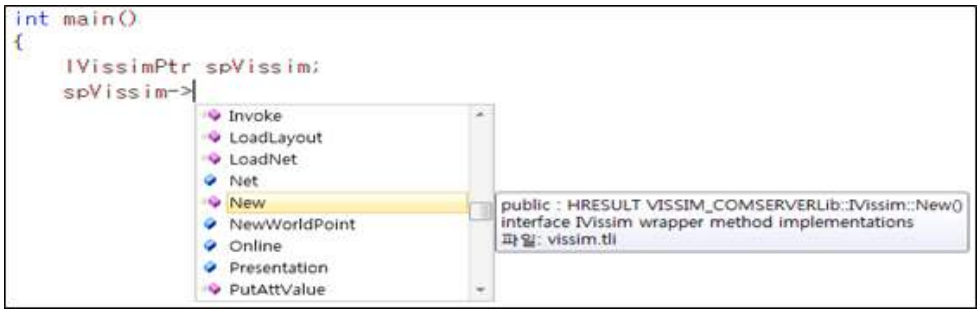
① 헤더파일 정의, Import, VISSIM COMSERVER Library를 선언 (COM SERVER Library는 정의된 함수를 불러오는 역할)

```
#define _WIN32_DCOM
//#include <objbase.h>

#include <iostream>
using namespace std;

#import "C:\Program Files\PTV_Vision\VISSIM540\Exe\Vissim.exe"
using namespace VISSIM_COMSERVERLib;
```

② 인터페이스 이름 뒤에 Ptr을 붙여서 변수를 생성한다. Ptr은 포인터참조(Pointer Reference)를 한다는 것을 말한다. 이후 '->' 문자를 입력하면 사용가능한 하위 함수들이 자동으로 목록에 생성



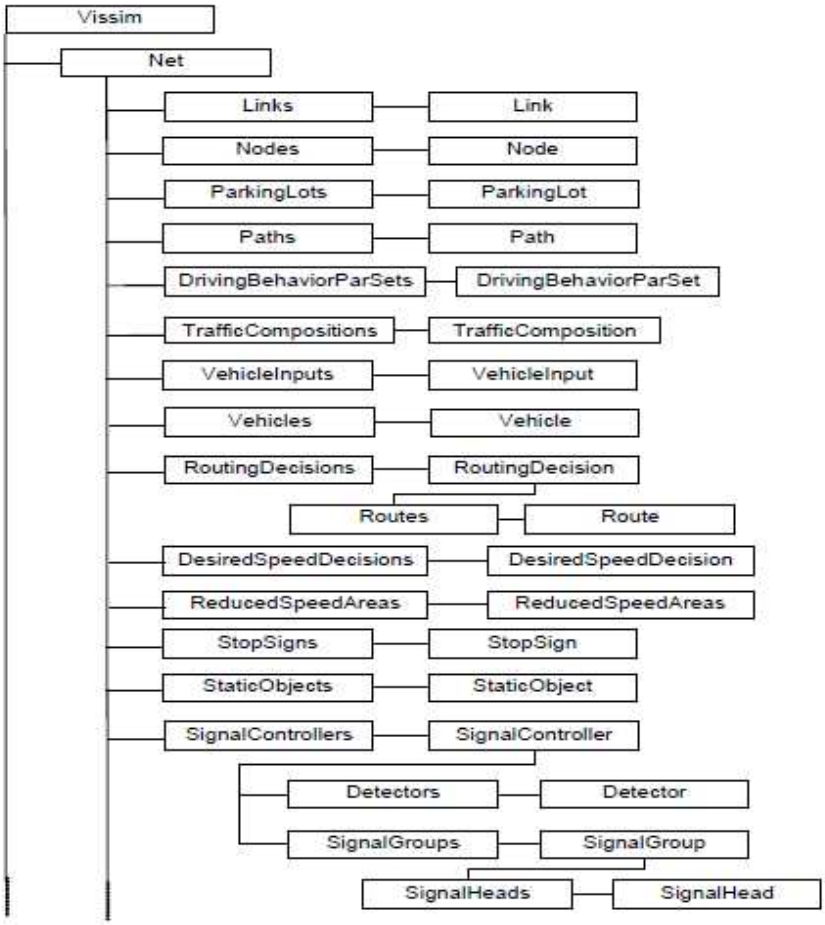
4) Com Interface API 구성

- VISSIM COM object는 반드시 아래 그림과 같은 계층구조를 따라서 접근해야 함
- 예를 들면 Signal Head Interface에 접근하기 위해선 "Vissim - Net - Signal Controllers - Signal Controller - Siganl Groups - Signal Group - Signal Heads - Singnal Head" 순으로 접근
- Basic Object

  ① VISSIM Object: VISSIM COM Interface의 Object Model 중 가장 상위 계층의 Objectdlrh, 모든 Object는 VISSIM Object를 통해서 접근이 가능함

  ② Net Object: VISSIM Object의 Net 속성을 통해서 접근 가능하고, 이 Object엔 link, Signal과 같이 Network에 관련된 모든 Object가 포함되어 있음
- COM Data Objects

  COM Data Objects엔 World Point Object가 있는데 이 Object는 이름 그대로 World Point 설정이 가능



<그림 2-68> Com Interface 구조

○ VISSIM Base Data

VISSIM Base Data는 운전자의 운전행동이나 보행자들의 유형에 관여하는 Object

○ Network

Network Object는 Link-Based, Area-Based, PedAreaBehaviroTypes, PedArea-BehaviorType 으로 구분

① Link-Based

DesireSpeed, link, Node, Parking Lot, ReduceSpeedArea에 관한 속성에 접근하거나 정보를 읽어옴

② Area-Based(Pedestrians)

PedArea(Pedestrian Area)에 관한 속성에 접근하거나 정보를 읽어옴

③ PedAreaBehaviorTypes(Pedestrian Area Behavior Types)

PedAreaBehaviorTypes(Pedestrian Area Behavior Types)에 관한 속성에 접근하거나 정보를 읽어옴

④ PedAreaBehaviorTyle(Pedestrian Area Behavior Type)

PedAreaBehaviorType(Pedestrian Area Behavior Type)에 관한 속성에 접근하거나 정보를 읽어옴

○ Traffic

① Vehicle

Vehicle의 모음인 Vehicles와 각각의 차량을 나타내는 Vehicle에 관한 속성에 접근하거나 정보를 읽어옴

② Private Traffic

경로선택, transit Line, transit Stop, Pedestrian, PedInput, PedRoute, Dynamic Assignment, Path에 대한 속성에 접근하거나 정보를 읽어옴

○ Intersection Control

Intersection Control은 비신호교차로와 신호교차로 제어에 관여하는 속성에 접근하거나 그 정보를 읽어옴

① Non-Signalized

StopSign에 관한 속성에 접근하거나 정보를 읽어옴

② Signal Control

Detector, PTCallingPoints, SignalController, SignalGroup, SignalHead에 관한 속성에 접근하거나 정보를 읽어옴

○ Simulation&Test

Simulation제어가 기능

○ 2.2.8 Graphics&Presentation

Graphic, Presentation, Static Object에 관한 속성에 접근

○ Result

Simulation 평가를 위한 Object로 Result에 관한 속성에 접근하거나 정보를 읽어옴 (link, Data Collect, Queue, Travel Time, Ped Travel Time, Delay, Node, Delay에 관한 평가 결과값 얻을 수 있음)

5) Com Interface API 개발

○ VISSIM 모형과 통합 신호제어기와의 연계를 위한 COM Interface의 구성은 다음과 같음
- 시뮬레이션 수행을 위한 모듈
- 중계모듈과의 통신 소켓 모듈
- 모형 내 검지기 자료 수집 모둘
- 통합 신호제어기에 필요한 자료 송신 모듈
- 시뮬레이션에 필요한 현시자료 수신 모듈
- 시뮬레이션 컨트롤러 속성 변경 모듈

6. 통합 신호제어 알고리즘 평가

가. 분석대상 구간

○ 본 연구의 트램 신호제어 전략을 평가하기 위한 실험대상 지역으로 현재 트램 시스템 기본설계가 진행되었던 경상남도 창원시의 트램 계획구간에 대해서 효과분석을 수행

○ 대상구간은 창원시 의창대로에서 원이대로에 걸친 총 4.1km 길이의 22개 교차로를 대상으로 함

○ 22개 교차로 중 단일로 4개와 트램 정류장 6개를 포함한다. 12개 신호교차로는 9개의 4지교차로와 3개의 3지 교차로로 구성되어 있으며, 트램 정류장 6개는 모두 링크의 중간(mid block)에 위치하는 것으로 가정함

○ 평가대상 구간은 총 2개의 제어구간으로 구성되는데, 의창대로의 9개 교차로는 SA1에 포함되고, 원이대로의 13개 교차로는 SA2에 포함되어 있고, 통행특성이 다른 2개의 제어구간은 본 연구의 각 신호제어 전략에 따라 각각 신호최적화를 수행함



<그림 2-69> 효과분석 대상구간의 위치

<표 2-16> 분석구간 교차로 현황(창원시)

교차로명		기하구조	정류장 위치	비고
1	의창사거리	4지 교차로		SA1
2	정류장	단일로	mid-block	SA1
3	윤병원	단일로		SA1
4	현대주유소	4지 교차로		SA1
5	39사 사거리	4지 교차로		SA1
6	39사 입구	단일로		SA1
7	정류장	단일로	mid-block	SA1
8	금호사거리	4지 교차로		SA1
9	도계광장	3지 교차로		SA 분리
10	도계삼거리	3지 교차로		SA 분리
11	정류장	단일로	mid-block	SA2
12	대원연립	4지 교차로		SA2
13	도계주유소	4지 교차로		SA2
14	서부경찰서	4지 교차로		SA2
15	명곡연립	3지 교차로		SA2
16	정류장	단일로	mid-block	SA2
17	명서사거리	4지 교차로		SA2
18	어린이집	단일로		SA2
19	하남천	단일로		SA2
20	정류장	단일로	mid-block	SA2
21	상북사거리	4지 교차로		SA2
22	정류장	단일로	mid-block	SA2

○ 가로 중간의 중앙 트램 전용차로와 트램 정류장은 원이대로 구간의 경우, 4m의 중앙분리대와 4.5m의 길어깨를 이용하여 기존 차로의 삭제 없이 설치하는 것으로 가정하였으며, 의창대로 구간은 가로변 버스전용차로를 도로 중앙의 트램 전용차로로 옮기는 방법으로 기존 차로의 감소 없이 트램 전용차로를 설계함

○ 트램의 흐름이 단절되는 SA1과 SA2의 연결 문제에 있어 SA2에서 SA1의 연결은 기존의 좌회전 신호를 이용하여 중앙 트램 전용차로를 연결하였고, SA1에서 SA2의 연결은 도계광장에서 트램 전용 우회전 신호를 현시 중간에 삽입하여 연결함

나. 시뮬레이션 설계

1) 평가조건

○ 시뮬레이션 분석을 위한 도구는 VISSIM 모형과 우선신호 제어 알고리즘을 구현하기 위한 VISSIM Com Interface 모형을 사용함

○ 평가 시나리오 별로 VISSIM 모형의 랜덤시드를 달리하여 10회씩 반복하여 시뮬레이션 평가를 수행하였고, 제어구간 별로 각각 Passer-Ⅱ 모형과 TRANSYT-7F 모형을 이용하여 신호시간계획을 수립

○ 교통량은 창원시 원이대로의 첨두시 실제 조사된 교통량을 기준으로 적용

○ 트램의 주행속도는 트램의 주행속도는 연동속도인 45(km/h)로 가정하였고, 자유속도인 60(km/h)까지 변화시켰으며, 일반차량은 자유속도 80(km/h)를 적용하여 시뮬레이션을 수행함

○ 시뮬레이션에서 트램의 연동에 가장 큰 영향을 미치는 정류장 정차시간은 최소 정차시간을 15초로 가정하고, 최소/최대 정차시간 ±7.5초의 표준편차가 같은 정규분포를 따르도록 함

○ 트램차량의 배차간격은 2분으로 조정하여 1시간에 총 30대가 대상구간의 트램 노선에서 발생하도록 하여 대향차로의 트램차량의 영향을 평가할 수 있도록 함

<표 2-17> 시뮬레이션 평가조건

적용조건		적용내용	비고
트램	연동폭 크기	15초	트램의 최소 연동폭
	주행속도	60km/h	자유속도
	정차시간	15초(±7.5초, 최대 45초)	정규분포를 따름
	배차간격	2분	방향별 30대 발생
일반차량	주행속도	80km/h	자유속도
	교통량	첨두시 교통량	조사자료(V/C=0.7)

2) 분석 시나리오

○ 시뮬레이션 분석을 위한 시나리오는 총 4가지로 구성

○ 첫 번째는 창원시의 해당구간의 일반 차량을 기준으로 Passer-II 모형을 사용하여 분석대상구간인 SA1과 SA2에 대하여 각각 신호최적화를 수행하여 산출된 신호시간을 적용함

○ 두 번째 시나리오는 고정식 우선신호 전략을 적용한 1단계 Progression Control을 적용

○ 세 번째 시나리오는 1차년도 개발된 통합 신호제어 전략을 사용하여 Progression Control과 Tram-Stop Signal Control, Tram Priority Control을 적용한 트램 우선신호 전략을 적용함

- Tram Priority Control 전략에서 Early Green과 Green Extension 기법 적용

○ 네 번째 시나리오는 2차년도와 3차년도의 개선된 알고리즘을 적용하여 대향방향의 트램차량을 고려하고, SA 간의 우선신호를 적용한 제어전략 적용

- Tram Priority Control 전략에서 Early Green과 Green Extension 기법 및 Phase Insertion 기법이 추가적으로 적용된 우선신호 판단 알고리즘과 대향방향 상충판단 알고리즘 적용

○ 이러한 네 개의 시나라오를 통해 본 연구의 통합 신호제어 전략과 우선신호 알고리즘이 트램차량과 일반차량에 미치는 영향을 확인함

<표 2-18> 효과분석 시나리오

구분	적용내용	비고
S0	현황신호	분석구간에서 운영 중인 신호시간 적용
S1	일반차량 기준 신호최적화	Passer-II 모형을 이용하여 일반차량 기준 신호최적화 수행
S2	Progression Control 전략	고정식 우선신호
S3	통합 신호제어 전략	고정식 + 능동식 우선신호 (1차년도)
S4	개선된 통합 신호제어 전략	고정식 + 능동식 우선신호 (2,3차년도)

3) 효과척도

○ 본 연구의 신호제어 목표인 트램의 교차로 무정차 통행을 달성했는지 확인하기 위해 네트워크 전체의 평균 정지수(회/대)와 녹색시간 도착비율(%)을 확인하였고, 트램의 이동성을 확인하기 위해서 전체 노선의 평균 통행시간(초/대)를 효과척도로 선정함

○ 일반차량의 신호제어전략에 따른 영향을 분석하기 위해서는 가장 일반적인 교차로 교차로의 성능평가 항목인 평균제어지체(초/대)를 효과척도로 적용하였으며, 중앙 트램 전용차로의 트램현시와 동시에 제어되는 주방향의 직진현시와 트램 우선신호 제어 시에 영향을 받는 비우선현시들을 구분하여 효과척도를 산출

○ 트램차량과 일반차량의 효과를 동시에 평가하기 위해서 트램과 일반차량의 평균재차인원을 적용한 교차로 평균 사람당 제어지체를 산출하여 신호제어 효과를 검증함

○ 평균통행시간은 트램차량에 대한 트램 우선신호 제어전략의 영향을 평가하기 위한 주요 효과척도이며, 분석 대상구간의 첫 번째 교차로인 정류장 6의 트램 전용차로 진입링크부터 의창사거리의 진출링크까지 이 구간을 통행하는 모든 트램차량에 대해 측정함

○ 트램의 녹색시간 도착비율은 트램 우선신호가 얼마나 적절하게 적용되었는지를 판단하기 위해서 측정함

○ 트램차량이 교차로의 녹색시간 동안에 얼마나 도착했는지는 Progression

Control 전략에서 트램의 연동폭이 확보되었는지, Tram-Stop Signal Control 에서 전략에서 얼마나 적절하게 트램의 정류장 정차시간을 제어했는지, Tram Priority Control 전략에서 트램차량에 추가적인 녹색시간을 적절하게 제공했는가에 대해서 판단하는 중요한 지표로서 사용

○ 녹색시간 도착비율은 우선현시 동안에 교차로에 도착한 트램차량과 시뮬레이션 시간동안 발생한 모든 트램차량과의 비율로 계산

○ 트램의 정지수는 본 연구의 주요 목표인 트램의 무정차 통해 달성도를 확인하기 위한 지표이고, 트램이 정류장 정차를 제외한 모든 링크와 교차로 상에서 속도가 0 (km/h)인 상황을 체크함

○ 주방향 평균제어지체는 우선현시를 통행하는 주방향의 교차로로 진입하는 모든 일반차량과 트램차량이 경험하는 지체의 총량을 총 차량수로 나누어 계산

○ 교차로 평균 사람당 제어지체는 차량의 평균 재차인원을 이용하여 교차로를 통과하는 모든 차량의 사람당 지체변화를 확인

- 일반차량의 재차인원은 교통사업의 예비타당성 조사지침의 부산울산광역권 승용차 재차인원인 1.360명을 적용하였고(한국개발연구원, 2008), 트램의 재차인원은 기존연구의 트램 승객정원 최소치인 110명을 적용하여 효과척도 산출에 이용함 (신종현, 2005)

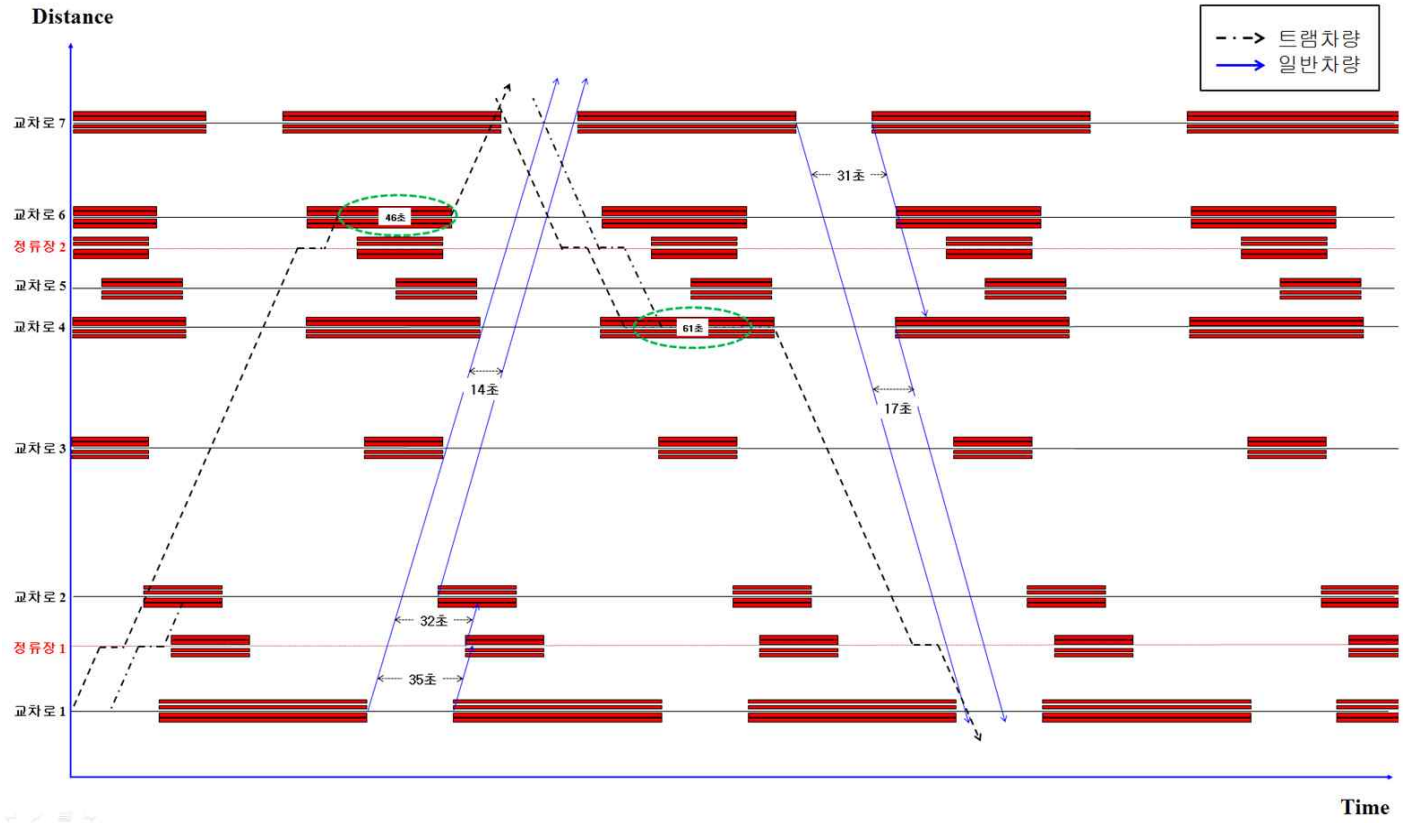
○ 트램 전용차로 운영에 따른 환경지표의 변화를 평가하기 위해 연료소모량 및 대기오염물질 배출량(CO/NOX)을 변화를 확인함 (트램의 연료소모량과 대기오염물질 배출량은 0으로 가정)

<표 2-19> 시나리오 분석을 위한 효과척도 선정

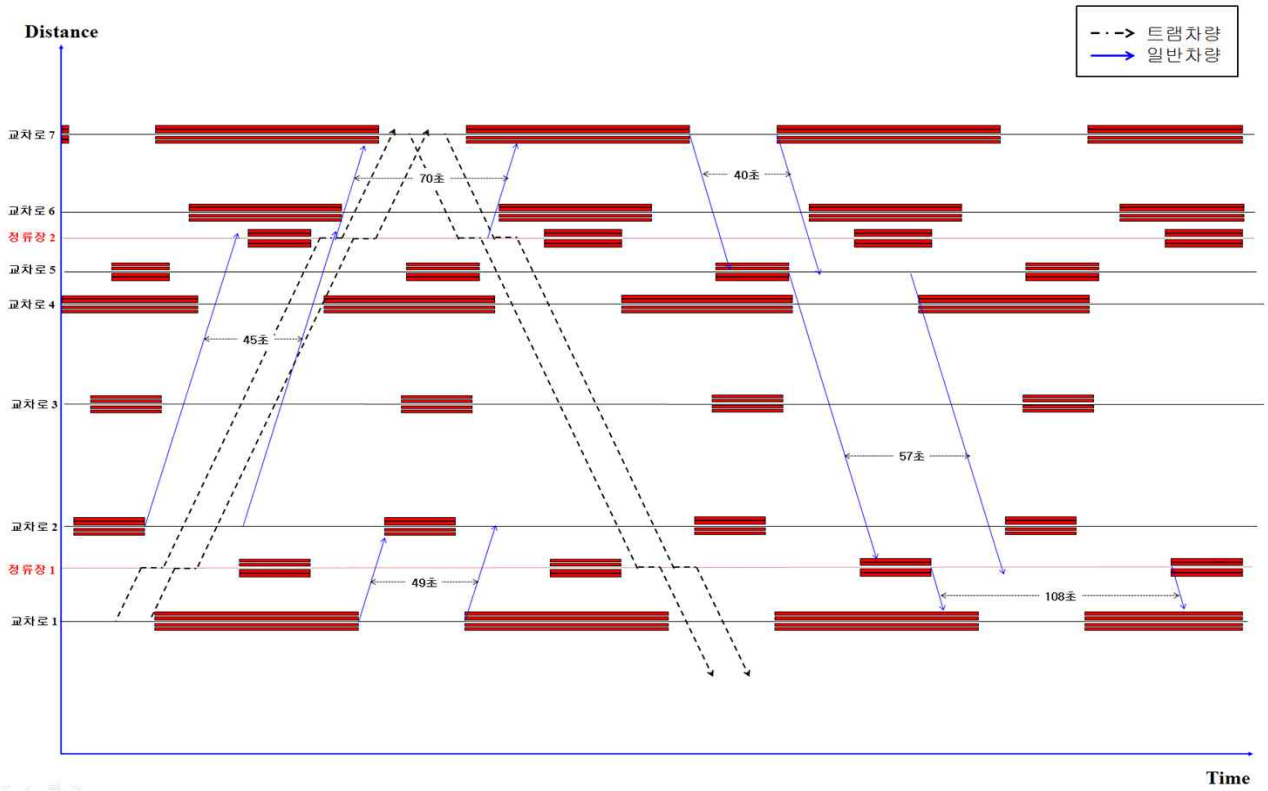
적용대상	효과척도	단위
트램	가로축 평균 차량당 통행시간	sec/veh
	교차로 평균 정지수	no/veh
	교차로 평균 녹색시간 도착비율	%
일반차량	주방향의 교차로 평균 차량당 제어지체	sec/veh
	네트워크 평균 차량당 제어지체	sec/veh
트램+일반차량	교차로 평균 사람당 제어지체	sec/per
	연료소모량, 대기오염물질 배출량	gal/veh, g/veh

다. Progression Control 전략의 신호최적화 효과 분석

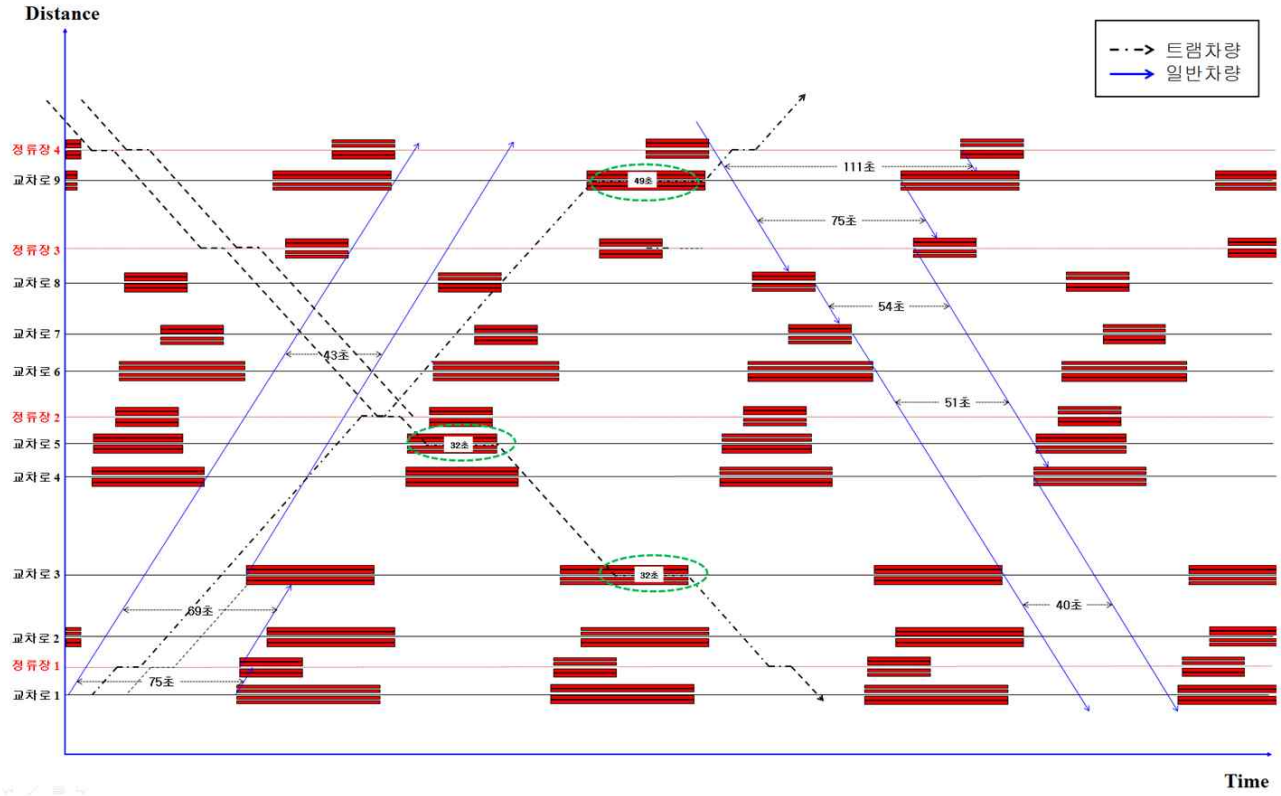
- ○ 본 연구의 제 1단계 트램 우선신호 제어전략인 Progression Control 전략의 고정식 우신신호 시간계획의 작성을 위해 간선도로 신호최적화 S/W인 Passer-Ⅱ와 T-7F 모형을 이용하여 각각의 제어단위별로 신호최적화를 수행
- ○ SA1은 의창사거리부터 도계광장까지 총 9개 교차로를 포함하는 약 1.5km 구간의 해당하고, SA2는 도계광장부터 명곡광장까지 총 13개 교차로를 포함하는 2.6km 구간에 해당하며, 이 두 개의 제어단위에 대해서 두 개의 신호최적화 모형을 이용하여 신호최적화를 수행
- ○ Passer-Ⅱ 모형을 이용해서 일반차량 기준의 신호최적화를 수행한 결과, <그림 2-70>와 같이 SA1의 일반차량 연동폭은 Outbound 14초, Inbound 17초를 확보하였으나, 트램차로는 연동폭을 확보하지 못함
- ○ SA2의 결과는 <그림 2-72>의 시공도에 나타내고 있고, 일반차량의 연동폭은 방향별로 각각 43초와 40초를 확보하였으나, 트램의 연동폭은 SA1과 마찬가지로 확보하지 못했다.
- ○ T-7F 모형을 이용하여 트램의 최소연동폭과 일반차량의 옵셋을 최적화한 결과, <그림 2-73>와 같이 SA1에서는 트램의 연동폭 15초를 확보하였으나, 일반차량의 연동폭은 확보하지 못했고, SA2에서는 트램차량의 연동폭 15초를 확보하면서 일반차량의 연동폭을 방향별로 각각 34초 확보함
- ○ 하지만 트램 정류장의 정차시간을 최적화한 결과, 정류장 2에서 진출방향에서 23초, 진입방향에서 6초의 추가적인 정차가 발생하는 것으로 분석됨



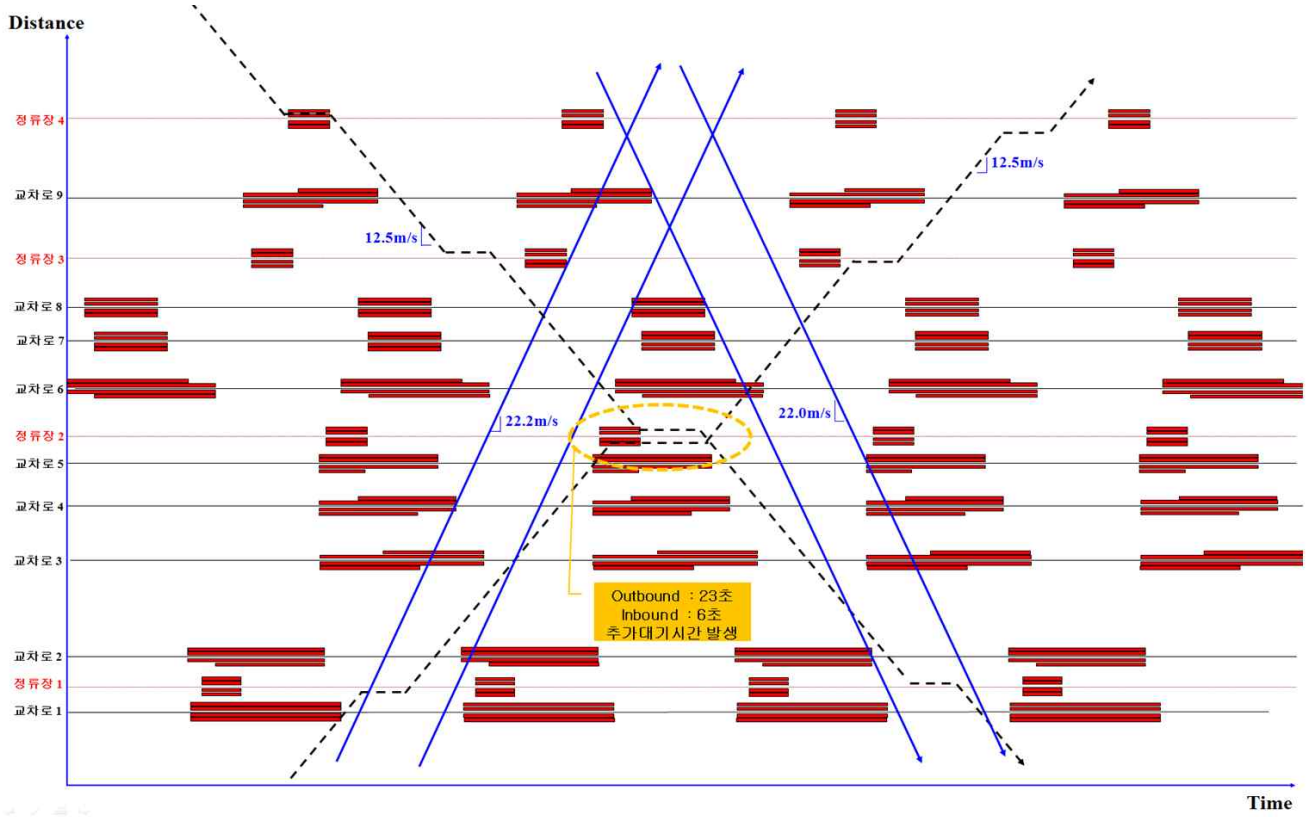
<그림 2-70> SA1의 Passer-II 일반차량 기준 신호최적화 결과 시공도



<그림 2-71> SA1의 Progression Control 전략을 이용한 신호최적화 결과 시공도



<그림 2-72> SA2의 Passer-II 일반차량 기준 신호최적화 결과 시공도



<그림 2-73> SA2의 Progression Control 신호최적화 결과 시공도

라. 통합 신호운영 전략의 효과분석 결과

1) 트램차량의 효과척도 분석결과

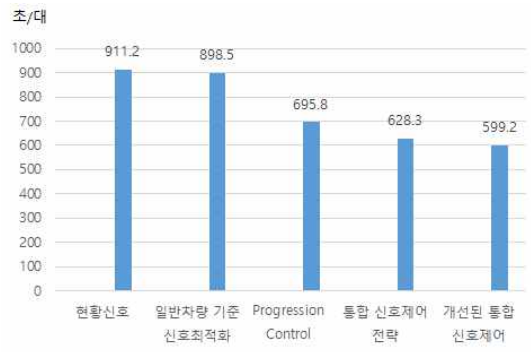
- ○ 트램의 양방향 평균 주행시간을 분석한 결과, 원이대로의 현황신호를 적용하여 시뮬레이션을 수행한 시나리오 S0은 분석구간 전체의 트램 평균통행시간이 911.2초로 나타남
- ○ Passer-Ⅱ를 이용하여 일반차량에 대한 신호최적화를 수행한 시나리오 S1은 분석구간 전체에서 898.5초의 평균 주행시간을 나타내어 S0에 비해 트램의 통행시간과 큰 차이를 보이지 않았고 , Progression Control 전략을 적용하여 트램 전용차로과 일반차로에 대해서 신호최적화를 수행한 S1은 695.8초를 나타냄
- ○ 고정식 우선신호 전략을 적용한 Progression Control(S2)은 트램 전용차로의 신호연동화로 인해 현황신호를 적용한 S0에 비해 약 23%의 통행시간 감소효과를 나타낸 것으로 분석
- ○ 1차년도의 연구결과인 통합 신호제어 전략을 적용한 S3는 628.3초의 평균 주행시간을 나타내어, 능동식 우선신호의 추가적인 효과로 인해 S0에 비해 약 31%의 통행시간 감소효과를 나타냄
- ○ 기존 통합 신호제어 전략에서 2차년도와 3차년도의 연구결과인 대향차로 트램차량과의 상충을 고려한 알고리즘과 SA 간 우선신호 알고리즘을 적용한 S4는 599.2초의 평균 통행시간을 나타냄으로서 개선된 통합 신호제어 전략이 현황신호(S0)에 비해 약 34%의 통행시간 개선을 나타내었고, 기존 1차년도 통합신호제어 전략에 비해 약 3%의 개선효과를 나타낸 것으로 분석됨
- ○ 트램의 신호제어 전략별 연동효과와 신호교차로 무정차 통행효과를 확인하기 위해 트램 정류장을 제외한 총 16개 교차로에 대해서 단방향의 트램의 교차로 평균 정지수를 확인하였으며, S0은 7.1회, S1은 6.7회, S2는 3..0회, S3는 1.5회, S4는 0.8회의 평균 교차로 정지수를 나타냄
- ○ 트램의 연동효과로 인해 Progression Control 전략(S2)은 현황신호에 비해

58%, 일반차량 기준 신호최적화(S1)에 비해 약 55%의 정지수 감소효과를 나타냈고, 1차년도 통합 신호제어 전략(S3)에서는 78%의 정지수 감소효과를 나타냄으로서 두 대의 트램 차량이 동시에 신호교차로를 접근하는 경우와 SA 간 연동단절을 제외하고는 트램 우선신호 효과가 크게 나타난 것으로 분석됨

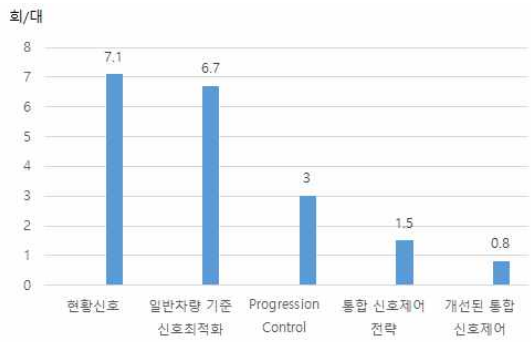
○ 개선된 통합 신호제어(S4)은 1회 미만으로 정지수를 감소시킴으로서 신호제어 목표인 트램의 교차로 무정차 통과를 달성한 것을 판단됨

<표 2-20> 트램차량 분석 결과

구분	현황신호 (S0)	일반차량 기준 신호 최적화 (S1)	Progression Control 전략 (S2)	통합 신호제어 전략 (S3)	개선된 통합 신호제어 (S4)
평균 통행시간 (초/대)	911.2	898.5	695.8	628.3	599.2
평균 정지수 (회/대)	7.1	6.7	3.0	1.5	0.8



<그림 2-74> 트램의 평균통행시간 (초/대)



<그림 2-75> 트램의 평균 정지수 (회/대)

2) 일반차량의 효과척도 분석결과

○ 트램의 우선신호 제어에 따른 일반차량의 지체변화를 확인하기 위해 주방향 우선현시 일반차량의 교차로 평균 차량당 제어지체를 확인하고, 트램의 연동화에 따른 일반차량 직진현시의 연동효과를 분석

○ 일반차량의 주방향 평균 제어지체를 분석한 결과, 현황신호(S0)는 16.5초, 일반차량의 신호최적화(S1)는 13.0초 Progression Control 전략(S2)은 15.2초로 현황신호에 비해 약 1.3초의 지체가 감소하고, 일반차량에 대한 최적화 신호에 대해서는 약 2.2초의 지체가 증가

○ 이는 현황신호(S0)보다는 S2의 지체가 감소하였으나, 일반차량에 대한 신호최적화 적용(S1)에 비해서는 트램의 우선신호 적용에 따른 영향으로 일반차량의 지체가 약간 증가하였음을 알 수 있음

○ 하지만 통합 신호제어 전략(S3)과 개선된 통합신호제어 전략(S4)을 적용했을 경우에는 일반차량 기준의 최적화 신호와 지체의 증감에 차이가 없음

○ 이는 트램의 능동식 우신신호 제어에서 추가적인 녹색시간이 제공됨에 따라 일반차량의 동일한 통행기회 증가로 S3와 S4의 지체가 감소했음을 알 수 있음

○ 네트워크 전체의 평균 제어지체 분석은 트램의 우선신호 제어에 따른 교차로 전체의 지체증감 효과와 부방향과 주방향 회전차로의 영향을 확인하기 위해서 트램차량과 일반차량을 포함한 네트워크 전체의 평균 차량당 제어지체를 분석함

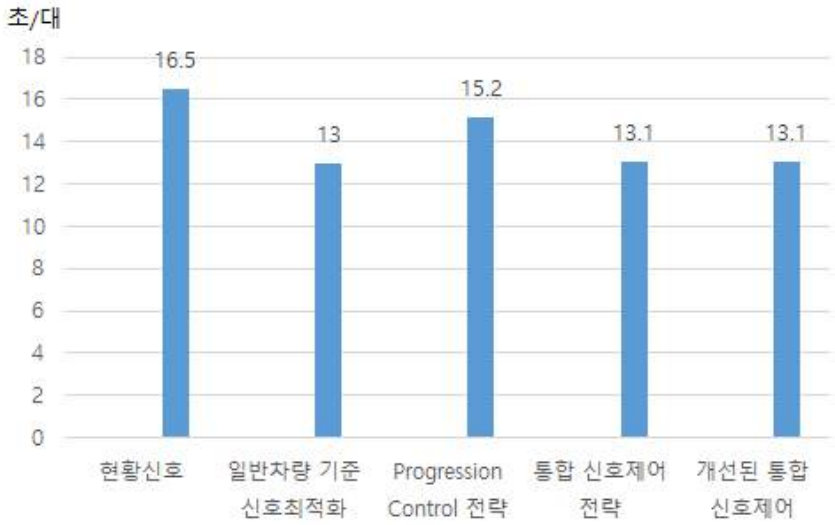
○ S2는 33.5초로 현황신호를 적용했을 때 38.8초 보다 지체가 5.3초 감소하였고, S1보다는 1.2초 증가함으로서 고정식 우선신호 제어에 따른 비우선현시의 지체증가 효과가 나타남

○ S3와 S4는 각각 33.9초와 34.1초로 능동식 우신신호 제어의 수행에 따라 부방향과 회전차로의 녹색시간이 줄어들면서 전체적인 지체가 증가한 것으로 확인

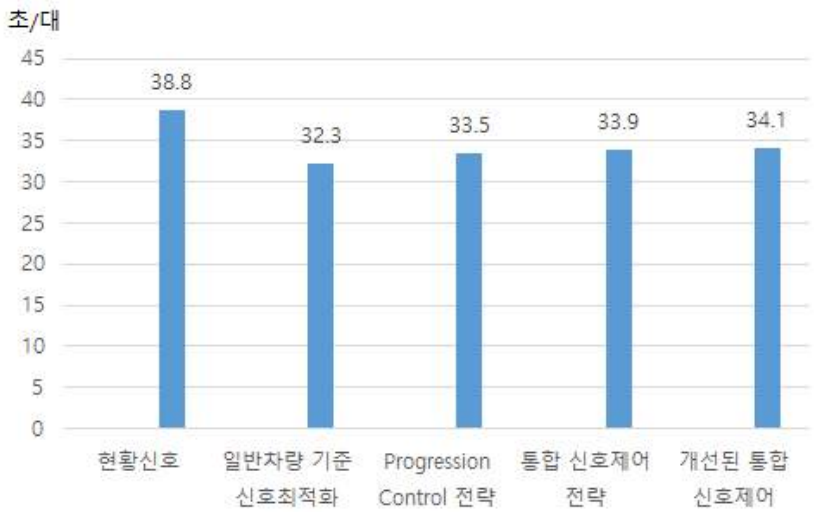
<표 2-21> 일반차량 분석 결과

구분	현황신호 (S0)	일반차량 기준 신호 최적화 (S1)	Progression Control 전략 (S2)	통합 신호제어 전략 (S3)	개선된 통합 신호제어 (S4)
주방향 평균 제어지체 (초/대)	16.5	13.0	15.2	13.1	13.1
네트워크 평균 제어지체 (초/대)	38.8	32.3	33.5	33.9	34.1

○ 이러한 효과분석 결과는 우선신호 제공에 따른 트램의 연동화로 인해 교차로 전체의 지체가 약간 증가하였으며, 약간은 전체 네트워크 평균제어기체의 증가분으로 트램의 무정차 통행을 수행되고 있음을 알 수 있음



<그림 2-76> 일반차량의 주방향 평균 제어지체 (초/대)



<그림2-77> 일반차량의 네트워크 평균 제어지체 (초/대)

3) 평균 사람당 제어지체 분석결과

○ 트램 우선신호 제어에 따른 분석 네트워크 전체의 사람에 대한 지체변화를 분석하기 위해 트램과 일반차량을 포함하여 평균 사람당 제어지체를 분석

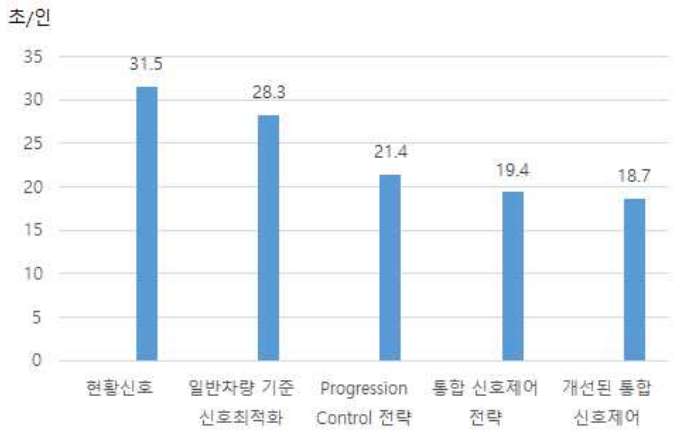
○ 아래의 표를 살펴보면, S0은 31.5초, S2는 21.4초로 트램에 대한 고정식 우선신호를 수행함에 따라 교차로의 사람당 평균 제어지체가 약 32% 감소하였고, 일반차량 기준의 신호최적화 결과인 28.3초에 비해서도 약 6.9초의 지체감소 효과를 나타냄

○ 통합 신호제어 전략(S3)는 19.4초로 S0에 비해 약 38%의 지체감소 효과를 나타내었고, 개선된 통합 신호제어 전략도 현황에 비해 약 39%의 지체개선 효과를 나타냄

○ 이러한 결과는 트램을 위한 통합 신호제어 전략의 적용이 차량을 기준으로 하는 네트워크 전체의 지체는 약간 증가할 수 있으나, 대중교통 중심의 신호제어를 수행함으로서 사람당 지체는 감소할 수 있음을 보여주는 결과임

<표 2-22> 평균 사람당 제어지체 분석 결과

구분	현황신호 (S0)	일반차량 기준 신호 최적화 (S1)	Progression Control 전략 (S2)	통합 신호제어 전략 (S3)	개선된 통합 신호제어 (S4)
평균 사람당 제어지체 (초/인)	31.5	28.3	21.4	19.4	18.7



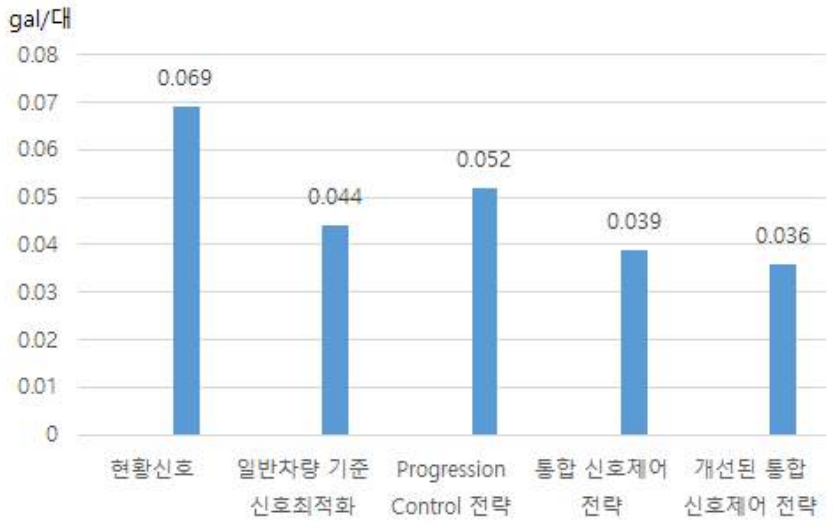
<그림 2-78> 트램과 일반차량의 평균 사람당 제어지체 (초/인)

4) 환경지표 분석결과

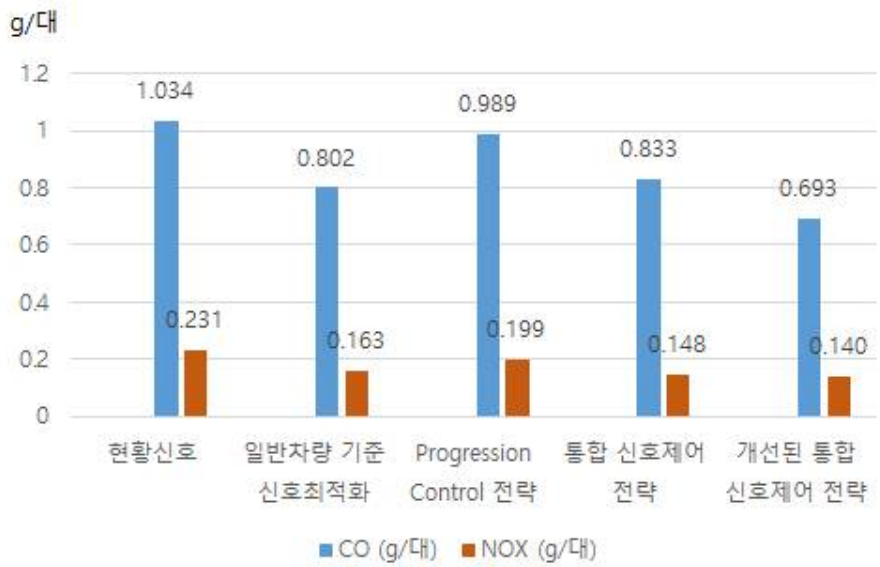
- ○ 트램 우선신호 제어에 따른 분석 네트워크 전체의 환경지표의 변화를 분석하기 위해 일반차량에 대한 연료소비량과 배기가스 배출량을 분석
- ○ 일반차량에 대한 연료소비량은 S0은 0.069gal, 일반차량 기준 신호최적화의 S1은 0.044gal으로 일반차량에 대한 교차로 신호최적화만으로 약 36%의 연료소모량 감소 효과를 나타냄
- ○ 트램에 대한 고정식 우선신호가 적용된 S2는 0.052gal으로 트램에 대한 고정식 우선신호를 수행함에 따라 교차로의 일반차량에 대한 신호최적화를 수행했을 경우에 연료소비량이 약간 증가함하고 있지만, 현황에 비해서는 약 24%의 감소효과가 나타남
- ○ 개선된 통합 신호제어 전략을 적용하였을 경우, 연료소비량이 0.036까지 감소함으로서 주방향의 지체가 감소함에 따라 연료소비량도 함께 감소하였음을 알 수 있음
- ○ 이러한 결과는 트램을 위한 통합 신호제어 전략의 적용으로 인한 교통신호의 변화가 환경적인 측면에서 개선효과를 나타낼 수 있음을 보여줌

<표 2-23> 환경지표 분석 결과

구분	현황신호 (S0)	일반차량 기준 신호 최적화 (S1)	Progression Control 전략 (S2)	통합 신호제어 전략 (S3)	개선된 통합 신호제어 (S4)
연료소비량 (gal/대)	0.069	0.044	0.052	0.039	0.036
CO (g/대)	1.034	0.802	0.989	0.833	0.693
NOX (g/대)	0.231	0.163	0.199	0.148	0.140



<그림 2-79> 트램과 일반차량의 연료소비량 (gal/대)



<그림 2-80> 트램과 일반차량의 배기가스 배출량 (g/대)

제3절 다수단 통합 신호제어기 개발

1. 정보연계모듈 개발

가. 주요기능설계

○ 정보연계모듈은 VME BUS 방식의 하드웨어로 제작하여 신호제어기내 CPU 모듈과 연동하며 유/무선의 통신 방식으로 외부시스템과 연계되어 실시간 위치정보 기반의 우선신호 제어기능을 수행

○ 또한 정보연계모듈은 차량의 위치정보(속도, 위치)에 따라서 우선신호 제어기능을 수행하며 외부 시스템 요구 시 상세운영정보를 제공할 수 있도록 설계. 주요설계기능은 다음과 같음

<표 2-24> 정보연계모듈 주요 설계기능

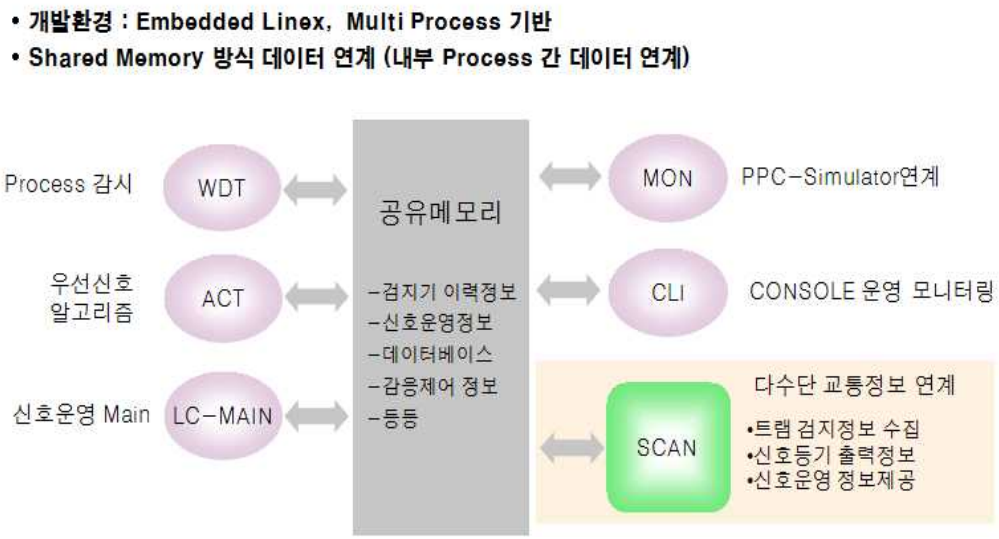
구분	장점	단점
신호운영 정보수집	- 신호제어기에서 수행, 표출되는 실시간 신호운영 정보를 수집한다. 신호운영 정보는 우선신호 제어를 수행할 때 참조되는 운영정보로 주요 내용은 다음과 같음 - 신호운영 주기(Cycle)/현시(Phase)/진행시간 정보 - 신호제어기 동작상태 정보(정상/수동/점멸/소등/모순 등) - 현시별 신호운영 정보(최소녹색시간, 진행시간)	매 100ms 단위 VME Memory 참조
우선신호 제어기능	- 실시간으로 수집되는 신호운영 정보와 트램 위치정보 및 우선신호 허용여부에 따라서 신호제어기 단에서 수행되는 Active 우선신호제어 기능을 수행함 - Early Green 방식 : 현시 내 녹색시간 조기종결 - Extend Green 방식 : 현시 내 녹색시간 연장 - Phase Insert/Omit 방식 : 해당현시로 직접 이동	신호제어기내 우선신호 알고리즘 구현
차량위치 정보수집	- 실시간으로 수집되는 차량(트램)의 위치정보를 수집하고 차량의 교차로 접근정보를 추출한다. 추출된 접근정보를 기반으로 신호제어기는 우선 신호제어를 수행함 - 실시간 차량의 위치정보 수집 - 위치정보 기반의 교차로 접근정보(도착 예상정보)	검지체계마다 상이함

유/무선 통신기능	- 차량의 위치정보 수집을 위한 교차로 내 유무선 통신 장치와의 정보연계를 수행한다. 각 검지기 특성에 따라서 통신 인터페이스는 상이할 수 있음 - UDP Network 통신 (UTIS 통신 적용 시) - TCPIP, RS232 통신	검지체계마다 상이함
외부시스템 연계	- 정보연계모듈 내에서 수행되는 우선신호 적용상태와 실시간 차량위치 정보, 신호제어시 운영상태 등의 부가정보를 모니터링하기 위하여 외부 시스템 연계기능을 수행함 - 우선신호 모니터링 시스템 연계 - TCP/IP 기반 통신방식 적용	외부 모니터링 시

나. 정보연계모듈 Task 구성

○ 정보연계모듈에 탑재되는 소프트웨어는 Embedded Linux O/S 기반위에 멀티 프로세스 형식으로 구성되며 각각의 독립적인 프로세스들은 내부 Shared Memory(공유메모리)를 통하여 상호간에 연계되며 WDT Process에 의하여 실행 및 동작감시를 수행

○ 정보연계모듈의 Process 구성은 다음과 같음



<그림 2-81> 정보연계모듈 내 Process 구성

<표 2-25> Process 별 주요 기능

Process	주요 기능	비고
WDT	• Process 의 기동 및 동작상태를 감시하는 Main Process	기동 Process
ACT	• 트램의 정류장 출발신호 및 교차로 우선신호 제어알고리즘 Process - 실시간 트램 검지정보에 따른 정류장 출발제어 기능 - 교차로 도착 예정시간을 산출, Early/Extend Green 제어	우선신호 수행
LC-MAIN	• 표준신호제어기내 VME BUS 프로토콜 연계 Process - 실시간(100ms) 단위로 신호제어기 CPU와 연계 - 실시간 신호운영정보 추출, 우선신호 제어에 따른 현시제어	신호제어기 연계
MON	• 정보연계모듈의 파라메터 및 동작상태 감시 Simulator Process - PC기반 전용 Simulator 연계 - 우선신호제어용 파라메터 송수신, 운영 모니터링	-
SCAN	• 트램검지정보 수집을 위한 교통류 모형 연계 Process - 정류장, 교차로 진입에 따른 검지기 정보(이벤트) 수집 - 실시간 신호운영 정보 연계	교통모형 Simulator 연계
CLI	• 운영자 Console Process - 정보연계모듈의 동작상태 모니터링을 위한 Console 기능	Console

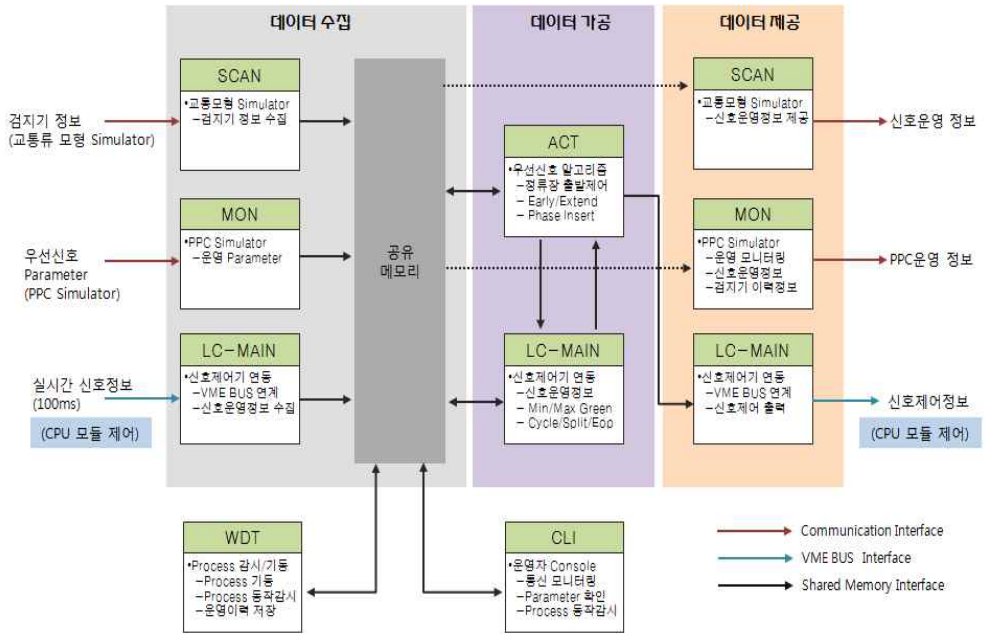
다. 정보연계모듈 Data Flow Diagram

○ 정보연계모듈 소프트웨어는 여러 개의 Process 들로 구성되어 있으며 내부 공유메모리를 기반으로 상호간 연계되며, 각 Process 간의 데이터 흐름은 다음 그림과 같이 구성

○ Process 들은 데이터 수집/데이터 가공/데이터 제공 단으로 구분할 수 있으며 하나의 Process 안에 기능별 수집/가공/제공 Function을 내장하고 있음

○ Process 간 인터페이스는 외부 또는 내부적으로 연계되는 방식에 따라서 크게 3개 부문으로 구성됨

- Communication Interface : 장치별 통신 프로토콜 규약에 따른 정보 수집 및 제공
- VME BUS Interface : 표준신호제어기 규격서내 VME BUS 연계규약에 따른 정보 수집 및 제공
- Shared Memory Interface : 내부 Process 간 정보공유를 위한 공유 메모리 Structure



<그림 2-82> 정보연계모듈 내부 Data Flow

2. 정보연계모듈 제작

○ 정보연계모듈은 VME Slave 기능을 수행해야 하며 표준 신호제어기 PPC 연계모듈의 하드웨어 인터페이스 규격을 만족할 수 있도록 제작

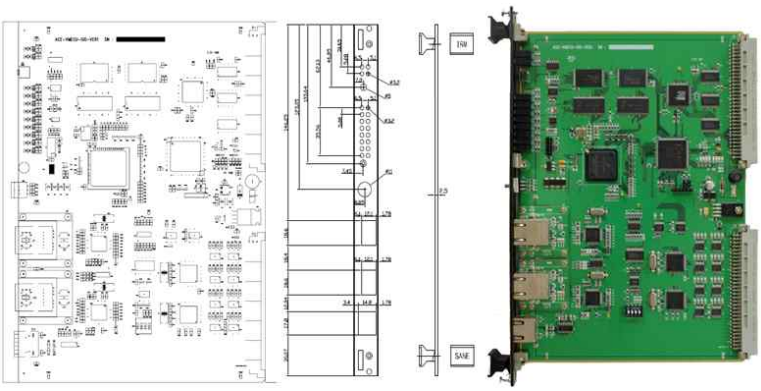
<표 2-26> 정보연계모듈 시작품 사양

구분	사양	비고
CPU	• MPC875, 66㎒ 이상 - Embedded PowerPC Core + CPM core - 16 Kbyte data and 16 Kbyte instruction cache	
Memory	• SDRAM 64MB이상, Flash 128MB 이상 - Dual Port Memory 8Kbyte - DRAM 64 Mbytes /8 Mb Flash Memory - Flash Memory 128Mbytes (NAND Flash)	O/S 및 프로그램 영역
RTC/WDT 내장	• Real Time Clock 내장, Battery Backup - RTC/NVRAM 2Kbytes(DS1742W) • Watch dog time out Reset 내장	
I/O Interface	• Serial 10 Port (RS232) - SCC1 ~ SCC 8 : 범용 ASYNC 통신포트(RS232)	

	- SMC1 : 운영자 Console (RS232) - SMC2 : Reserved (RS232) • LAN 2 Port (10/100) - FCC1 : 전면판/VMEbus P2, 10/100baseT - FCC2 : VMEbus P2 커넥터, 10/100baseT	
VME BUS	• VME BUS Slave Interface - Standard(A24)/Short(A16) address data transfer - D16bit/D8bit data transfer	신호제어기 CPUMaster 기능 수행
Front Panel	• RUN LED, VME LED, DIAG0 LED, DIAG1 LED, FAIL LED, SCON LED • 8 Channel Tx/Rx Status LED	
O/S	• Embedded Linux	
Size	• 19" 서브랙 Card 방식, 6U/233.3 X 160.0 X 17 mm	
동작온도	• -20 ℃ ~ 70 ℃	
소비정격	• +5VDC, typical 2.2A, 최대 2.0 A • +12VDC, 최대 50 mA, -12VDC, 최대 50 mA	

○ 정보연계모듈의 주요 기능은 다양한 통신 인터페이스 기능 내장, 표준신호 제어기 내 VME BUS 정보연계 인터페이스 준용, VME BUS Slave 기능 수행, 다양한 운영자 인터페이스 기능 (운영 Console), 내부 WDT에 의한 자기진단 Check 및 오류발생시 자동복구 기능 등이 있음

○ 정보연계모듈의 동작상태는 보드 전면의 Front-Panel 상의 상태표시용 LED를 통하여 확인 할 수 있으며 전면의 운영자 Console 포트를 사용하여 세부 동작 상태를 모니터링 할 수 있도록 설계



<그림 2-83> 정보연계모듈 시작품

3. 정보연계모듈 기능 시험

○ 정보연계 모듈의 기능시험은 시험내용에 따라서 1)통신 인터페이스 시험과 2)알고리즘 수행시험으로 구분됨

○ 통신 인터페이스 시험은 상호간 연계되는 시스템별로 정상적인 정보연계가 가능한 지를 확인하며, 알고리즘 수행시험은 우선신호제어 알고리즘이 정상적으로 수행되는지 여부를 확인함

<표 2-27> 정보연계모듈 기능시험 항목

기능구분	세부항목	주요내용	적격여부	비고
통신 인터페이스	통신 접속시험	Network 통신 접속성공 및 재접속 시험 - 초기 접속시험, 종료후 재접속 시험	OK	MON SCAN
	프로토콜 전송	연계 프로토콜에 따른 패킷 송수신 시험 - 시스템별 통신 프로토콜에 따른 전송시험	OK	MON SCAN
	검지기 정보 수집	트램 검지정보 수신 시험 - 시뮬레이터에서 전송되는 검지정보 수신	OK	SCAN
	파라메터 송수신	운영 파라메터 송수신 시험 - 시뮬레이터에서 전송되는 운영 파라메터 수신	OK	MON
알고리즘 수행	신호운영정보 추출	신호제어기 신호운영 정보 추출시험 - 신호제어기 신호운영 정보 추출시험	OK	LC-MAIN
	알고리즘 변수 계산	알고리즘 내부 변수 생성시험 - 검지정보에 따른 알고리즘 변수 계산시험	OK	ACT
	정류장 출발신호 생성	정류장 출발신호 제어 생성시험 - 정류장 출발신호 시점 정보 생성	OK	ACT
	우선신호 생성	우선신호제어 생성시험 - Early/Extend Green 제어신호 생성	OK	ACT
	우선신호 주기변경	우선신호제어에 따른 신호제어 결과 - 우선신호 제어에 따른 신호운영정보 생성	OK	ACT

4. 신호제어기 알고리즘 S/W 구현

가. 우선신호용 검지기 체계 정의

○ 트램우선신호제어는 정류장 구간의 정류장 정차시간 제어 (Tram-Stop Signal Control)과 교차로 구간의 우선신호 제어 (Tram Priority Control)로 구분하여 개발을 수행함

○ 개발된 트램우선신호제어 알고리즘에서는 기존 도로시스템의 루프검지기나 IR-DSRC 와 같은 무선검지기의 적용이 가능하도록 각 구간별 트램의 점유 정보를 습득할 수 있는 지점 검지지 체계를 도입, 적용하였음

○ 우선신호용 검지기 체계는 검지기 위치에 따라서 진입부, 정류장, 정지선 및 진출부 검지기로 구성되며 다음그림과 같이 특정위치에 존재함

○ 각 검지기 타입 별 기능과 정보의 형태는 다음과 같음

<표 2-28> 검지기 타입 별 기능 및 정보

구분	TYPE	세부 의미	위치
정지선 검지기	1	교차로 정지선에 설치된 검지기 1 : 정지선 검지(점유), 0 : 정지선 비점유	정지선
정류장 검지기	2	정류장에 설치된 검지기로 우선신호제어와 정류장 출발 신호제어의 기준이 됨. 1 : 정류장 도착(점유), 0 : 정류장 출발(비점유)	정류장
진입부 검지기	3	정류장이 없는 경우, 정지선에서 150m에 설치된 진입부 검지기 1 : 진입부 검지(점유), 0 : 진입부 비점유	150m
진출부 검지기	4	교차로 진출부에 설치된 검지기 1 : 진출부 검지(점유), 0 : 진입부 비점유	진출부

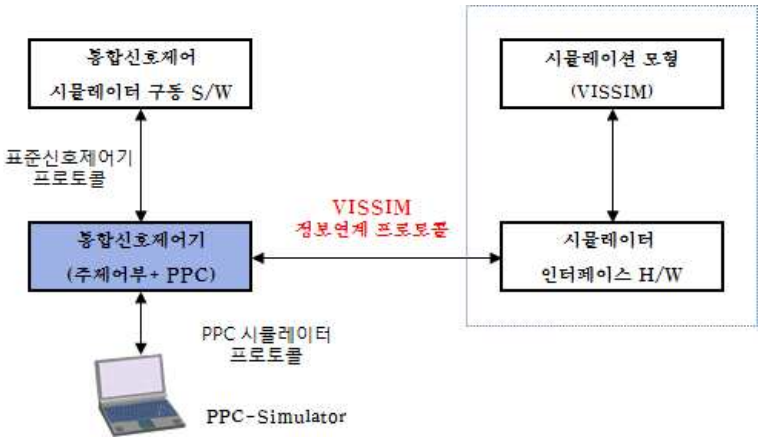
○ 정류장 정차제어 알고리즘은 정류장 검지기에 의하여 동작하며 교차로 우선신호제어 알고리즘은 진입부 검지기와 진출부 검지기에 의하여 수행됨

나. 교통류 모형(VISSIM)과의 연계 인터페이스 구축

○ 신호제어기내 구현된 우선신호 제어 알고리즘은 기존 신호시스템 환경하에서 교통류 모형에서 발생하는 트램 검지정보를 기반으로 교차로 지체를 최

소화하는 우선신호 제어가 효율적으로 수행되는지를 평가함

○ 이를 위해서는 다음과 같이 모의시험환경을 구축하였으며, 각 부문별 정보연계 인터페이스를 구축하여 시험을 수행하였음



<그림 2-84> 통합신호제어기 외부 연계 프로토콜

1) 표준신호제어기 프로토콜 : 신호제어 관제센터와 신호제어기간 연계

2) PPC 시뮬레이터 프로토콜 : PPC와 구성정보 연계 시뮬레이터간 연계

3) VISSIM 정보연계 프로토콜 : VISSIM 시뮬레이터 인터페이스와의 정보연계

○ 신호제어기와 신호관제시스템과의 정보연계 프로토콜은 국내 표준 신호시스템에 구축, 적용된 경찰청 표준 신호제어기 프로토콜을 적용하였음.

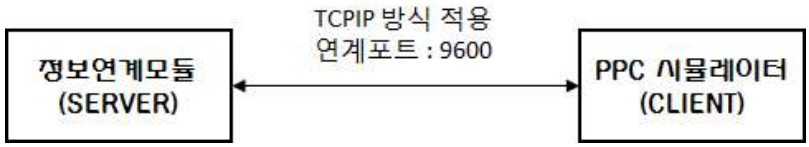
- NPA-TSC-2010-R14 (경찰청 교통신호제어기 2010 규격)
- 연계방식 : Network 통신 (TCPIP 통신)
- 연계구조 : 신호제어기 Client 구조 (Port 7070)

프로토콜 종류	CODE 범위	용도	기타
1.운전 프로토콜 (Control Protocol)	0x00-0x59	교차로 상황정보 및 제어 설정 정보 제어 및 관제용 프로토콜	센터연계/실시간 운영
2.확장 프로토콜 (Extended Protocol)	0x60-0x99	본 규격 호환 민간 센터S/W의 확장 User 프로토콜	본 영역은 경찰청에 사용 허가를 득하여야 함
3.데이터베이스프로토콜 (DATABASE Protocol)	0xA0-0xFD	데이터베이스 업다운로드 프로토콜	

<그림 2-85> 경찰청 표준 프로토콜 주요내용

○ PPC 시뮬레이터 프로토콜은 수행되는 우선신호 알고리즘 수행에 필요한 통신환경, 교차로 기하정보, 트랩 검지기 구성정보 등 세부 운영정보를 PPC로 전송하기 위한 전용 시뮬레이터 프로토콜임

- 연계방식 : Network 통신 (TCPIP 통신)
- 연계구조 : 정보연계모듈 Server 구조 (Port 9600)



<표 2-29> 정보연계모듈-PPC 시뮬레이터 간 연계 내용

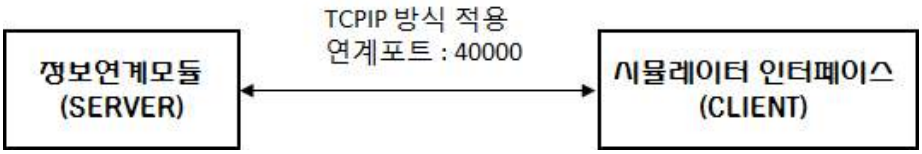
OPCODE	구 분	내 용	비고
0x01	Status Dump	현장장치 운영상태 모니터링	적용
0x11	Time Sync Down	시뮬레이터 S/W와 현장장치간 시간 Down	적용
0x12	Time Sync Up	시뮬레이터 S/W와 현장장치간 시간 Up	적용
0x25	PPC CPU Config Down	정보연계모듈 CPU 구성정보 Down	적용
0x26	PPC CPU Config Up	정보연계모듈 CPU 구성정보 Up	적용
0x27	교차로 접근로 DB Down	교차로 접근로 구성정보 Down	적용
0x28	교차로 접근로 DB Up	교차로 접근로 구성정보 Up	적용
0x29	교차로 검지기 DB Down	교차로 검지기 구성정보 Down	적용
0x2a	교차로 검지기 DB Up	교차로 검지기 구성정보 Up	적용
0x2b	교차로 우선신호 DB Down	우선신호제어 구성정보 Down	적용
0x2c	교차로 우선신호 DB Up	우선신호제어 구성정보 Up	적용

○ VISSIM 정보연계 프로토콜은 VISSIM모형의 COM Interface(또는 통신중계기)와 신호제어기 간의 실시간 정보연계를 위한 통신 규약임

○ VISSIM 정보연계 프로토콜의 통신환경은 TCP/IP 기반 Network 통신을 수

행하며, Server는 신호제어기(정보연계모듈)이고, Client는 VISSIM 모형 내 COM Interface로 기능을 정의함

- 연계방식 : Network 통신 (TCPIP 통신)
- 연계구조 : 정보연계모듈: Server, 통신중계기: Client (Port 40000)



<표 2-30> 정보연계모듈-시뮬레이터 인터페이스 간 주요 연계내용

구분	OPCODE	세부 의미	방향
G-Poll	0x01	일반적인 상태 Check - 1초 단위 주기적 전송	모형 => 제어기
신호운영정보	0x10	신호제어기 운영정보 (응답) - 신호제어기 운영정보 포함	모형 <= 제어기
검지기 정보 (이벤트)	0x20	VISSIM 모형상의 검지기 검지 정보 (트램 정보) - 검지기 ID & 상태, 트램 ID, 링크 ID 포함 - 검지기 상태변화 이벤트 시 전송	모형 => 제어기
검지기 ACK	0x21	검지기 정보 수신 ACK - 검지기 정보 수신시 ACK 전송	모형 <= 제어기

다. 정보연계모듈 내 우선신호 알고리즘 구현

○ 정보연계모듈에 탑재되는 소프트웨어는 Embedded Linux O/S 기반위에 멀티 프로세스 형식으로 구성되며 각각의 독립적인 프로세스들은 내부 Shared Memory(공유메모리)를 통하여 상호간에 연계되며 WDT Process에 의하여 실행 및 동작감시를 수행함

○ 정보연계모듈내 운영 Process 중 우선신호제어와 관련된 Process는 다음과 같음

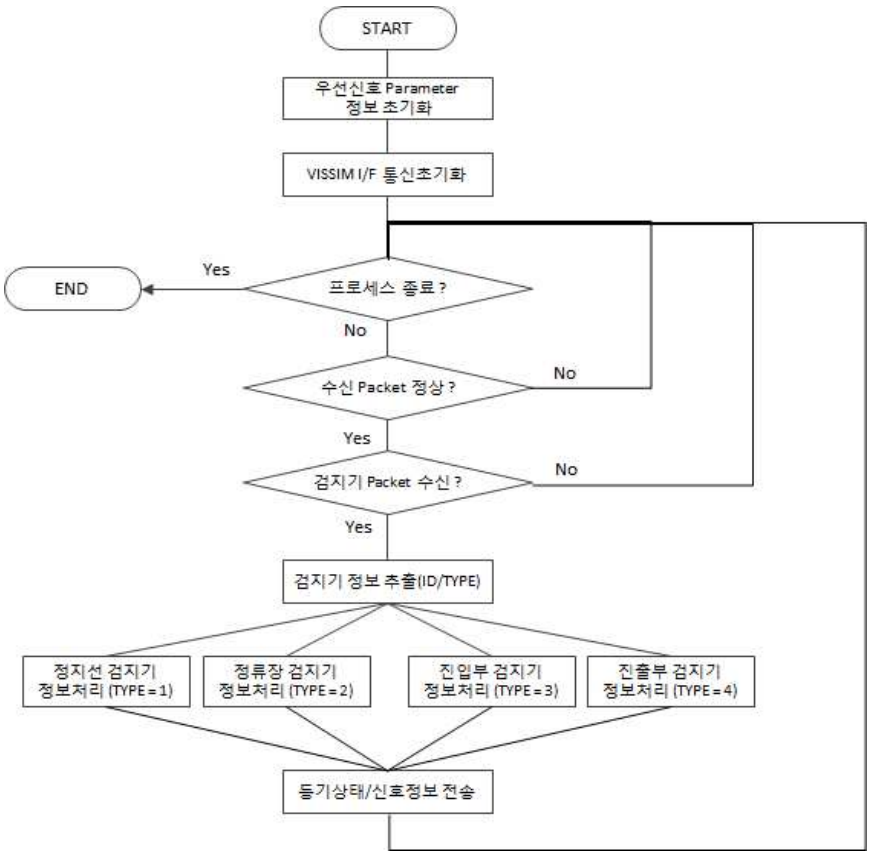
<표 2-31> 우선신호제어 Process 별 주요 기능

Process	주요 기능	비고
ACT	• 정류장 출발신호 및 교차로 우선신호 제어알고리즘 Process - 실시간 트램 검지정보에 따른 정류장 출발제어 기능 - 교차로 도착 예정시간을 산출, Early/Extend Green 제어	우선신호 수행
LC-MAIN	• 표준신호제어기내 VME BUS 프로토콜 연계 Process - 실시간(100ms) 단위로 신호제어기 CPU와 연계 - 실시간 신호운영정보 추출, 우선신호 제어에 따른 현시제어	신호제어기 연계
SCAN	• 트램검지정보 수집을 위한 교통류 모형 연계 Process - 정류장, 교차로 진입에 따른 검지기 정보(이벤트) 수집 - 교통류모형(VISSIM)으로 실시간 신호운영 정보 연계	교통모형 Simulator 연계

○ SCAN Process는 시뮬레이터 인터페이스 장치를 통하여 교통류 모형과의 정보연계를 수행하며, 교통류 모형으로부터 수신되는 트램 검지기 정보를 처리하고 우선신호제어에 따른 정류장 출발신호 및 실시간 신호운영 정보를 연계함

○ SCAN Process내 정보처리 Flow는 다음과 같음

- Process 기동후 기 저장된 우선신호 Parameter 초기화 수행
- 시뮬레이터 인터페이스 정보연계 방식(Client 구조, Port 40000)에 따른 Network 초기화 수행
- 시뮬레이터 인터페이스(Server) 와의 지속적인 접속 수행
- Serve와의 접속(Connect)후 Process 종료 검사 및 메시지 수신
- 수신 Packet 무결성 검사 및 Packet 내 Opcode 처리
- 검지기 정보 이벤트 Packet에서 검지기 타입 및 ID 정보 추출
- 검지기 타입에 따른 정보처리 수행
- 정류장 출발신호 및 실시간 신호운영 정보 추출 및 송신 Packet 구성
- 송신 메시지 송출 및 메시지 수신부로 복귀



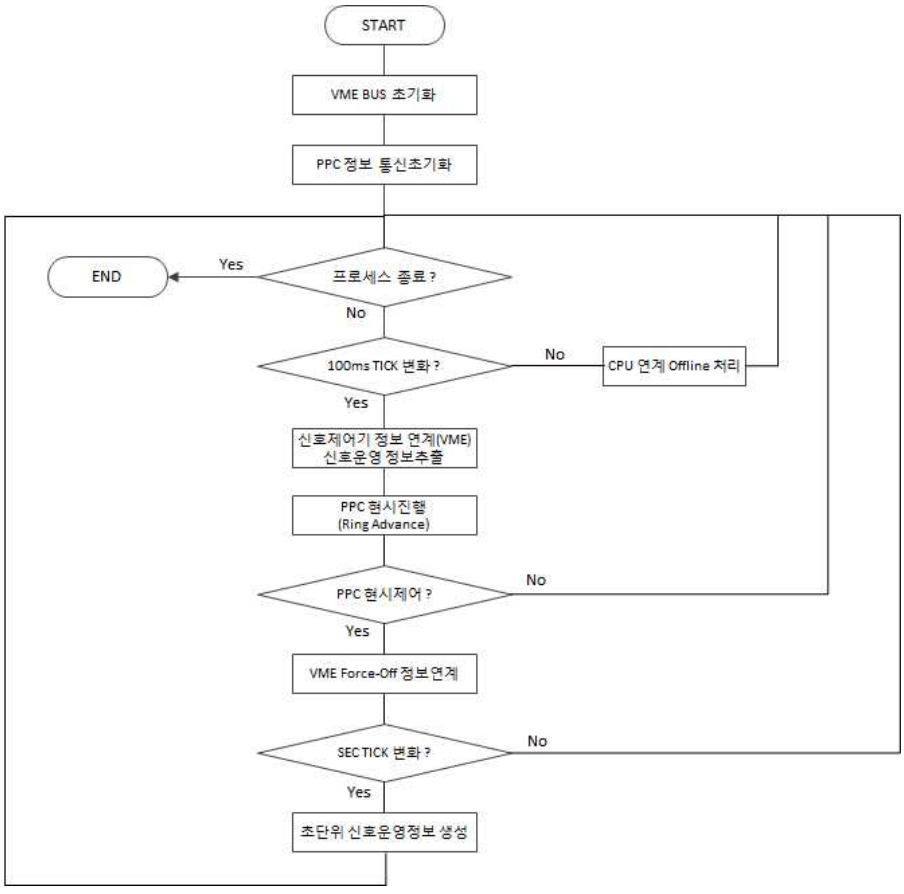
<그림 2-86> SCAN Process 기능 Flow

○ LCMAIN Process는 신호제어기와 독립된 우선신호 제어 구현을 위하여 표준 규격서에서 정의된 정보연계 인터페이스에 따라서 실시간 신호운영 정보를 추출하여 우선신호제어에 활용하고, 우선신호 제어에 따른 현시 진행 정보를 신호제어기로 연계하는 기능을 수행함

○ LCMAIN Process내 정보처리 Flow는 다음과 같음

- Process 기동후 신호제어기 CPU 모듈과 VME BUS 연계를 위한 Memory Pointer 초기화 수행
- 경찰청 규격서 인터페이스에 따라 PPC 모듈 장착정보(TYPE = 7)와 실시간 신호정보 전송요구(100ms 단위 전송) 등 우선신호제어에 필요한 VME BUS Parameter 초기화
- 신호제어기로부터 100ms 단위로 신호운영 정보 변경여부를 Check 함.

- 1초이상 100ms Tick 변화가 없는 경우 신호제어기 정보연계 이상으로 처리함. (이 경우 우선신호제어 기능이 정지됨)
- 100ms 단위 Tick 변화가 있는 경우 규격서 기반으로 VME BUS의 정보제공영역으로부터 신호제어기 운영정보를 추출함
- 신호제어기 현시정보, 진행정보, 제어기 상태정보를 기반으로 신호제어기 신호정보와 동기화된 PPC 모듈내 현시진행을 수행함
- 우선신호 Process(ACT) 에 의하여 신호제어기 현시제어가 필요한 경우 우선신호제어에 따른 현시 변경정보(Phase별 ForceOff, Hold, Jump 등)를 생성, 신호제어기로 연계함
- 초단위 변화를 Check 하고 초단위 신호운영정보를 추출함



<그림 2-87> LCMAIN Process 기능 Flow

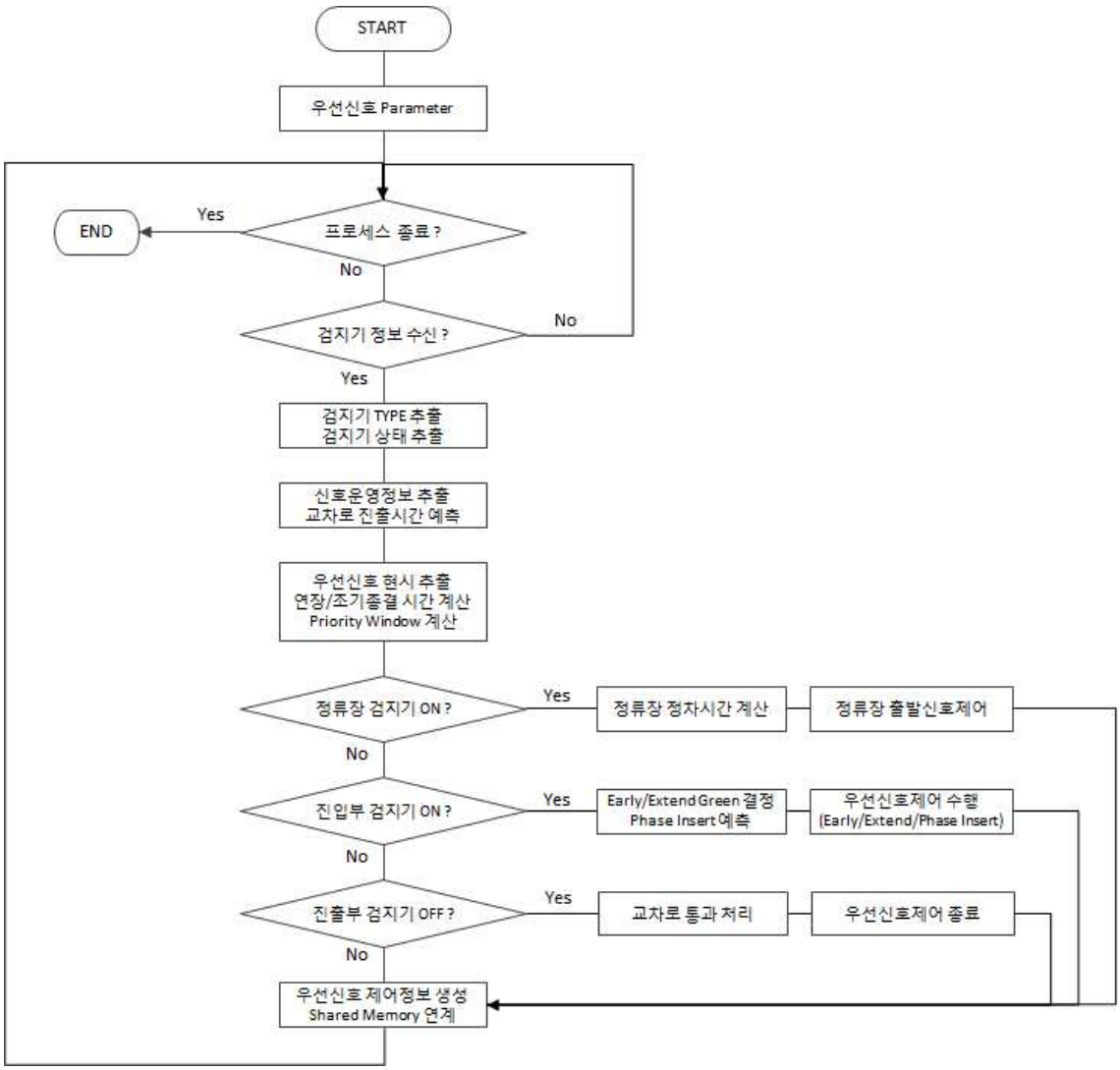
○ ACT Process는 신호제어기로부터 매 100ms 단위로 연계되는 실시간 신호운영정보와 교통류 모형으로부터 전송되는 지점별 검지기 정보를 기반으로 정류장 출발제어 및 교차로 우선신호 제어를 수행함.

○ 또한 필요시 외부시스템으로 연계되는 신호운영 제공정보를 생성함.

- 신호제어기 상태정보, 통과 잔여시간 등

○ ACT Process내 정보처리 Flow는 다음과 같음

- Process 기동후 우선신호제어에 필요한 교차로 기하정보, 지점별 검지기 구성정보, 우선신호 Parameter 정보 등을 초기화 함.
- SCAN Process와 연계하여 교통류모형으로부터 트램 검지기 정보를 수신하고 검지기 타입과 상태정보를 추출함. 수신된 검지기 타입정보 로부터 내부의 검지기 구성정보를 참조하여 트램 위치정보를 산정함.
- LCMAIN Process와 연계하여 추출된 신호제어기 실시간 신호운영정보(현시, 진행시간 등)와 검지기 정보로부터 추출된 트램 위치를 기반으로 교차로 통과시까지의 예측시간을 산정함.
- 검지기 검지정보(ID)를 참조하여 교차로 접근로 정보를 추출하고, 해당 접근로의 우선신호 통과현시정보를 추출함.
- 현재 현시로부터 우선신호 현시 표출시까지 최대 연장가능시간과 최대 조기종결시간등 우선신호제어에 필요한 제반정보들을 추출하고 우선신호 적용을 위한 Priority Window 정보를 추출함.
- 검지기 타입에 따라, 정류장 검지기 ON 상태인 경우 정류장 하차시간(고정), 교차로 통과예측시간을 기반으로 교차로 정체를 최소화 하는 추가 정류장 정차시간을 산정, 제어함.
- 검지기 타입에 따라, 진입부 검지기 ON 상태인 경우 교차로 통과 예측시간과 Priority Window 정보를 기반으로 Early-Green, Extend-Green, Phase-Insert 등 Active 방식 우선신호제어 모드를 결정, 수행함.
- 검지기 타입에 따라, 진출부 검지기 OFF 상태인 해당 트램이 교차로를 통과한 것으로 처리하고 해당 접근로의 우선신호제어 상태를 종료함.
- 검지기 검지상태에 따라 우선신호제어를 수행하고 수행결과는 LCMAIN, SCAN Process와 연계하기 위하여 Shared Memory 정보를 Update 함



<그림 2-88> ACT Process 기능 Flow

라. 신호제어기 적용 시험

○ 정보연계모듈에 구현된 PPC 운영 소프트웨어는 Linux O/S 기반위에 멀티 프로세스로 동작하며 Process 간 정보연계는 Shared Memory 방식으로 연계하였음. 정보연계모듈 S/W의 동작확인은 운영콘솔을 통하여 확인함

1) 정보연계모듈 S/W 구현

○ 전원투입시 또는 Reset 시 정보연계모듈는 Flash Momoey에 내장된 프로그램에 의하여 자동적으로 부팅하며 특정 디렉트(/mnt)내 WDT Process를 구동함으로 기동됨

```
sio#
sio# reboot
sio# hwclock: cannot access RTC: No such file or directory
mtdblock_open
ok
mtdblock_release
ok
umount: /dev/mtdblock1 busy - remounted read-only
mtdblock_open
ok
mtdblock_release
ok
The system is going down NOW !!
Sending SIGTERM to all processes.
Oct 31 14:08:09 JT-LC syslog.info System log daemon exiting.
Exiting syslogd!
Sending SIGKILL to all processes.
Requesting system reboot.
Restarting syst

:: O/S 부팅 메시지 생략
:: Device Driver  메시지 생략

welcome to JT-LC

JT-LC login: root (automatic login)
sio#

//////////////////////////////////////////////////
//          >>NETLC2-PPC-V1 :     Comm Controller        //
//          Version    Ver15.09.09                    //
//          [*] MASTER ...SANE System                 //
//          [*] Update Date ...2015.09.09          //
//////////////////////////////////////////////////

============================
wdt> *** PPCDB Read OK...!
============================
 >>NETLC2-PPC-V1 :  WDT-MAIN PROCESS Activated ... !
[*] LOCAL IP Address : 192.168.0.201
[*] LOCAL GW Address : 192.168.0.1
[*] LOCAL SUB-NET    : 255.255.255.0
PPC-Net#1 : ifconfig eth0 192.168.0.201 netmask 255.255.255.0 up
PPC-Net#2 : ifconfig eth1 192.168.100.100 netmask 255.255.255.0 up
 >>NETLC2-PPC-V1 :  HOST-MAIN PROCESS Activated ... !
 >>NETLC2-PPC-V1 :  ACT-MAIN PROCESS Activated ... !

------------------------------------------------------------
LOCAL ID   : 0
LOCAL INFO : lati=0.0000000, long=0.0000000
------------------------------------------------------------
```

```
sio> ==> VMEBUS Mapping OK...!
 >>NETLC2-PPC-V1 :  LC-MAIN PROCESS Activated ... !
 >>NETLC2-PPC-V1 :  SIMULATOR PROCESS Activated ... !
 >>NETLC2-PPC-V1 :  TSC-MAIN PROCESS Activated ... !
 >>NETLC2-PPC-V1 :  DETECTOR-MAIN PROCESS Activated ... !

sio#
```

○ 정보연계모듈 S/W내 Process 동작상태는 Linux O/S 쉘프로프트와 운영 콘솔(CLI)에서 확인할 수 있음

```
sio#
sio# ps
  PID  Uid      VmSize Stat Command
    1 root         632 S    init
    2 root             RWN [ksoftirqd/0]
    3 root             SW  [watchdog/0]
    4 root             SW< [events/0]
    5 root             SW< [khelper]
    6 root             SW< [kthread]
   35 root             SW< [kblockd/0]
   37 root             SW< [kseriod]
   49 root             SW  [pdflush]
   50 root             SW  [pdflush]
   51 root             SW< [kswapd0]
   52 root             SW< [aio/0]
  700 root             SW  [mtdblockd]
  721 root             SWN [jffs2_gcd_mtd1]
  724 root             SWN [jffs2_gcd_mtd2]
  741 root         496 S    syslogd -m 0
  745 root         452 S    klogd
  813 root         600 S    inetd
  843 root         500 S <  /mnt/WDT
  845 root        1316 S    -sh
  849 root         512 S <  /mnt/ACT
  851 root         460 S <  /mnt/HOST
  853 root         556 S <  /mnt/LCM
  855 root         460 S <  /mnt/SIM
  857 root         504 S <  /mnt/RSE
  859 root         468 S <  /mnt/DET
  861 root         764 R    ps
sio#

[14:15:01]
[14:15:04] process
(1)cmd: process

============================================================
 Process DEF ACT DBG CHK WDT-Count   RST PID      Last MaxET  PrevET
------------------------------------------------------------
 ACT      1   1   0   0      0/1      0   849      0    0      0
 HOST     1   1   0   0      0/0      0   851      0    0      0
 LCM      1   1   0   0      0/1      0   853      0    0      0
 SIM      1   1   0   0      0/0      0   855      0    0      0
```

```
 RSE      1   1   0   0       0/0       0   857       0    0       0
 DET      1   1   0   0       0/0       0   859       0    0       0
 ========================================================
[14:15:08]
```

○ 정보연계모듈 S/W에서는 우선신호제어에 적용되는 교차로 기하정보, 검지기 구성정보, 우선신호 Parameter 정보등 세부 운영 정보들을 운영콘솔을 사용하여 확인할 수 있음

```
[14:15:14]
[14:15:14] ppccfg
(1)cmd: ppccfg
============================================================
     * PPC Controller Config Information...
============================================================
[*] LC ID              = 0
[*] PPC Device Type   = 노변기지국 (1)
[*] PPC LC Use Mode   = 정보제공(INFO) (0)
[*] PPC Send Period   = 2
[*] Local Name         = 교차로#1-LC
------------------------------------------------------------
[*] PPC NET#1 Use Flag    = ON (1)
[*] PPC NET#1 IP/GW/SUB   = 192.168.0.201 / 192.168.0.1 / 255.255.255.0
[*] PPC NET#2 Use Flag    = ON (1)
[*] PPC NET#2 IP/GW/SUB   = 192.168.100.100 / 192.168.100.1 / 255.255.255.0
============================================================

[14:15:21]
::
[14:15:27] detcfg
(1)cmd: detcfg
============================================================
     * Detector Config Information...
============================================================
------------------------------------------------------------
DET.      Type       Mode  DetID    Appr-ID  Distance  STR-P  LEFT-P
------------------------------------------------------------
[01]      Loop     [DET-STAT - 001]    01        448        22     00
[02]      Loop     [DET-STOP - 003]    01        010        22     00
[03]      Loop     [DET-OUT  - 004]    01        010        22     00
[04]      Loop     [DET-STAT - 005]    02        060        11     00
[05]      Loop     [DET-STOP - 007]    02        010        11     00
[06]      Loop     [DET-OUT  - 008]    02        010        11     00
[07]      *NULL    [DET-OUT  - 000]    00        000        00     00
[08]      *NULL    [DET-OUT  - 000]    00        000        00     00
[09]      *NULL    [DET-OUT  - 000]    00        000        00     00
[10]      *NULL    [DET-OUT  - 000]    00        000        00     00
[11]      *NULL    [DET-OUT  - 000]    00        000        00     00
[12]      *NULL    [DET-OUT  - 000]    00        000        00     00
[13]      *NULL    [DET-OUT  - 000]    00        000        00     00
[14]      *NULL    [DET-OUT  - 000]    00        000        00     00
[15]      *NULL    [DET-OUT  - 000]    00        000        00     00
```

```
[16]     *NULL    [DET-OUT  - 000]     00        000        00     00
============================================================

[14:15:29]
::
[14:15:29]
[14:15:30] parameter
(1)cmd: parameter
============================================================
     * Active-Priority Control - Parameter Information...
============================================================
[*] LC Priority-Control Mode = 주기가변(FREE) (2)
[*] RING-A PPC-Approach No    =  2 Appr, Phase = 1
[*] RING-B PPC-Approach No    =  1 Appr, Phase = 2
[*] EARLY-GREEN Mode           = ON (1)
[*] EXTEND-GREEN Mode          = ON (1)
[*] PHASE-INSERT Mode          = ON (1)
[*] EXTEND-GREEN Unit Time    =   3 sec
[*] Intersect Distance Calc   = GPS (0)
------------------------------------------------------------
[*] PPC Distance (TRAM Len)  =  18 m
[*] LINK Avg. Speed           =  45 km/h
[*] INTERSECT  Avg. Speed     =  45 km/h
[*] STATION Service Time      =  15 sec
============================================================

[14:15:35]
::
[14:15:48]
[14:15:48] apprcfg
(1)cmd: apprcfg
============================================================
     * Approach Config Information...
============================================================
------------------------------------------------------------
LOCAL INFO : LCID = 0
           : Lati = 0.00000000,  Long = 0.00000000
           : StopLine Distance = 0
------------------------------------------------------------
APP.  CFG  STR-P[LSU] LFT-P[LSU]    LINK-ID  Station Distance
------------------------------------------------------------
[1]    1   [22 - 02]  [00 - 00]          38     1        448
[2]    1   [11 - 05]  [00 - 00]          41     1        60
[3]    0   [00 - 00]  [00 - 00]           0     1         0
[4]    0   [00 - 00]  [00 - 00]           0     1         0
============================================================

[14:15:50]
```

○ 정보연계모듈 S/W에서는 우선신호제어 알고리즘에서 참조되는 실시간 신호운영 정보를 확인할수 있음. 실시간 신호운영 정보는 VME BUS를 통하여 매 100ms 단위로 갱신됨

```
14:16:18] lcsts
(1)cmd: lcsts

--> Display MCU Internal
------------------------------------------------
* LC Control Sts: 08
* LC Device  Sts: 02
* LC Cycle [sec]: 120 [b=0]
* Phase Count   :  4/04
* Phase#/VehTime: R1 =  0/21, R2 =  0/21
* Start Code[0] : 31
* Start Code[2] : 05
* RING Mode(S/D): 01
* Main Phase    : 02
* Dual ActTime  : 03
------------------------------------------------
* Split     [R1] : 25 35 20 40 -  0  0  0  0
* Split     [R2] : 35 25 20 40 -  0  0  0  0
* MIN-Green[R1] : 13  8  8 23 -  0  0  0  0
* MIN-Green[R2] : 13 23  8 23 -  0  0  0  0
* EOP-Time [R1] :  3  3  3  3 -  3  3  3  3
* EOP-Time [R2] :  3  3  3  3 -  3  3  3  3
------------------------------------------------

[14:16:21]
::
[14:17:25] lc
(1)cmd: lc

[*] Local Debug ON ...!
[14:17:26] SS[01 01] PS[086] RA:[3/12] veh=006, split=040 [F/V/E=06/00/00], RB:[3/12] veh=006, split=040 [F/V/E=06/00/00]
[14:17:27] SS[01 01] PS[087] RA:[3/12] veh=007, split=040 [F/V/E=07/00/00], RB:[3/12] veh=007, split=040 [F/V/E=07/00/00]
[14:17:28] SS[01 01] PS[088] RA:[3/12] veh=008, split=040 [F/V/E=08/00/00], RB:[3/12] veh=008, split=040 [F/V/E=08/00/00]
[14:17:29] SS[01 01] PS[089] RA:[3/12] veh=009, split=040 [F/V/E=09/00/00], RB:[3/12] veh=009, split=040 [F/V/E=09/00/00]
[14:17:30] SS[01 01] PS[090] RA:[3/13] veh=010, split=040 [F/V/E=10/00/00], RB:[3/13] veh=010, split=040 [F/V/E=10/00/00]
[14:17:31] SS[01 01] PS[091] RA:[3/13] veh=011, split=040 [F/V/E=11/00/00], RB:[3/13] veh=011, split=040 [F/V/E=11/00/00]
[14:17:32] SS[01 01] PS[092] RA:[3/13] veh=012, split=040 [F/V/E=12/00/00], RB:[3/13] veh=012, split=040 [F/V/E=12/00/00]
[14:17:33] SS[01 01] PS[093] RA:[3/13] veh=013, split=040 [F/V/E=13/00/00], RB:[3/13] veh=013, split=040 [F/V/E=13/00/00]
[14:17:34] SS[01 01] PS[094] RA:[3/13] veh=014, split=040 [F/V/E=14/00/00], RB:[3/13] veh=014, split=040 [F/V/E=14/00/00]
[14:17:35] SS[01 01] PS[095] RA:[3/13] veh=015, split=040 [F/V/E=15/00/00], RB:[3/13] veh=015, split=040 [F/V/E=15/00/00]
[14:17:36] SS[01 01] PS[096] RA:[3/13] veh=016, split=040 [F/V/E=16/00/00], RB:[3/13] veh=016, split=040 [F/V/E=16/00/00]
[14:17:37] SS[01 01] PS[097] RA:[3/13] veh=017, split=040 [F/V/E=17/00/00], RB:[3/13] veh=017, split=040 [F/V/E=17/00/00]
[14:17:38] SS[01 01] PS[098] RA:[3/13] veh=018, split=040 [F/V/E=18/00/00], RB:[3/13] veh=018, split=040 [F/V/E=18/00/00]
[14:17:39] SS[01 01] PS[099] RA:[3/13] veh=019, split=040 [F/V/E=19/00/00], RB:[3/13] veh=019, split=040 [F/V/E=19/00/00]
[14:17:40] SS[01 01] PS[100] RA:[3/14] veh=020, split=040 [F/V/E=00/00/00], RB:[3/14] veh=020, split=040 [F/V/E=00/00/00]
[14:17:41] SS[01 01] PS[101] RA:[3/14] veh=021, split=040 [F/V/E=00/01/00], RB:[3/14] veh=021, split=040 [F/V/E=00/01/00]
[14:17:42] SS[01 01] PS[102] RA:[3/14] veh=022, split=040 [F/V/E=00/02/00], RB:[3/14] veh=022, split=040 [F/V/E=00/02/00]
[14:17:43] SS[01 01] PS[103] RA:[3/14] veh=023, split=040 [F/V/E=00/03/00], RB:[3/14] veh=023, split=040 [F/V/E=00/03/00]
[14:17:44] SS[01 01] PS[104] RA:[3/14] veh=024, split=040 [F/V/E=00/04/00], RB:[3/14] veh=024, split=040 [F/V/E=00/04/00]
[14:17:45] SS[01 01] PS[105] RA:[3/14] veh=025, split=040 [F/V/E=00/05/00], RB:[3/14] veh=025, split=040 [F/V/E=00/05/00]
[14:17:46] SS[01 01] PS[106] RA:[3/14] veh=026, split=040 [F/V/E=00/06/00], RB:[3/14] veh=026, split=040 [F/V/E=00/06/00]
[14:17:47] SS[01 01] PS[107] RA:[3/14] veh=027, split=040 [F/V/E=00/07/00], RB:[3/14] veh=027, split=040 [F/V/E=00/07/00]
[14:17:48] SS[01 01] PS[108] RA:[3/14] veh=028, split=040 [F/V/E=00/08/00], RB:[3/14] veh=028, split=040 [F/V/E=00/08/00]
[14:17:49] SS[01 01] PS[109] RA:[3/14] veh=029, split=040 [F/V/E=00/09/00], RB:[3/14] veh=029, split=040 [F/V/E=00/09/00]
[14:17:50] SS[01 01] PS[110] RA:[3/14] veh=030, split=040 [F/V/E=00/10/00], RB:[3/14] veh=030, split=040 [F/V/E=00/10/00]
[14:17:51] SS[01 01] PS[111] RA:[3/14] veh=031, split=040 [F/V/E=00/11/00], RB:[3/14] veh=031, split=040 [F/V/E=00/11/00]
[14:17:52] SS[01 01] PS[112] RA:[3/14] veh=032, split=040 [F/V/E=00/12/00], RB:[3/14] veh=032, split=040 [F/V/E=00/12/00]
[14:17:53] SS[01 01] PS[113] RA:[3/14] veh=033, split=040 [F/V/E=00/13/00], RB:[3/14] veh=033, split=040 [F/V/E=00/13/00]
[14:17:54] SS[01 01] PS[114] RA:[3/14] veh=034, split=040 [F/V/E=00/14/00], RB:[3/14] veh=034, split=040 [F/V/E=00/14/00]
[14:17:55] SS[01 01] PS[115] RA:[3/14] veh=035, split=040 [F/V/E=00/15/00], RB:[3/14] veh=035, split=040 [F/V/E=00/15/00]
[14:17:56] SS[01 01] PS[116] RA:[3/14] veh=036, split=040 [F/V/E=00/16/00], RB:[3/14] veh=036, split=040 [F/V/E=00/16/00]
[14:17:57] SS[01 01] PS[117] RA:[3/15] veh=037, split=040 [F/V/E=00/17/00], RB:[3/15] veh=037, split=040 [F/V/E=00/17/00]
[14:17:58] SS[01 01] PS[118] RA:[3/15] veh=038, split=040 [F/V/E=00/00/00], RB:[3/15] veh=038, split=040 [F/V/E=00/00/00]
[14:17:59] SS[01 01] PS[119] RA:[3/15] veh=039, split=040 [F/V/E=00/00/02], RB:[3/15] veh=039, split=040 [F/V/E=00/00/02]
lc> CPU Cycle Updated.... !
[*] No-PPC ...Normal-Cycle Update
```

```
[CYCLE-Update, Cycle = 120]-----------------------------------------------
* Split [R1]:  25  35  20  40 -   0   0   0   0
* Split [R2]:  35  25  20  40 -   0   0   0   0
[*] Cycle Update (002).... Cycle= [120/120] ...Phase Count = 4, MainPhase=1
[*] Ring Mode = 1, Gap-ACT : 1 0 1 0 - 0 0 0 0
------------------------------------------------------------
[14:18:00] SS[01 01] PS[000] RA:[0/00] veh=000, split=025 [F/V/E=00/00/00], RB:[0/00] veh=000, split=035 [F/V/E=00/00/00]
[14:18:01] SS[01 01] PS[001] RA:[0/00] veh=001, split=025 [F/V/E=01/00/00], RB:[0/00] veh=001, split=035 [F/V/E=01/00/00]
[14:18:02] SS[01 01] PS[002] RA:[0/00] veh=002, split=025 [F/V/E=02/00/00], RB:[0/00] veh=002, split=035 [F/V/E=02/00/00]
[14:18:03] SS[01 01] PS[003] RA:[0/00] veh=003, split=025 [F/V/E=03/00/00], RB:[0/00] veh=003, split=035 [F/V/E=03/00/00]
[14:18:04] SS[01 01] PS[004] RA:[0/00] veh=004, split=025 [F/V/E=04/00/00], RB:[0/00] veh=004, split=035 [F/V/E=04/00/00]
```

2) 우선신호 알고리즘 수행 확인

- ○ 정보연계모듈에 탑재된 우선신호제어 알고리즘은 실시간 신호운영정보, 교통류 모형으로부터 수신되는 검지기 정보에 의하여 수행되며 각 수행단계별 정보처리는 운영콘솔을 통하여 확인할 수 있음.
- ○ 정보연계모듈과 시뮬레이터 인터페이스간 정보연계는 Network 통신으로 수행되며 정의된 인터페이스에 따라 수행됨.

```
[15:56:54]
[15:56:55] det
(1)cmd: det

[*] Detector Comm Debug ON ...!
[15:57:00]
[15:57:00] [15:57:05] Appr01> case 1 STOP-Signal ... ON (passTime=  65)
det> [NET] accept O.K...HOST = 192.168.0.3 , PORT = 50726, Socket = 7     ....< 접속상태>
RXD:  7E 7E 0A 01 00 00 00 00 00 0B
det> rcv G-Poll (seq= 0)
TXD:  7E 7E 27 10 28 00 01 33 69 78 44 33 0D 1B 0B 29 00 00 00 00
      0D 1F 10 24 00 00 00 00 11 11 11 18 11 11 11 18 02 01 5A
RXD:  7E 7E 0A 01 00 01 00 00 00 0A
det> rcv G-Poll (seq= 1)
TXD:  7E 7E 27 10 28 01 01 33 69 78 45 33 0D 1B 0B 29 00 00 00 00
      0D 1F 10 24 00 00 00 00 11 11 11 18 11 11 11 18 02 01 5A
RXD:  7E 7E 0A 01 00 02 00 00 00 09
det> rcv G-Poll (seq= 2)
TXD:  7E 7E 27 10 28 02 01 33 69 78 46 33 0D 1B 0B 29 00 00 00 00
      0D 1F 10 24 00 00 00 00 11 11 11 18 11 11 11 18 02 01 5A
RXD:  7E 7E 0A 01 00 03 00 00 00 08
det> rcv G-Poll (seq= 3)
TXD:  7E 7E 27 10 28 03 01 33 69 78 47 33 0D 1B 0B 29 00 00 00 00
      0D 1F 10 24 00 00 00 00 11 11 11 18 11 11 11 18 02 01 5A
RXD:  7E 7E 0A 20 00 04 01 01 01 2F
det> [15:57:11] rcv DET Info (seqno=004) : id =  1, sts =  1, linkID=1
det> VISSIM Detector Info : ID =  1, sts=1
det> rcv detID=  1, STS=1....[DET-STAT], Appr-ID=1, Distance=448
TXD:  7E 7E 09 21 28 04 01 01 04
RXD:  7E 7E 0A 01 00 05 00 00 00 0E
det> rcv G-Poll (seq= 5)
```

```
TXD:  7E 7E 27 10 28 05 01 33 69 78 48 33 0D 1B 0B 24 00 00 00 00
      0D 1F 10 24 00 00 00 00 11 11 11 18 11 11 11 18 91 01 CD
RXD:  7E 7E 0A 01 00 06 00 00 00 0D
det> rcv G-Poll (seq= 6)
TXD:  7E 7E 27 10 28 06 01 33 69 78 49 33 0D 1B 0B 24 00 00 00 00
      0D 1F 10 24 00 00 00 00 11 11 11 18 11 11 11 18 91 01 CF
```

○ 교통류 모형으로부터 전송되는 검지기 정보는 검지기 타입과 검지상태로 구성되며, 정보연계모듈은 해당 정보를 수신, 해석하여 검지기 타입별 정보 처리를 수행함.

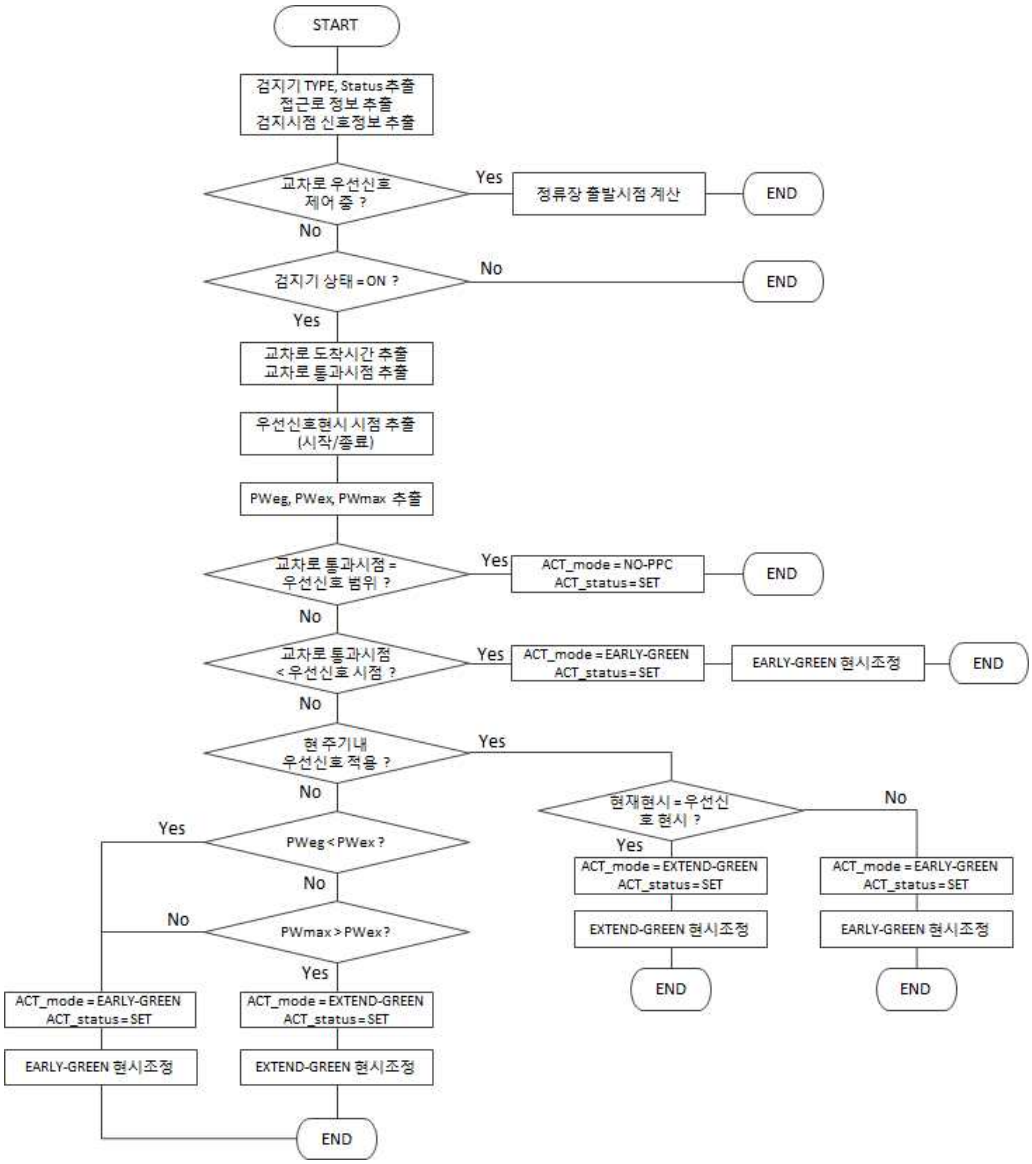
```
RXD:  7E 7E 0A 01 00 03 00 00 00 08
det> rcv G-Poll (seq= 3)
TXD:  7E 7E 27 10 28 03 01 33 69 78 47 33 0D 1B 0B 29 00 00 00 00
      0D 1F 10 24 00 00 00 00 11 11 11 18 11 11 11 18 02 01 5A
RXD:  7E 7E 0A 20 00 04 01 01 01 2F   ...< 검지기 정보 수신>
det> [15:57:11] rcv DET Info (seqno=004) : id =  1, sts =  1, linkID=1
det> VISSIM Detector Info : ID =   1, sts=1
det> rcv detID=  1, STS=1....[DET-STAT], Appr-ID=1, Distance=448

------------------------------------------------------------------
det> DET-Station, Loop id =   1, Appr-id = 1 [RING=2, Act Phase=1, Cur Phase=3] .... sts = 1

stop> CurPhase=3, CurTime = 071, WTmin = 015, LC-도착시간= 035, LC-통과시점=125
stop> ActPhase=1, Next CY = 001, LC-통과시점 = 020
stop> RING=2, ActPhase=1, 우선신호 [시작시점= 018, 종료시점= 039]
stop> calc MAX_PW : R1 ACT [cur ] :  13  19   3  18 -   0   0   0   0
stop> calc MAX_PW : R2 ACT [cur ] :   5   8   8  13 -   0   0   0   0
stop> calc MAX_PW : R1 ACT [next] :  13  19   3  18 -   0   0   0   0
stop> calc MAX_PW : R2 ACT [next] :   9   8   8  13 -   0   0   0   0
stop> calc MAX_PW : Next-Cycle = 1, RING=2,  CurPhase= 3, ActPhase=1, phaseCount=4,  vehTime=  6
...extend_maxPW = 30,  early_maxPW = 51
stop> STEP.0 우선신호내 도착 ...Next=1, ACT_start/end =018-039, Arr_T = 020
            => NO PPC Control...!
stop> STEP.0 우선신호내 도착 ...RING1 Split Update
stop> ACT-MODE : APPR(01) Station ...ST_stay_t =   0,  Tram Start =  15, End =  46
TXD:  7E 7E 09 21 28 04 01 01 04
vme> VME PPC Control : ENABLE
[15:57:11] Appr01> case 1 STOP-Signal ... OFF(passTime=  71)
RXD:  7E 7E 0A 01 00 05 00 00 00 0E
det> rcv G-Poll (seq= 5)
TXD:  7E 7E 27 10 28 05 01 33 69 78 48 33 0D 1B 0B 24 00 00 00 00
      0D 1F 10 24 00 00 00 00 11 11 11 18 11 11 11 18 91 01 CD
```

○ 정보연계모듈은 수신된 접근로별 검지기의 TYPE과 검지상태에 따라서 우선신호제어에 필요한 교차로 통과 예측시간, 최대 감응허용시간, 정류장 추가 대기시간 등 알고리즘 운영정보들을 생성하고 해당 교차로의 우선신호 적용 모드를 결정, 제어함

- 검지기 TYPE에 따라서 진입트랩의 접근로 정보를 추출함
- 접근로 구성정보(검지기 위치, 우선신호 현시 등)를 참조하여 교차로 도착시간, 교차로 통과 예측시간, 우선신호 시간정보(PWeg, PWex, PWmax 등), 정류장 출발시점, 추가정차시간 등을 산정함



<그림 2-89> 신호제어기내 우선신호 알고리즘 적용모드 선정

- 교차로 통과예측시간을 참조하여 검지시점으로부터 우선신호 현시까지의 최대 조기종결시간과 최대 연장가능시간을 산정하고 도착시점과의 편차를 계산함
- 해당 접근로 우선신호 시작과 종료시점을 추출하고 교차로 통과예측시간을 우선신호 적용모드를 선정함. 우선신호 적용모드는 교차로 통과시점과 Early-Green, Extend-Green 적용시 우선신호 변동폭이 최소인 모드를 선정, 적용함
- 우선신호 적용모드에 따라서 신호운영 정보를 갱신하고 신호제어기 CPU 모듈과 연동하여 우선신호제어결과에 따른 현시진행 명령(ForceOff)을 수행
- 정지선 및 진출부 검지기 수신정보를 참조하여 진출부 검지기가 OFF 인 경우 해당 우선신호 운영 모드를 종료함

```
[16:04:49] SS[01 01] PS[092] RA:[3/14] veh=025, split=042 [F/V/E=00/05/00], RB:[3/13] veh=019, split=036 [F/V/E=19/00/00]
[16:04:50] SS[01 01] PS[093] RA:[3/14] veh=026, split=042 [F/V/E=00/06/00], RB:[3/14] veh=020, split=036 [F/V/E=00/00/00]
[16:04:51] SS[01 01] PS[094] RA:[3/14] veh=027, split=042 [F/V/E=00/07/00], RB:[3/14] veh=021, split=036 [F/V/E=00/01/00]
[16:04:52] SS[01 01] PS[095] RA:[3/14] veh=028, split=042 [F/V/E=00/08/00], RB:[3/14] veh=022, split=036 [F/V/E=00/02/00]
det> [16:04:52] rcv DET Info (seqno=220) : id =  5, sts =  1, linkID=1

------------------------------------------------------------
det> DET-Station, Loop id =   5, Appr-id = 2 [RING=1, Act Phase=0, Cur Phase=3] .... sts = 1

stop> CurPhase=3, CurTime = 095, WTmin = 015, LC-도착시간= 004, LC-통과시점=118
stop> ActPhase=0, Next CY = 001, LC-통과시점 = 010
stop> RING=1, ActPhase=0, 우선신호 [시작시점= 005, 종료시점= 022]
stop> calc MAX_PW : R1 ACT [cur ] :  14  20   3  11 -   0   0   0   0
stop> calc MAX_PW : R2 ACT [cur ] :  10   9   9  13 -   0   0   0   0
stop> calc MAX_PW : R1 ACT [next] :  14  20   3  19 -   0   0   0   0
stop> calc MAX_PW : R2 ACT [next] :  10   9   9  13 -   0   0   0   0
stop> calc MAX_PW : Next-Cycle = 1, RING=1,  CurPhase= 3, ActPhase=0, phaseCount=4,  vehTime= 28 ...extend_maxPW = 42,  early_maxPW = 67
stop> STEP.0 우선신호내 도착 ...Next=1, ACT_start/end =005-022, Arr_T = 010
        => NO PPC Control...!
stop> STEP.0 우선신호내 도착 ...RING2 Split Update
stop> ACT-MODE : APPR(02) Station ...ST_stay_t =   0,  Tram Start =  15, End =  42
vme> VME PPC Control : ENABLE
[16:04:53] SS[01 91] PS[096] RA:[3/14] veh=029, split=042 [F/V/E=00/09/00], RB:[3/14] veh=023, split=042 [F/V/E=00/03/00]
[16:04:54] SS[01 91] PS[097] RA:[3/14] veh=030, split=042 [F/V/E=00/10/00], RB:[3/14] veh=024, split=042 [F/V/E=00/04/00]
[16:04:55] SS[01 91] PS[098] RA:[3/14] veh=031, split=042 [F/V/E=00/11/00], RB:[3/14] veh=025, split=042 [F/V/E=00/05/00]
[16:04:56] SS[01 91] PS[099] RA:[3/14] veh=032, split=042 [F/V/E=00/12/00], RB:[3/14] veh=026, split=042 [F/V/E=00/06/00]
[16:04:57] SS[01 91] PS[100] RA:[3/14] veh=033, split=042 [F/V/E=00/13/00], RB:[3/14] veh=027, split=042 [F/V/E=00/07/00]
[16:04:58] SS[01 91] PS[101] RA:[3/14] veh=034, split=042 [F/V/E=00/14/00], RB:[3/14] veh=028, split=042 [F/V/E=00/08/00]
[16:04:59] SS[01 91] PS[102] RA:[3/14] veh=035, split=042 [F/V/E=00/15/00], RB:[3/14] veh=029, split=042 [F/V/E=00/09/00]
[16:05:00] SS[01 91] PS[103] RA:[3/14] veh=036, split=042 [F/V/E=00/16/00], RB:[3/14] veh=030, split=042 [F/V/E=00/10/00]
[16:05:01] SS[01 91] PS[104] RA:[3/14] veh=037, split=042 [F/V/E=00/17/00], RB:[3/14] veh=031, split=042 [F/V/E=00/11/00]
[16:05:02] SS[01 91] PS[105] RA:[3/14] veh=038, split=042 [F/V/E=00/18/00], RB:[3/14] veh=032, split=042 [F/V/E=00/12/00]
[16:05:03] SS[01 91] PS[106] RA:[3/14] veh=039, split=042 [F/V/E=00/19/00], RB:[3/14] veh=033, split=042 [F/V/E=00/13/00]
[16:05:04] SS[01 91] PS[107] RA:[3/14] veh=040, split=042 [F/V/E=00/20/00], RB:[3/14] veh=034, split=042 [F/V/E=00/14/00]
[16:05:05] SS[01 91] PS[108] RA:[3/14] veh=041, split=042 [F/V/E=00/20/00], RB:[3/14] veh=035, split=042 [F/V/E=00/15/00]
[16:05:06] SS[01 91] PS[109] RA:[3/14] veh=042, split=042 [F/V/E=00/20/00], RB:[3/14] veh=036, split=042 [F/V/E=00/16/00]
[16:05:07] SS[01 91] PS[110] RA:[3/14] veh=043, split=042 [F/V/E=00/20/00], RB:[3/14] veh=037, split=042 [F/V/E=00/17/00]
[16:05:07] Appr02> case 1 STOP-Signal ... ON (passTime= 110)
[16:05:08] SS[01 92] PS[111] RA:[3/14] veh=044, split=042 [F/V/E=00/20/00], RB:[3/14] veh=038, split=042 [F/V/E=00/18/00]
[16:05:09] SS[01 92] PS[112] RA:[3/14] veh=045, split=042 [F/V/E=00/20/00], RB:[3/14] veh=039, split=042 [F/V/E=00/19/00]
vme> VME Force-off (ring=2, status :84) : 00 14
> 16:05:10 [ring2] Phase advance -> 3
vme> VME Force-off (ring=1, status :84) : 14 14
> 16:05:10 [ring1] Phase advance -> 3
[16:05:10] SS[01 92] PS[113] RA:[3/14] veh=046, split=042 [F/V/E=00/00/00], RB:[3/14] veh=040, split=042 [F/V/E=00/00/00]
[16:05:11] SS[01 92] PS[114] RA:[3/15] veh=047, split=042 [F/V/E=00/00/02], RB:[3/15] veh=041, split=042 [F/V/E=00/00/02]
[16:05:12] SS[01 92] PS[115] RA:[3/15] veh=048, split=042 [F/V/E=00/00/04], RB:[3/15] veh=042, split=042 [F/V/E=00/00/04]
det> [16:05:12] rcv DET Info (seqno=242) : id =  5, sts =  0, linkID=1

------------------------------------------------------------
stop> APPR(02) Station ... Signal OFF
[16:05:12] Appr02> case 3 STOP-Signal ... OFF(passTime= 115)
```

```
[16:05:13] SS[01 11] PS[000] RA:[0/00] veh=000, split=027 [F/V/E=00/00/00], RB:[0/00] veh=000, split=023 [F/V/E=00/00/00]
lc> CPU Cycle Updated.... !
[*] No-PPC ...Normal-Cycle Update

[CYCLE-Update, Cycle = 102]-------------------------------------------------
* Split [R1]:  25  27  10  40 -   0   0   0   0
* Split [R2]:  21  31  16  34 -   0   0   0   0
[*] Cycle Update (056).... Cycle= [102/102] ...Phase Count = 4, MainPhase=1
[*] Ring Mode = 1, Gap-ACT : 1 0 1 0 - 0 0 0 0
-----------------------------------------------------------------------
[16:05:14] SS[01 11] PS[001] RA:[0/00] veh=001, split=025 [F/V/E=01/00/00], RB:[0/00] veh=001, split=021 [F/V/E=01/00/00]
[16:05:15] SS[01 11] PS[002] RA:[0/00] veh=002, split=025 [F/V/E=02/00/00], RB:[0/00] veh=002, split=021 [F/V/E=02/00/00]
[16:05:16] SS[01 11] PS[003] RA:[0/00] veh=003, split=025 [F/V/E=03/00/00], RB:[0/00] veh=003, split=021 [F/V/E=03/00/00]
det> [16:05:16] rcv DET Info (seqno=247) : id =  7, sts =  1, linkID=1
[16:05:17] SS[01 11] PS[004] RA:[0/00] veh=004, split=025 [F/V/E=04/00/00], RB:[0/00] veh=004, split=021 [F/V/E=04/00/00]
det> [16:05:17] rcv DET Info (seqno=249) : id =  7, sts =  0, linkID=1
[16:05:18] SS[01 11] PS[005] RA:[0/01] veh=005, split=025 [F/V/E=05/00/00], RB:[0/01] veh=005, split=021 [F/V/E=05/00/00]
[16:05:19] SS[01 11] PS[006] RA:[0/01] veh=006, split=025 [F/V/E=06/00/00], RB:[0/01] veh=006, split=021 [F/V/E=06/00/00]
det> [16:05:19] rcv DET Info (seqno=252) : id =  8, sts =  1, linkID=1
det> det-out, loop id =  8, appr-id = 2.... sts = 1
[16:05:20] SS[01 11] PS[007] RA:[0/01] veh=007, split=025 [F/V/E=07/00/00], RB:[0/01] veh=007, split=021 [F/V/E=07/00/00]
[16:05:21] SS[01 11] PS[008] RA:[0/01] veh=008, split=025 [F/V/E=08/00/00], RB:[0/01] veh=008, split=021 [F/V/E=08/00/00]
det> [16:05:21] rcv DET Info (seqno=255) : id =  8, sts =  0, linkID=1
det> det-out, loop id =  8, appr-id = 2.... sts = 0
vme> VME PPC Control : *DISABLE
[16:05:22] SS[01 01] PS[009] RA:[0/01] veh=009, split=025 [F/V/E=09/00/00], RB:[0/01] veh=009, split=021 [F/V/E=09/00/00]
[16:05:23] SS[01 01] PS[010] RA:[0/02] veh=010, split=025 [F/V/E=00/00/00], RB:[0/02] veh=010, split=021 [F/V/E=00/00/00]
[16:05:24] SS[01 01] PS[011] RA:[0/02] veh=011, split=025 [F/V/E=00/01/00], RB:[0/02] veh=011, split=021 [F/V/E=00/01/00]
```

다. 우선신호 알고리즘 수행율 시험평가

○ 우선신호 수행율 시험 로그를 분석하여 교통류 모형에서 전달되는 트램 검지기 정보 중 우선신호 알고리즘이 활성화 되는 정보(정류장 검지기 ON) 수집 시, 우선신호 알고리즘이 수행되는지 여부를 비교

- 입력정보인 트램검지기 생성정보중 우선신호 트리거용 검지정보(정류장/진입부 검지기 ON)를 추출
- 우선신호 트리거용 검지정보 수집시 우선신호제어 알고리즘이 수행되었는지 여부를 측정하여 수행여부를 판정
- 총 6회 시험에 따른 우선신호 알고리즘 수행율은 다음과 같다. 시험결과를 확인해 본바, 개별적으로 교차로로 접근하는 트램에 대해서는 100% 우선신호 알고리즘이 수행되었음을 확인하였고 운영상황에 따라서 두 개의 접근로에서 트램이 동시에 접근하는 경우에는 먼저 정류장에서 검지된 트램에게 우선신호가 할당되고 본 트램이 교차로를 통과하기전에 추가로 검지된 트램에게는 우선신호가 할당되지 않았음을 확인
- 이와같은 교차상황에서 현재 적용된 알고리즘에서는 후속 트램에게는 우선신호가 적용되지 않음

<표 2-32> 우선신호 알고리즘 수행 결과

회차	총 검지기 정보 수	정류장 검지기 ON	우선신호 수행회수	수행율	비고
1	137 회	23 회	20 회	86.9%	로그분석
2	135 회	23 회	21 회	91.3%	로그분석
3	139 회	23 회	21 회	91.3%	로그분석
4	140 회	23 회	21 회	91.3%	로그분석
5	137 회	22 회	17 회	77.3%	로그분석
6	138 회	23 회	19 회	82.6%	로그분석

5. 통합 신호제어기 제작

가. 다수단 통합신호제어기 개발 및 요구사항 정립

○ 기존 도로교통시스템은 자동차, 버스 위주의 교통류를 대상으로 COSMOS 기반위에 신호제어 기법이 발전해 왔으나, 최근 트램, 버스전용, 보행자, 자전거 등의 다양한 교통수단이 도로상에 존재함으로 수단별 교통특성을 고려한 다양한 신호제어 기법이 필요함

○ 교통신호제어기는 2002년 경찰청 표준화를 기반으로 제정되어 현재까지 몇 차례의 개정을 통하여 기능보완이 수행되어 왔으나, 표준화 취지에 따라 하드웨어 인터페이스 표준 및 기본 기능에 대한 규격서 위주로 추진되어왔음

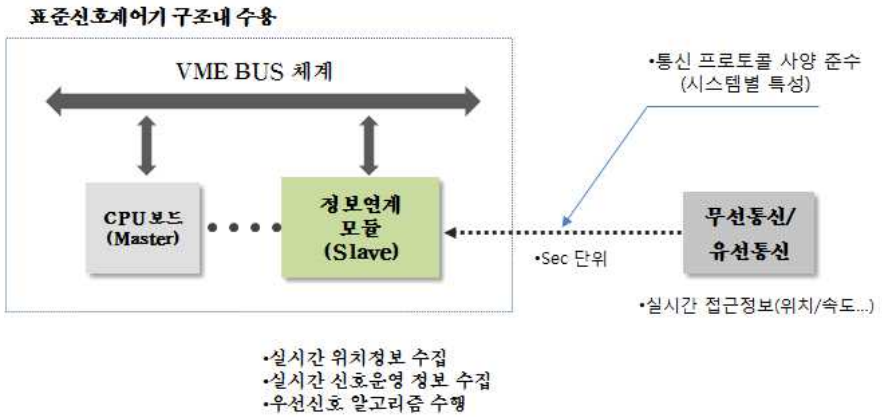
○ 표준신호제어기 규격서는 32~64 Channel 루프검지기를 기반으로 차량검지 체계를 구성하였으며 내부적으로 VME BUS 방식을 채택하여 다양한 기능 모듈에 대한 적용 가능성을 제시함

○ 최근 개발된 “UTIS 기반 버스우선신호/딜레마 정보제공 시스템” 등에서는 표준 신호제어기 기반위에 UTIS 무선통신 체계와 신호제어기간 정보연계를 통하여 버스에 대한 우선신호와 외부 정보연계에 대한 개발과 현장 적용을 수행한 바 있음

○ 본 과업에서 개발하고자 하는 다수단 복합도로에 적합한 통합 신호제어기는 이러한 표준 신호제어기 기반위에 다양한 교통수단별 검지특성과 인터페이스 사양을 충족하기 위하여 VME BUS 기반의 “정보연계모듈(IRM :

Information Related Module)" 을 적용하여 다양한 교통수단과의 정보연계를 수행하며 우선신호 제어기능을 수행함

○ 상기 신호제어기의 요구사항을 기반으로 설계된 통합신호제어기의 기능적 구성은 다음과 같다. 본 과업에서는 신호제어기 자체를 개발하지 않고 기존 신호제어기를 적용하였으며 신규로 정보연계모듈을 개발, 장착하여 표준신호제어기 사양을 만족하면서 우선신호 제어기능을 수행할 수 있는 통합형 신호제어기를 설계함



<그림 2-90> 통합신호제어기 개발방향

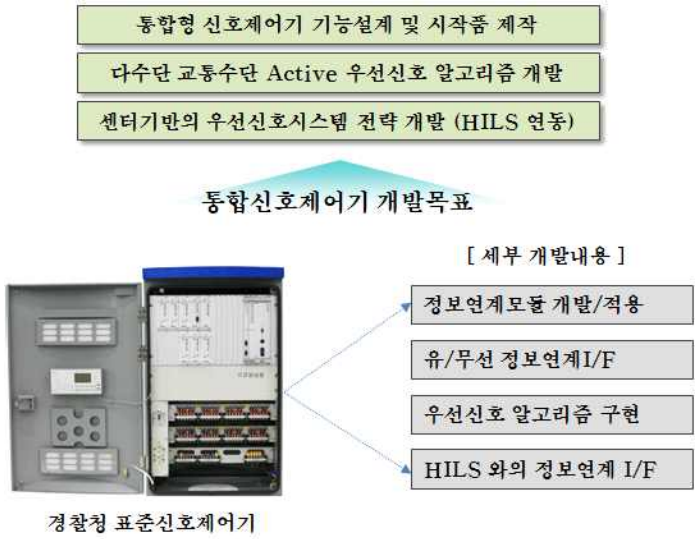
나. 다수단 통합신호제어기 개발 목표

○ 통합신호제어기는 기본적으로 경찰청 표준신호제어기 기반위에 다수단 교통수단(자동차, 버스, 트램, 보행자 등)을 고려한 효율적인 우선신호제어가 적용될 수 있는 통합형 신호제어기 개발을 목표로 함

○ 최근 경찰청 표준신호제어기에서는 특히 보행자 감응신호와 같은 현장의 감응식 신호운영방식에 대해서는 별도의 보행자 입력신호 검지모듈의 설계내용을 규정하고 신호제어 방식에대하여 세부적인 운영지침을 규정하였으나, 버스, 트램과 같은 차량기반의 우선신호운영에 대해서는 전반적인 운영지침에 대한 내용을 규정하고 있음(하드웨어 규격위주)

○ 본 과업에서 개발하고자 하는 통합신호제어기는 경찰청 표준신호제어기를

기반으로 현장의 신호제어기에서 수행되는 Active 방식의 우선신호 알고리즘을 탑재하고 HILS를 통한 알고리즘의 개발과 검증 및 향후 현장 적용이 가능한 통합형 신호제어기를 목표로 함



<그림 2-91> 통합신호제어기 개발목표

다. 다수단 통합신호제어기 기능구성

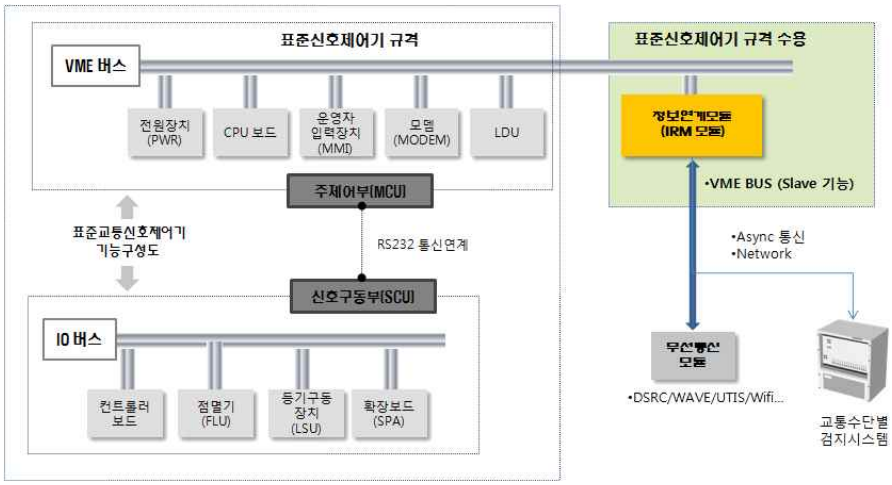
○ 다수단 통합신호제어기는 기능적으로 경찰청 표준신호제어기 기능과 도로교통 신호제어기 내 Active 방식의 우선신호제어 기능을 처리하기 위하여 외부 장치와 유/무선 통신연계를 수행하여 실시간 정보를 수집하고 신호제어 상황과 차량의 접근정보에 따라서 우선신호제어를 수행하는 정보연계모듈로 구성

○ 정보연계모듈은 다양한 형태로 설계, 제작이 가능하나 본 과업에서는 경찰청 규격서내에서 제시한 하드웨어 인터페이스 사양을 준수하면서 우선신호 기능을 수행할 수 있도록 표준 규격서 설계기준을 적용하여 설계

○ “경찰청 - 표준신호제어기 규격서 내용”(2.1.8.2.3 Type 0x07 PPC (Preemption & Priority Controller Board)) : 긴급차량 제어나 우선제어 기능을 수행하는 옵션보드로서, 자체 통신수단을 갖추고 긴급차량이나 우선

차량의 도착여부를 판단하여 CPU보드에 신호제어명령을 전송한다. 제어기 호환성과 독점공급을 방지하기 위해 제어기능을 CPU보드에 직접 부여하는 것은 금지되고 옵션보드를 통해서만 제어됨

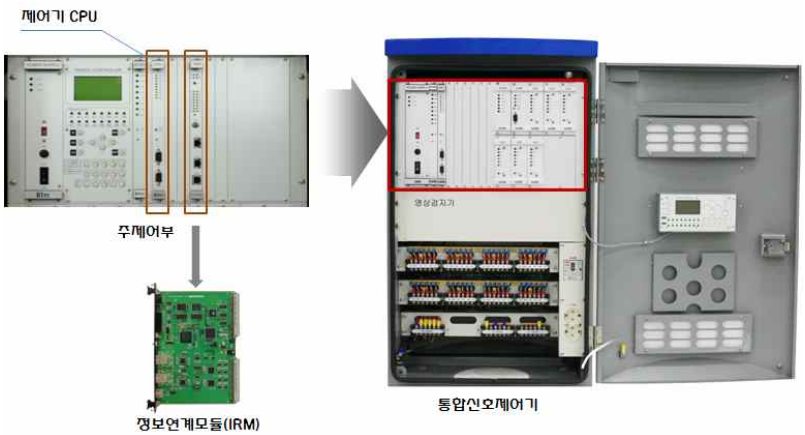
○ 설계된 정보연계모듈 기반의 통합 신호제어기 기능구조는 다음과 같음



<그림 2-92> 통합신호제어기 하드웨어 구성(정보연계모듈 적용)

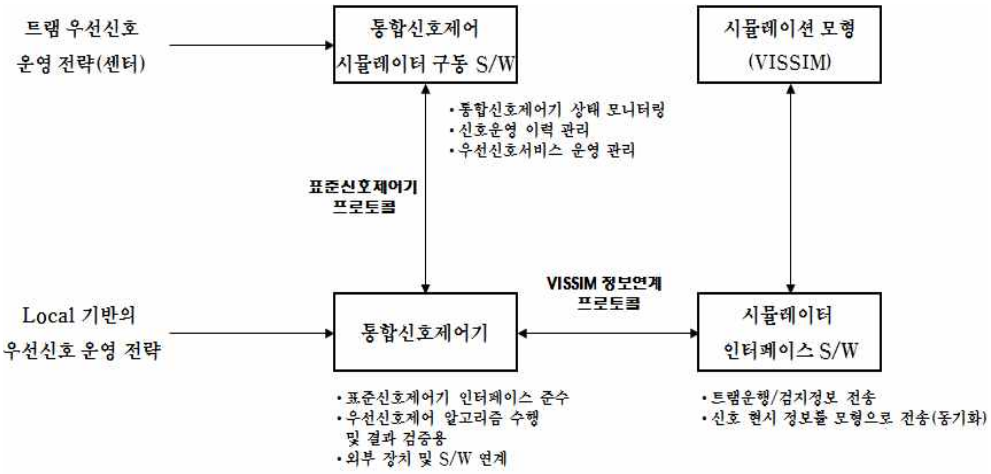
라. 다수단 통합신호제어기 제작

○ 통합신호제어기는 주제어부는 표준 신호제어기를 준수하여 제작하였고, CPU 모듈과 정보연계모듈이 한쌍이 되도록 구성하였음



<그림 2-93> 통합신호제어기 구성

○ 통합신호제어기는 시뮬레이터 구동 S/W와 시뮬레이터 인터페이스 S/W와 직접적으로 연계되며 외부시스템과의 연계내용은 다음과 같음



<그림 2-94> 통합신호제어기 외부시스템 연계구성

○ 시뮬레이터 구동 S/W
- 표준신호제어시스템의 센터기능을 시뮬레이션 하기 위한 연계 S/W
- 신호운영 주기, 현시, 옵셋 산정 및 배분 등
- 경찰청 “표준 신호제어기 표준규격서” 통신 프로토콜을 이용한 연계 수행

○ 통합신호제어기
- 표준신호제어기 기능 수행
- VISSIM 모형에서 수집되는 트램차량에 대한 우선신호 제어
- 신호 구동 정보 전송 (시뮬레이터 인터페이스 S/W 연계)

○ 시뮬레이터 인터페이스 S/W
- VISSIM 모형과 신호제어기 간의 정보 교환
- VISSIM 정보연계 프로토콜 이용

○ 시뮬레이터 모형(VISSIM)
- 가상 교통환경 구현 및 우선신호 알고리즘 효과 분석
- 트램차량 정보 생성 및 전송 (시뮬레이터 인터페이스 H/W 연계)
- 신호제어기 등기 구동 신호의 시뮬레이션 모형 연계

제4절 다수단 통합신호제어 시뮬레이터 개발

1. 대중교통 신호제어 평가 방법론 개발

가. 다수단 통합신호제어의 평가 방법론 수립

○ COSMOS 기반의 전략을 수용하면서 트램 우선신호를 위한 변경 상황을 용이하게 수용할 수 있는 보다 직관적인 구조의 통합신호제어 시스템을 구성

○ 센터의 기능을 최소화(TOD 운영 및 모니터링 기능)하고, 현장의 통합신호제어기 내에서 트램우선신호 알고리즘을 운영하는 방식으로 시스템 구축

○ 트램 우선신호제어 전략은 통합관제센터에서 이루어지는 Passive Priority Control과 통합신호제어기에서 이루어지는 Active Priority Control로 구성됨. 본 연구는 Active Priority Control 중심으로 추진

<표 2-33> 트램우선신호제어 방식

검지기 구분	주요기능
Passive Priority Control	트램운영관제시스템에서 제공되는 트램운행정보를 기반으로 신호제어그룹 내의 신호연동과 신호제어 그룹 간의 신호연동을 고려하여 신호그룹과 단위 교차로의 최적의 신호계획을 결정
Active Priority Controol	단위 교차로에서 교차로로 진입하는 트램차량의 정지선 지체를 최소화할 수 있는 현시 운영을 실시간으로 결정

○ 트램우선신호제어가 필요한 교차로에는 트램차량 진입 링크에 트램 정류장의 유무에 따라 별도의 검지체계 구성

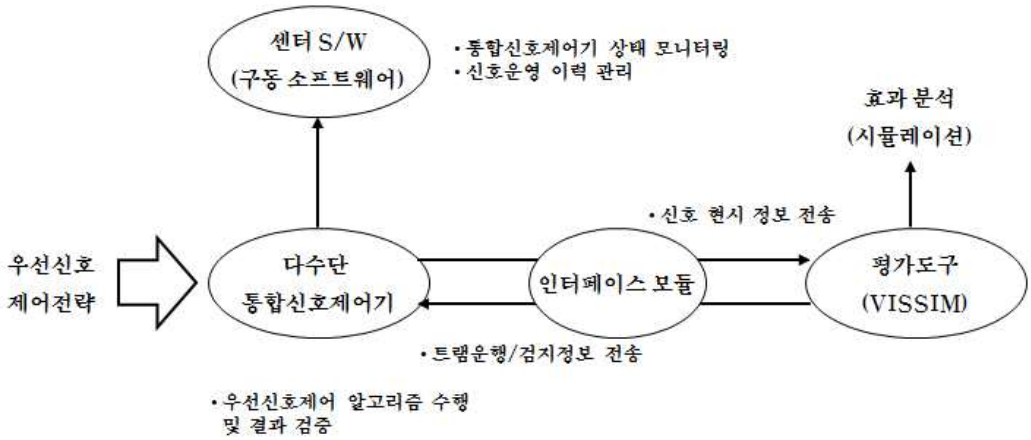
<표 2-34> 트램 정류장이 있는 진입 링크의 검지기 체계

검지기 구분	주요 기능
정류장 검지기	트램 정류장 정지선에 설치하여 트램 정류장에 트램 차량의 진입 여부를 검지
정지선 검지기	트램차량이 교차로 정지선에 근접했는지를 검지
진출 검지기	트램차량이 교차로를 통과했는지를 검지

<표 2-35> 트램 정류장이 없는 진입 링크의 검지기 체계

검지기 구분	주요 기능
진입 검지기	교차로 상류부 80 ~ 150m 지점에 설치되어 트램차량이 진입 링크에 도달했는지를 검지
정지선 검지기	트램 차량이 교차로 정지선에 근접했는지를 검지
진출 검지기	트램 차량이 교차로를 통과했는지를 검지

○ 트램 우선신호운영 전략을 시험/평가하기 위한 HILS 시스템 구축(안)

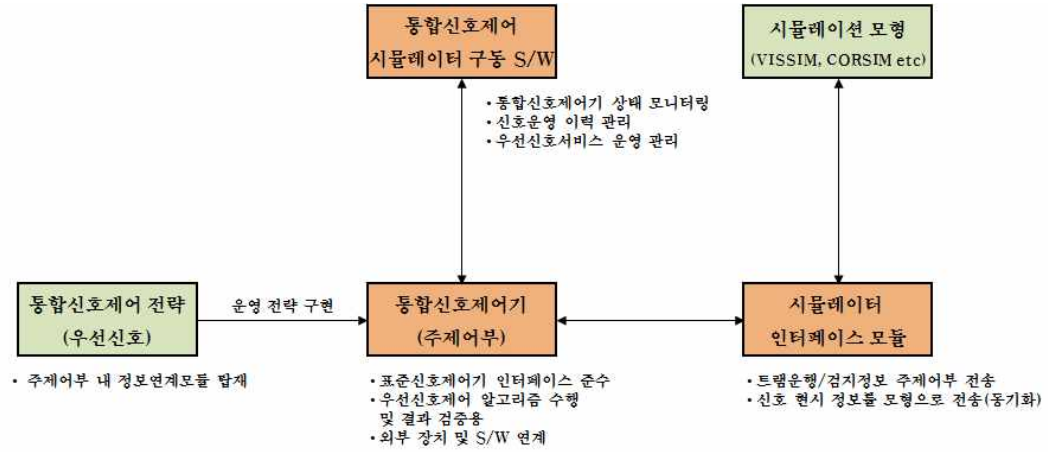


<그림 2-95> HILS 기반 평가 대상시스템 구성

나. 연계 교통 시뮬레이션 모형 선정

1) 연계 교통 시뮬레이션 모형 검토

○ HILS 기반의 신호제어 평가시스템 구성은 통합신호제어기, 통합신호제어 시뮬레이터 구동 S/W, 시뮬레이터 인터페이스 모듈, 시뮬레이션 모형이 필요하며 이중 핵심 구성요소인 시뮬레이션 모형을 선정하는 것이 선행 되어야 함. 기존 구축 및 운영 중인 시뮬레이션 모형에 대한 비교/분석을 진행하기 위해 자료조사 진행



<그림 2-96> 통합신호시스템에 대한 HILS 기반 평가 시스템 구성

① CORSIM

- CORSIM은 FORTRAN으로 개발된 프로그램으로 네트워크 내를 주행하는 차량의 운행상태를 매 초마다 명료하게 모델화 할 수 있음
- CORSIM 모형의 기본적 접근 방법은 교통상황을 각 시간 간격별로 재현 및 응용하는 것임
- 검증 및 기타 소프트웨어의 유효성 검증, 현장 데이터 수집을 위한 대용, 공개 프리젠테이션 및 데모, 고속도로 및 인터체인지, 신호 타이밍 및 신호 연동의 기능을 제공함

② VISSIM

- VISSIM의 시뮬레이션 모형은 미시적 모형이며 대중교통운영 전 영역에 걸친 분석을 위해 개발된 시간 및 행태기반 시뮬레이션
- VISSIM은 시뮬레이터와 Signal State Generator(SSG)로 구분되며, 시뮬레이터는 교통량을 생성하고 사용자가 가로망을 그래픽으로 생성 할 수 있도록 지원하며 가로망의 attributes를 입력 할 수 있음
- SSG는 신호제어가 이루어지는 모듈에 존재하며 사용자의 신호제어 로직 정의, 다양한 신호제어기의 에뮬레이션을 가능하게 함

○ 또한 SSG는 고정신호 운영, 감응제어, 대중교통우선제어 등의 다양한 제어 기법 운영의 영향을 분석 할 수 있도록 지원

③ NEMIS

○ NEMIS는 광역 네트워크상의 교통류를 시뮬레이션 하기 위한 Package로 신호제어 전략 평가, 교통류 구성 요소 조절 및 네트워크 변경에 따른 교통류의 영향, 교통류 배분의 시험 및 검증 등의 기능을 제공함
○ NEMIS에서는 차종을 승용차와 대중교통으로 나누며, 각각을 세분화 하여 시뮬레이션 할 수 있음

④ PARAMICS

○ PARAMICS는 모델러, 에널라이저, 프로세서로 구성되어 있으며, 모델러는 모델구축, 교통 시뮬레이션(3D 시각화 지원) 및 직관적인 사용자 인터페이스를 통한 통계 데이터 출력을 제공
○ 프로세서는 네트워크에 대입된 차량의 구성인자를 구분하여 서로 다른 시뮬레이션을 동일 네트워크에서 구동할 수 있게 함

⑤ TRANSIMS

○ Los Alamos National Laboratory에서 개발된 TRANSIMS는 cellular automata theory 이론과 컴퓨터의 이진 구조를 응용하여 대규모 네트워크에서 교통과 관계된 모든 통행자의 미시적 모의 실험을 수행하는 모형임
○ 이 모형은 기본적으로 차량추종 및 차로변경을 포함한 비보호좌회전, 대기행렬, 용량저하현상 등의 표현까지 세밀한 수준으로 대규모 네트워크 분석에 효과적인 능력을 가진 모의실험 모형으로 분류되고 있음
○ 이 모형에서는 분석 네트워크를 모두 일정한 간격의 기본 가정값을 가진 셀들로 나누어 개별 차량들을 이동시키며, 셀의 이동은 속도값에 의해 결정되는데 이는 한 모의실험 클럭안에서 전방 셀안의 차량유무를 검색하고 전이확률을 고려하여 결정함
○ TRANSIMS에서는 GM 5세대 모형을 근간으로 추종모형을 사용하고 있지만 일정 셀이 폭으로 규정된 이산적 공간이동으로 정확한 차량위치 추적에

는 한계가 존재하며 차로변경을 포함한 차량전이에 관련된 규칙들이 운전자 행태를 기초로 한 경험적인 확률값의 사용으로 정밀한 분석을 위한 분석적인 체계성이 결여되어 있음

2) 연계 교통 시뮬레이션 모형 비교

① 시뮬레이션 모형 특성비교

○ 시뮬레이션 모형을 선정하기 위해 상용화된 시뮬레이션 모형을 기능적으로 비교/분석함

<표 2-36> 시뮬레이션 모형 별 특성

구 분	CORSIM	SIMTRAFFIC	VISSIM	HUTSIM	PARAMICS	TEXAS	AIMSUN	WATSIM	INTEGRATION
원시코드 가능여부	O	X	X	X	X	O	X	X	X
외부코드와 연계	ACS, CID	synchro	CID, VNP	planned	O	X	EMME/2, SCATS	CINEMA	X
Post 프로세싱 툴	X	X	X	X	O	O	O	X	O
Graphic Network editor	O	O	O	O	O	X	O	X	ni
Graphic Network editor extensible	X	X	X	ni	O	n/a	ni	n/a	X
Run on PC	O	O	O	O	emulation	O	x-server	O	O
Object-oriented Structure	X	ni	O	O	O	X	O	X	ni
Acturated signals modeled	O	O	O	X	O	O	O	O	X

② 시뮬레이션 모형 모델링 구현 비교

○ PARAMICS, AIMSUN, VISSIM, PELOPS, TRAMSIMS 시뮬레이션 모형에 대한 지원 가능한 기능들을 정리하였음

○ 본 과제의 특성을 고려해 볼 때 주요 기능인 감응식 신호운영, 대중교통우선권, 교통류제어, 동적경로제공, 대중교통정보, 대기열 Spillback 등의 기능은 제공되어야 할 것으로 판단됨

<표 2-37> 국외 시뮬레이션 모형 별 구현범위

구 분	PARAMICS	AIMSUN	VISSIM	PELOPS	TRANSIMS
신호체계	●	●	●	●	●
감응식 신호 운영	-	-	●	-	●
대중교통 우선권	●	●	●	-	-
램프 미터링	●	-	●	-	-
교통류 제어	●	-	●	●	●
유고관리	●	●	-	-	-
죤 접근제어	-	-	-	-	-
가변전광판	●	●	●	-	-
지역적 교통정보	-	-	-	-	-
정적 경로 선택	-	-	-	-	-
동적 경로 제공	●	●	●	-	●
주차장 안내	●		●	-	●
대중교통정보			●	-	-
자동식 요금징수 및 톨 운영	●	●	●	-	-
혼잡비 징수	●	●	-	-	-
감응식 순항 제어	-	-	●	-	-
자동화 도로 시스템	-	-	-	-	-
자동 차량	-	-	-	-	-
보행자 & 자전거	-	●	●	-	-
프로브 차량	-	-	-	-	-
차량 검지기	●	-	-	-	●
날씨 조건들	-	-	-	●	-
주차 공간 탐색	●	-	●	-	●
주차된 차량들	●	-	●	-	●
정교한 engine model	-	-	-	●	●
상업용 차량들	●	-	●	-	-
자전거/오토바이	-	-	●	-	-
보행자	-	●	●	-	-
유고	●	-	-	-	-
대중교통	●	●	●	-	-
Traffic calming measures	-	-	●	-	-
대기열 spillback	-	-	●	-	-
위빙	●	-	●	-	-
로터리 교차로	●	-	●	-	-
혼잡관리	-	-	-	-	-
고속도로	●	●	●	-	-
특수차로 & 고속도로 관리	●	-	●	-	-
운전자 성향 반영	○	○	●	●	●
분산처리	●	●	-	-	-
온라인	-	●	●	-	-
환경 오염물 분석	-	●	●	-	●
API, SDK 제공	●	●	●	-	●
시나리오관리	●	●	●	●	-
문서 내보내기 및 변환	●	●	●	-	-

주: ● : 기능 있음, ○ : 기능 미미, - : 없거나 미확인

③ 시뮬레이션 모형 평가 지표 비교

○ 시뮬레이션 모형 선정에 있어서 목적 시스템에 대한 효과척도에 대한 시뮬레이션 기능을 제공하는 모형선정이 요구됨

○ 이에 따라 ITS 서비스 별 분석기능 비교표로 시뮬레이션을 비교하면 다음과 같음

○ 트램 우선신호 운영전략을 시험 평가하기 위해서 교통신호운영전략 분석, 교통량 감응 교통신호제어, 대중교통 우선신호 등의 기능이 구현되어야 하므로 다음과 같이 시뮬레이터의 ITS서비스 분석 기능을 비교

<표 2-38> 교통시뮬레이터의 ITS 서비스 분석기능 비교

시뮬레이터명	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
AIMSUN2	○	○		○		○	○		○	○			○							○
CORSIM	○	○	○	○	○	○								○						
FREESIM				○	○	○														
INTEGRATIO	○	○	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○					○	○
PARAMICS	○	○		○	○	○	○	○	○	○			○	○		○			○	○
VISSIM	○	○	○	○	○							○						○	○	○

자료: 지자체 ITS 사업구축지침, 한국교통연구원, 2003

주: 1) 교통신호운영전략 분석 2) 교통량감응교통신호제어 3) 대중교통우선신호 4) 램프미터링 5) 고속도로 교통류관리 6) 돌발상황관리 7) 가변정보표시 8) 지역교통정보제공 9) 정적경로안내 10) 동적경로안내 11) 주차안내 12) 대중교통정보제공 13) 자동요금지불 14) 혼잡통행료 15) 자동항법장치 16) 첨단고속도로 시스템 17) 자동주행차량 18) 보행자 자전거 통행자 19) 프로브 20) 차량검지기

○ 위 표에서처럼 트램 우선신호 운영전략을 시험 평가하기 위해서는 기본적으로 교통신호운영전략 분석, 교통량 감응 교통신호제어, 대중교통우선신호 기능에 대해서는 반드시 기능이 제공되어야 함

○ 본 연구의 평가수행을 위해서는 <표 2-38>의 분석을 근거로 CORSIM, INTEGRATIO, VISSIM 모형이 가장 적합할 것으로 판단함

3) 시뮬레이션 모형 선정

○ 지금까지 세계적으로 널리 이용되고 있는 교통류 분석 시뮬레이션 모형에

대하여 분석/비교를 진행하였고, 분석 대상 모형 중 HILS 기반의 평가 시스템 구축을 위하여 가장 적합한 모형의 선정 기준은 다음과 같은 기능을 기준으로 정하였음

- 교통신호운영전략 분석 기능
- 교통량 감응 교통신호제어 기능
- 대중교통 우선신호 기능
- 동적경로안내 기능
- 대중교통정보제공 기능
- 다양한 교통수단(자동차, 자전거, 오토바이, 보행자) 지원 기능

○ 이 외에 시뮬레이션 모형의 기능과 특성(PC 운영, 그래픽 에디터 지원)을 고려해 본 결과, 연구의 핵심 목표인 다수단 통합 신호제어, 트램 우선신호, 트램 전용차로 등을 분석하기에 적합하다고 판단되는 VISSIM 모형을 선택함

2. 통합 신호제어 시뮬레이터 개발

가. 시뮬레이터 구동 S/W 설계 및 구현

○ 시뮬레이터 구동 소프트웨어는 트램(차량)에 대한 우선신호제어 기능을 수행하는 통합 신호제어기의 신호 계획(연동, 현시배분 등)을 결정하고, 통합 신호제어기의 운영 정보를 모니터링하는 역할을 수행

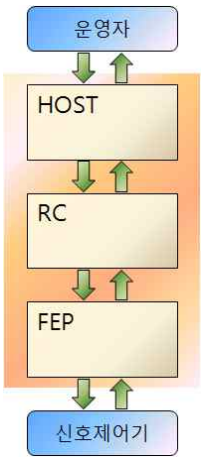
1) 시뮬레이터 구동 S/W 구성

○ 개발되는 시뮬레이터 구동 S/W는 도시 단위의 광역 영역에 대한 종합적인 신호관제를 수행하는 COSMOS 신호제어서버와는 달리 제한된 지역에서 트램차량과 일반차량이 신호제어 서비스를 공유하는 상황에서 트램 우선신호제어의 성능평가를 목적으로 함으로 기존 신호제어서버의 구성과는 다르게 비용 및 기능적 측면을 고려하여 설계

○ 시스템 구성 비교표에서와 같이 COSMOS 신호제어시스템은 최대 3,072개의

신호제어기에 대해 현장 교통상황에 따라 실시간 감응제어까지 수행해야 함으로 HOST, 지역컴퓨터(RC, Regional Computer) 및 통신장치(FEP, Front End Processor)로 구성된 계층적 구조로 기능이 각 단계별로 분산, 처리된다. 개발되는 구동 S/W는 최대 32개의 신호제어기에 의해 관리되는 비교적 제한된 제어 영역에서 TOD(Time of Day) 방식의 신호계획 운영과 관리 기능을 수행하는 것을 목표로 함으로 기존 COSMOS 시스템의 계층적 구조와는 달리 단일 서버에 신호관제 기능을 통합 운영하는 구조로 설계

<표 2-39> COSMOS와 개발 시스템의 구성 비교

<table>
<tr><th>구분</th><th>구성</th><th colspan="2">시스템 특징</th></tr>
<tr><td rowspan="8">COSMOS</td><td rowspan="8"> 
</td><td colspan="2">종합적인 광역 신호제어 서비스를 위해 계층구조의 분산 처리 방식을 채택</td></tr>
<tr><td>HOST:</td><td>• 신호계획 관리
• 운영자 인터페이스</td></tr>
<tr><td>RC:</td><td>• 신호계획 관리 및 제어
• 교통 정보 처리</td></tr>
<tr><td>FEP:</td><td>• 신호제어기 통신
• 신호제어기 현시제어</td></tr>
<tr><td colspan="2">최대 제어 용량: 3072 신호제어기</td></tr>
<tr><td colspan="2">• HOST 당 최대 24 RC</td></tr>
<tr><td colspan="2">• RC 당 최대 8 FEP</td></tr>
<tr><td colspan="2">• FEP 당 최대 16 신호제어기</td></tr>
<tr><td rowspan="3">개발
시스템</td><td rowspan="3"> 
</td><td colspan="2">제한된 지역 내에서의 트램 우선신호 성능평가를 위한 제한된 기능을 수행</td></tr>
<tr><td colspan="2">COSMOS의 분산된 관리/제어 기능을 단일 서버에 통합 운영</td></tr>
<tr><td colspan="2">최대 제어 용량: 32 신호제어기</td></tr>
</table>

○ 개발되는 시뮬레이터 구동 S/W는 기존 COSMOS 시스템의 각 계층별 소프트웨어 구조에서 필요한 기능을 선별하여 적용

○ 적용 기준은 기본적인 신호관제 기능을 위주로 하며, 시뮬레이션 환경에 적합한 형태로의 기능 변환 및 제한이 이루어짐

<표 2-40> COSMOS 시스템 S/W 구조 및 개발시스템 적용 방안

구분		기능	개발 시스템 적용	
장치	타스크		여부	사유
HOST	HIT	시스템 관리 (초기 기동 타스크)	○	
	IGP	신호운영 관리	○	
	TOD	TOD 신호계획 관리	○	
	TRC	교통감응제어 신호계획 관리	×	범위 아님
	LOG	신호운영 기록 관리	○	
	NIF	지역컴퓨터 통신 관리	×	시스템 구조 변경
	CTL	MMI 명령 처리	×	부가 기능
	RVD	보고서 예약 출력 관리	×	부가 기능
	CMD	MMI 인터페이스 관리	×	
지역 컴퓨터 RC	SCU	시스템 관리 (초기 기동 타스크)	×	시스템 구조 변경
	PLG	신호운영 관리	○	
	SMG	신호운영 감시	○	
	TRC	교통감응제어 신호계획 관리	×	범위 아님
	LOG	신호운영 기록 관리	○	
	NIF	HOST/FEP 통신 관리	×	시스템 구조 변경
	MCI	MMI 명령 처리	×	부가 기능
통신장치 FEP	FEP	시스템 관리 (초기 기동 타스크)	×	시스템 구조 변경
	PMG	신호운영 관리	○	
	RFM	예약명령 관리	×	부가 기능
	NIF	지역컴퓨터 통신 관리	×	시스템 구조 변경
	TRX	신호제어기 통신 관리	○	
	MON	MMI 명령 처리		

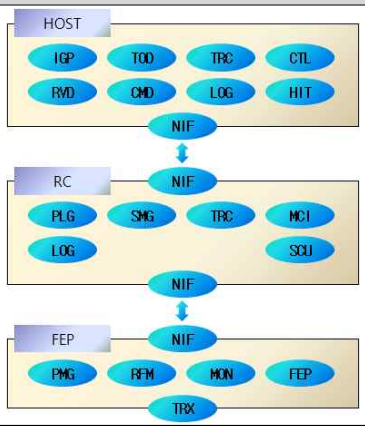
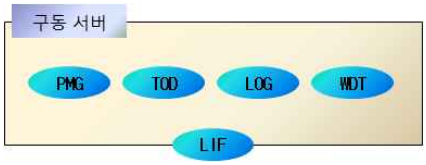
<표 2-41> 개발시스템에 적용할 주요기능과 소프트웨어 구조

기능명	특징
시스템 관리	• 시뮬레이터 구동 소프트웨어의 시작 및 수행 환경 초기화 • 단위 기능 타스크들의 구동 상태 감시 및 관리
신호계획 운영	• 교차로그룹의 신호계획 결정 및 운영 • 교차로의 신호계획 결정 및 운영(트랜스 상태 관리 포함)
TOD 신호계획 관리	• 교차로그룹의 TOD 신호계획 선택
시스템 운영상황 기록/관리	• 시스템 운영 상황 변화 기록 • 교차로그룹/교차로 신호계획 변화 기록 • 교차로그룹/교차로 운영상태 변화 기록 • 교차로 우선신호 제어 상황 기록
신호제어기 통신 관리	• 교차로 신호제어기와의 TCP/IP 통신연결 • 표준신호제어기 통신 프로토콜 지원

○ <표 2-42>는 COSMOS 시스템의 S/W 기능 분석과 시스템 구조를 고려하여 결정된 개발 시스템에 적용되어야 할 주요 기능들과 소프트웨어 구조를 나타냄

○ 개발시스템은 COSMOS의 계층적 구조를 단일 장치에 통합 운영하는 구조로 되어 있으며 COSMOS 각 장치 별로 분산 처리되던 주요 기능을 통합하여 필수 기능 위주로 재구성

<표 2-42> COSMOS와 개발 시스템의 SW 구조 비교

COSMOS	개발 시스템
	

2) 시뮬레이터 구동 S/W 설계

○ 시뮬레이터 구동 S/W는 기능별로 WDT, PMG, TOD, LOG, LIF로 구성되고, 세부 프로그램에 대한 내용은 다음과 같음

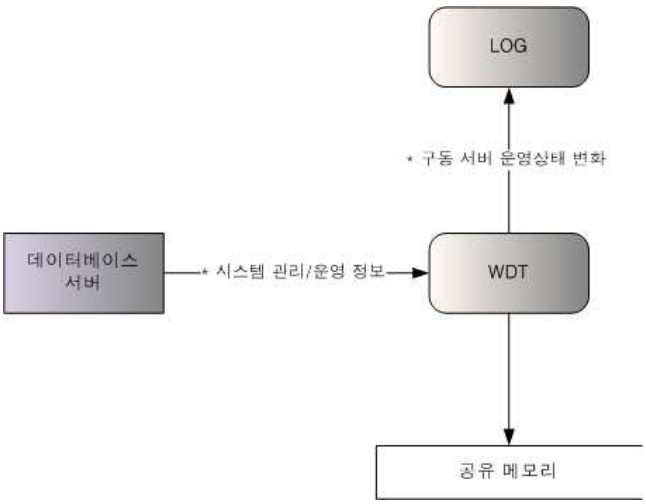
<표 2-43> 시뮬레이터 구동 서버 S/W 구조

TASK	주요 기능	COSMOS 시스템 비교
WDT	시스템 관리(초기 기동 타스크)	
PMG	신호운영 관리	HOST의 IGP, RC의 PLG, SMG 기능 결합
TOD	TOD 신호계획 관리	HOST의 TOD 기능 구현
LOG	신호운영 기록 관리	HOST와 RC의 LOG 기능 결합
LIF	신호제어기 통신 관리	FEP의 TRX 기능 구현

① WDT 프로그램

○ WDT(Watch Dog Timer) 프로그램은 시뮬레이터 구동서버의 초기구동 프로그램으로 시스템 운영상태 초기화와 내부 프로그램 운영 상황감시 및 관리 기능을 수행

○ 데이터베이스 서버로부터 시스템 운영에 관련된 기본 정보를 읽어 들여 공유메모리 정보를 초기화, 기능 수행을 위해 내부프로그램을 가동



<그림 2-97> WDT 프로그램 Data Flow Diagram

○ 공유메모리 영역은 시스템의 각 객체별 관리정보와 운영상태를 기록하며 내부 프로그램 간의 정보교환기능 지원

<표 2-44> 공유 메모리 구성

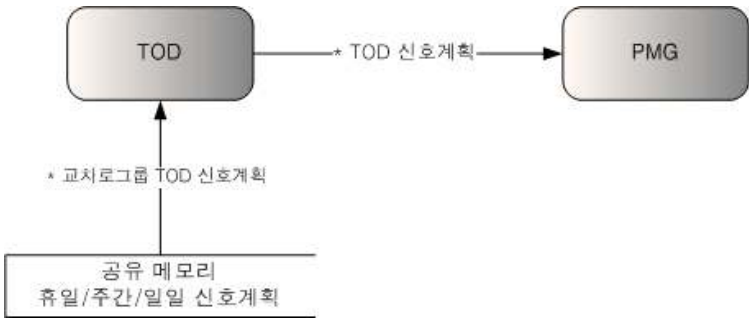
정보	주요 내용
시스템 관리	시스템 운영 상태를 관리
프로세스 관리	내부 프로그램 운영정보와 운영상태를 관리
교차로그룹 관리	교차로그룹 운영정보와 운영상태를 관리
교차로 관리	교차로 운영정보와 운영상태를 관리

○ 내부 프로그램 운영 상태 감시는 매 초마다 수행되며 각 프로그램의 WDT 카운터를 기반으로 수행된다. 내부 프로그램의 동작 이상 검지 시 LOG 프로그램을 통해 해당 상황을 기록하고 프로그램 정상화 작업을 수행함

2) TOD 프로그램

○ 교차로그룹의 기본적인 최적 신호운영을 위해 필요한 TOD(Time Of Day) 프로그램은 시뮬레이터 구동 S/W에서 관리되는 교차로그룹의 TOD 신호계획 결정을 담당함

○ 구동 서버는 각 교차로그룹 별로 최대 10개의 일일 운영계획 정보와 주간 운영계획 정보 및 휴일 운영계획 정보를 관리. 일일 운영계획 정보에는 최대 16개의 시간대 별 신호계획을 정의할 수 있음



<그림 2-98> TOD 프로그램 Data Flow Diagram

○ 교차로그룹의 TOD 신호계획 결정은 매 분 단위로 수행되며, 일일 운영계획의 결정과 시간대 신호계획의 선택 과정을 통해 이루어짐

○ 일일 운영계획의 결정은 최대 30개까지 정의할 수 있는 휴일 운영계획과 주간의 요일별 운영 계획에 의해 이루어짐

○ 휴일 운영계획이 주간 운영계획보다 우선 적용되며 일일 운영계획 결정 시 소속 교차로의 신호계획(현시와 연동계획)을 결정할 수 있는 시간계획이 같이 결정됨

<표 2-45> 교차로그룹 주간 운영계획 정보 구조(예)

정보		내용
일요일 운영계획	일일 운영계획	사용될 일일 운영계획 번호
	시간계획	교차로 신호계획 결정에 이용될 시간계획 번호
…		
토요일 운영계획	일일 운영계획	사용될 일일 운영계획 번호
	시간계획	교차로 신호계획 결정에 이용될 시간계획 번호

○ 교차로그룹에 적용될 일일 운영계획이 결정되면 일일 운영계획에 정의된 최대 16개의 시간대 별 신호운영 계획 중에서 현재 시각에 맞는 신호운영 계획을 교차로그룹의 신호계획으로 선택함

○ 신호계획의 구성 정보 중 현시계획과 연동계획 정보는 교차로그룹에 속한 교차로들의 신호운영에 이용되는 정보로 시간계획 정보와 결합되어 PMG 프로그램에 의해 사용됨

<표 2-46> 교차로그룹 일일 운영계획 정보 구조

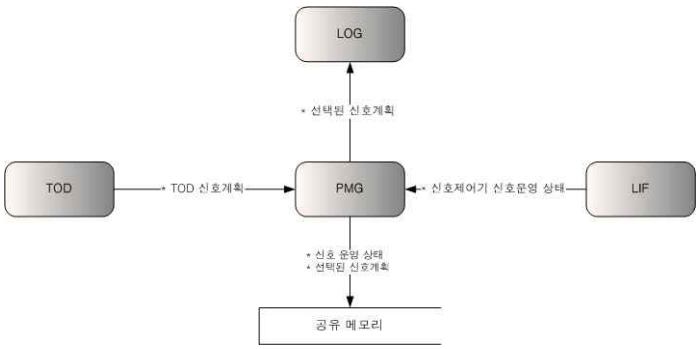
정보		내용
신호계획 #1	시, 분	지정된 신호계획이 적용될 시각
	주기길이	교차로그룹의 신호 주기 길이
	현시계획	교차로에서 운영될 현시계획
	연동계획	교차로에서 운영될 연동계획
…		
신호계획 #16	시	지정된 신호계획이 적용될 시각
	분	
	주기길이	교차로그룹의 신호 주기 길이
	현시계획	교차로에서 운영될 현시계획
	연동계획	교차로에서 운영될 연동계획

③ PMG 프로그램

○ PMG 프로그램은 시뮬레이터 구동 서버에서 관리되는 교차로그룹과 각 교

차로그룹에 속한 교차로의 신호운영을 담당함

○ 본 과제에서는 TOD 방식의 신호 운영을 기본으로 함으로 TOD 프로그램에서 결정된 교차로그룹의 TOD 신호계획에 의해 교차로그룹과 교차로들의 신호계획이 결정됨



<그림 2-99> PMG 프로그램 Data Flow Diagram

○ 교차로그룹의 신호운용 모드와 신호계획의 결정은 교차로그룹 신호 주기의 시작 시점에서 결정됨

○ 교차로그룹의 신호계획 운영은 그룹 제어 모드의 관리와 소속 교차로들 간의 연동관리가 주목적임으로 교차로그룹 신호계획 정보 중 주기길이만이 이용됨

<표 2-47> 교차로그룹 신호계획 정보 구조

정보	내용	비고
일일계획 번호	일일의 교차로그룹의 신호운영을 정의하는 일정표	최대 10 개
시간계획 번호	소속 교차로에 적용될 연동/현시계획표	최대 10 개
주기 길이	교차로그룹의 운영 주기	
연동계획 번호	소속 교차로에 적용될 연동계획 번호	
현시계획 번호	소속 교차로에 적용될 현시계획 번호	

○ 교차로의 신호운용 모드와 신호계획의 결정은 현장 신호제어기의 신호 주기 시작 시점에서 결정되며 교차로의 신호계획은 주기 길이, 현시계획 및 연동계획으로 구성됨

○ 각 교차로 별로 최대 10개의 시간계획을 설정할 수 있으며 각 시간계획 당 16 개의 연동/현시계획을 정의할 수 있음

<표 2-48> 교차로 신호계획 정보 구조

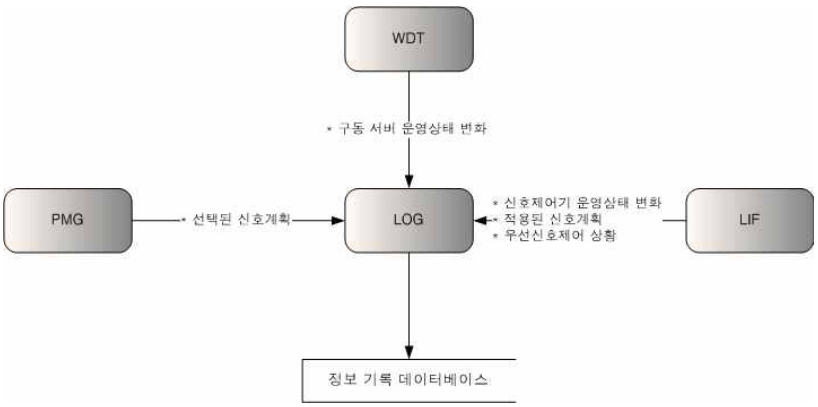
정보	내용	비고
주기 길이	교차로 운영 주기	-
연동계획	교차로그룹의 시간계획과 연동계획 번호에 의해 선택되는 연동계획	-
현시계획	교차로그룹의 시간계획과 현시계획 번호에 의해 선택되는 현시계획	-

○ 연동 시점의 조정을 위해 전이 주기가 운영되면 전이 주기 관리 방식은 COSMOS 시스템의 전이 주기 관리 방식을 이용하며, 매 주기 별 교차로그룹/교차로의 운영 신호계획은 LOG 프로세스를 통해 기록 관리

④ LOG 프로그램

○ LOG 프로그램은 시뮬레이터 구동 서버 운영 시 발생되는 중요 상황 변화나 적용되는 신호계획, 우선 신호제어 상황 등 중요 정보들의 기록/관리를 담당

○ 구동 서버의 각 프로그램에서 발생되는 중요 변동 정보는 LOG 프로그램으로 메시지 형태로 취합되어 해당 데이터베이스 테이블에 기록 관리됨



<그림 2-100> LOG 프로그램 Data Flow Diagram

○ LOG 프로그램에서 관리되는 주요 정보들의 구성과 세부 기록 내용 및 데이터베이스 테이블은 아래와 같음

<표 2-49> 개발시스템에 적용할 주요기능과 소프트웨어 구조

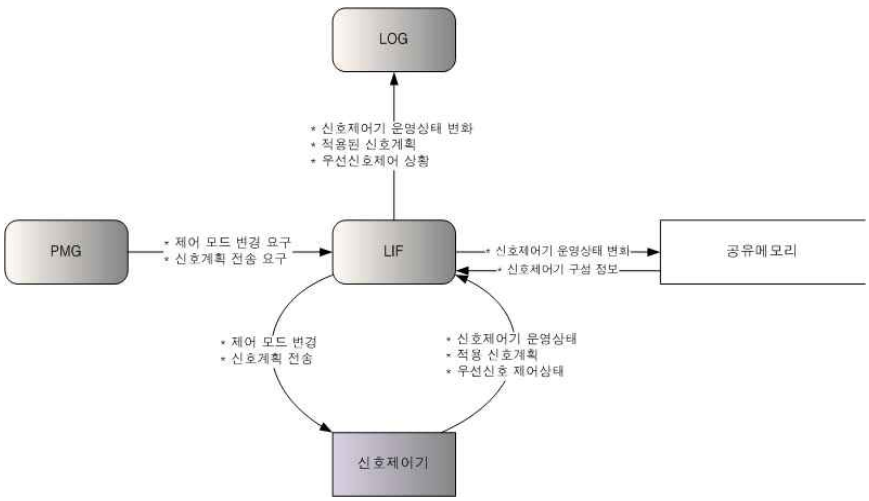
정보구성	세부기록 및 데이터베이스 테이블
시뮬레이터 구동서버 운영상태 정보	• 구동 서버의 시작/종료 • 내부 프로그램 동작 상태 변경 및 제어
교차로그룹/교차로 운영상태 변화	• 제어 상태의 변경 (온라인/오프라인/트랜스) • 제어 모드의 변경 • 특수 동작 상황의 시작 및 종료
운영신호계획 정보	• 교차로그룹 별 운영 신호계획 • 교차로 별 선택 신호계획 및 현장 적용 신호계획
우선 신호제어 적용정보	• 우선 신호제어 여부 (금지/허용) • 우선 신호제어 시작/종료 및 적용 방식

⑤ LIF 프로그램

○ LIF(Local InterFace) 프로그램은 시뮬레이터 구동 서버에 등록된 현장 신호제어기와의 정보교환을 담당

○ LIF 프로그램과 현장 신호제어기와의 통신은 경찰청의 “교통신호제어기 표준규격서”에 정의된 통신 프로토콜을 적용하며 본 과제의 특성을 고려하여 필요한 세부 프로토콜에 한정하여 구현함

○ 신호제어기에서 수집되는 현장 운영 상태를 관리하며 중요 상태변화나 신호운영 결과에 대해서는 LOG 프로그램을 통해 기록/관리되도록 함



<그림 2-101> LIF 프로그램의 Data Flow Diagram

○ 경찰청의 “교통신호제어기 표준규격서”에는 교통신호제어기와 센터 간 통신 프로토콜을 운전 프로토콜 (Control Protocol), 확장 프로토콜 (Extended Protocol) 및 데이터베이스 프로토콜 (Database Protocol)로 구분 분류하는데, 본 과제에서는 기본적인 신호운영에 필요한 운전 프로토콜의 일부와 필요시 우선신호제어 정보 교환을 위한 확장 프로토콜을 이용을 구현 범위로 함

<표 2-50> 경찰청 “교통신호제어기 표준규격서”의 통신 프로토콜 구분

프로토콜 종류	CODE 범위	용도	비 고
운전 프로토콜 (Control Protocol)	0x02～0x59	교차로 상황정보 및 제어 설정정보 제어 및 관제용 프로토콜	
확장 프로토콜 (Extended Protocol)	0x60～0x99	본 규격 호환 민간 센터 S/W의 확장 User 프로토콜	경찰청 사용허가필요
데이터베이스 프로토콜 (Database Protocol)	0xA0～0xEF	데이터베이스 업다운로드 프로토콜	
사용 금지 영역	0x00～0x0F 0xF0～0xFF	System Reserved	

○ 본 과제에서 구현되는 운전 프로토콜의 내용과 운영 방안은 아래의 표와 같음

<표 2-51> 운전 프로토콜의 시뮬레이션 구동 서버 구현 범위

명령	방향	CODE	내용 및 운영 방안	구현 범위
교차로 제어정보	▶ LC	0x10	교차로 제어 모드 및 현시 진행 제어 제어 필요 시 서버에서 개시	○
	▶ LIF	0x11		
교차로 상황정보	▶ LC	0x12	교차로 운영상황 보고 매 초마다 서버에서 수집	○
	▶ LIF	0x13		
검지기정보 업로드	▶ LC	0x22	검지기 정보 보고	×
	▶ LIF	0x23		
현시정보 다운로드	▶ LC	0x30	현시운영계획 다운로드 신호 주기 시작 시점에서 서버에서 전송	○
	▶ LIF	0x31		
현시정보 업로드	▶ LC	0x32	적용 현시결과 업로드 신호 주기 종료 시점에서 서버로 전송	○
	▶ LIF	0x33		
CLOCK 다운로드	▶ LC	0x40	시각동기 요구 통신개시시점이나 일정주기로 동기 요구	△
	▶ LIF	0x41		
CLOCK 업로드	▶ LC	0x42	현장 시각정보 보고 필요시 서버에서 요구	△
	▶ LIF	0x43		
SPECIAL	▶ LC	0x50	특수제어 명령 전송	×

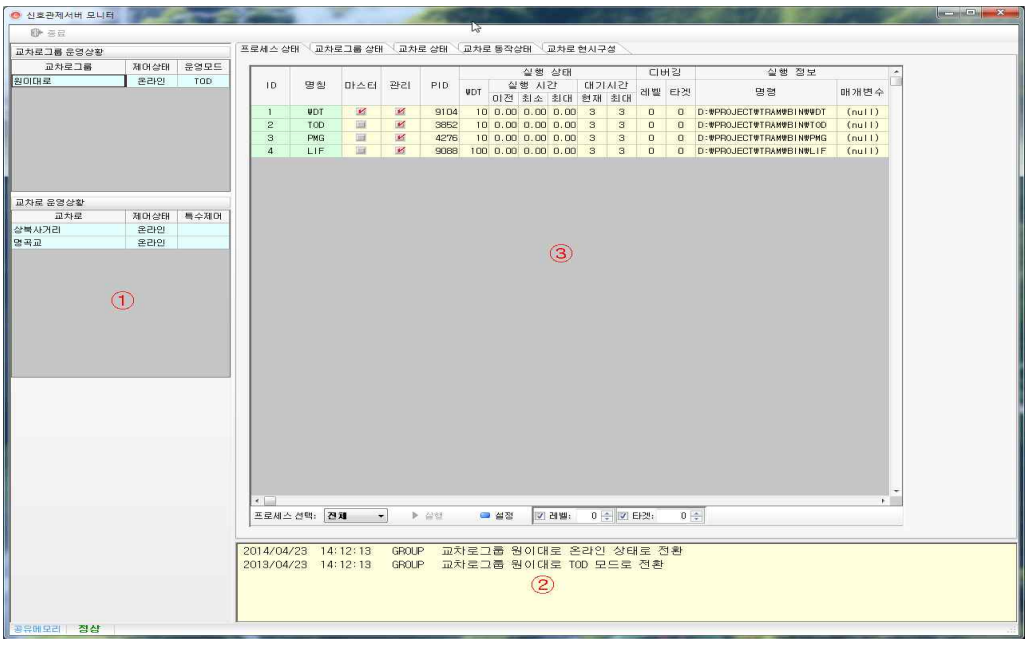
COMMAND	▶ LIF	0x51		
옵션 보드 MSG 다운로드	▶ LIF	0x52	옵션 보드 메시지 전송	×
	▶ LC	0x53		
옵션 보드 MSG 업로드	▶ LC	0x54	옵션 보드 메시지 보고	×
	▶ LIF	0x55		
F/W 업그레이드 요구	▶ LC	0x56	Firmware Upgrade 요구	×
	▶ LIF	0x57		

3) 시뮬레이터 구동 S/W 운영 단말 프로그램 개발

- 운영단말 프로그램은 시뮬레이터 구동 서버의 운영 상황을 관리자가 감시/조회할 수 있도록 구동서버의 공유메모리 정보를 이용하여 세부 정보를 표시하는 프로그램
- 시뮬레이터의 구동 서버가 정상동작 중인 경우에만 실행 가능

① 메인운영화면

- 메인운영화면은 요약상태 표시부, 이벤트 표시부, 상세정보 표시부로 구성



<그림 2-102> 메인 운영 화면

○ 관리자는 요약상태 표시부를 통해 교차로그룹과 교차로의 운영상황을 감시할 수 있으며 이벤트 표시부를 통해 구동서버의 변동상황을 실시간으로 인지할 수 있음

- 요약 상태 표시부: 교차로그룹과 교차로의 개략적인 운영상태를 표시
- 이벤트 표시부: 구동 서버 운영 상태의 변화 내용을 실시간으로 표시
- 상세 정보 표시부: 관리 대상의 상세 운영 상황을 표시

② 정보표시화면

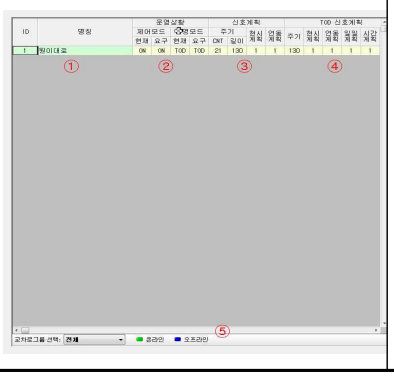
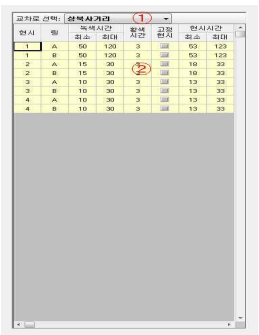
○ 정보표시화면은 프로세스 운영상태, 교차로그룹 운영상태, 교차로 현시구성, 교차로 운영상태, 교차로 동작상태로 구성

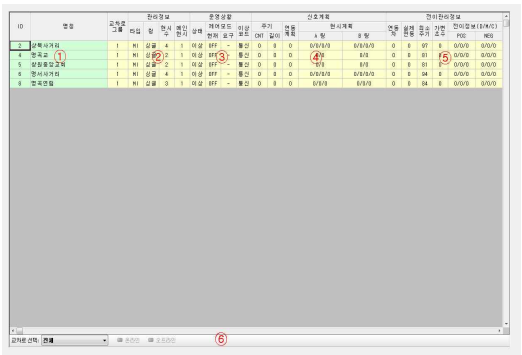
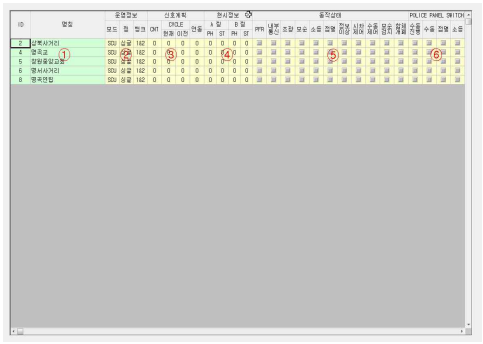
○ 프로세스 운영상태 화면에서 구동 S/W에서 수행되는 내부프로그램의 관리정보와 실시간 운영상태를 표시하며 프로그램에 대한 제어나 감시상태를 정의함

○ 교차로그룹 운영상태 화면에서 구동 S/W에서 관리되는 교차로그룹의 운영상황에 대한 상세정보 표시. 교차로그룹의 제어모드를 수동으로 변경 가능

○ 교차로 운영상태 화면에서 구동 S/W에서 관리되는 교차로의 운영상황에 대한 상세정보를 표시

<표 2-52> 정보 표시 화면 구성

프로세스 운영 상태	교차로그룹 운영 상태	교차로 현시 구성
		

교차로 운영 상태	교차로 동작 상태
	

○ 교차로 동작상태 화면에서 구동 S/W에서 관리되는 교차로의 세부동작상태에 대한 상세정보를 표시

○ 교차로 현시구성 화면에서 지정된 교차로의 현시구성에 대한 세부정보 표시

○ 프로세스 운영 상태

- 프로세스 운영 상태 화면에서는 구동 서버에서 수행되는 내부 프로그램의 관리 정보와 실시간 운영 상태를 표시하며 프로그램에 대한 제어나 감시 상태를 정의할 수 있음

○ 교차로그룹 운영 상태

- 교차로그룹 운영 상태 화면에서는 구동 서버에서 관리되는 교차로그룹의 운영 상황에 대한 상세 정보를 표시한다. 필요시 교차로그룹의 제어 모드 변경을 수동으로 지정할 수 있음

○ 교차로 운영 상태

- 교차로 운영 상태 화면에서는 구동 서버에서 관리되는 교차로의 운영 상황에 대한 상세 정보를 표시하며, 필요시 교차로의 제어 모드 변경을 수동으로 지정할 수 있음

○ 교차로 동작 상태

- 교차로 동작 상태 화면에서는 구동 S/W에서 관리되는 교차로의 세부 동작 상태에 대한 정보를 표시

○ 교차로 현시 구성

- 교차로 현시 구성 화면에서는 지정된 교차로의 현시 구성에 대한 세부 정보를 표시함

4) 시뮬레이터 구동 S/W 기능 시험

○ 시뮬레이터 구동 S/W는 총 6개의 프로그램(WDT, TOD, PMG, LIF, LOG, 운영단말)으로 구성되어 있으며, Check List는 다음과 같음

○ 각 프로그램의 세부 기능에 대하여 항목 별 시험을 통하여 기능 구현 시험

<표 2-53> 시뮬레이터 구동 S/W Check List 항목

프로그램	세부점검항목	검사 방법	적격여부
1. WDT	초기화	공유메모리 영역이 정상적으로 생성 되는가?	OK
		프로그램 간 정보 교환을 위한 메시지 큐가 정상적으로 생성되는가?	OK
		관리 정보의 초기화가 정상적으로 이루어지는가?	OK
		내부 프로그램 초기 구동이 실행되는가?	OK
	내부 프로그램 관리	주기적으로 내부 프로그램의 운영상태가 감시되고 있는가?	OK
		감시 프로그램 이상 동작 시 정상적인 복귀 처리가 수행되는가?	OK
2. TOD	일일 운영계획 선택	교차로그룹에 정의된 휴일/주간 운영계획에 따라 지정된 일일 운영계획이 선택되는가?	OK
	신호계획 선택	일일 운영계획에 정해진 시간대의 신호계획이 선택되는가?	OK
	신호계획 결정	교차로그룹의 TOD 신호계획 결정이 주기적으로 수행되는가?	OK
3. PMG	교차로그룹 관리	교차로그룹 제어 방식(ON/OFFLINE)의 결정이 정상적으로 이루어지는가?	OK
		교차로그룹 신호 운영 모드(TOD)의 선택이 정상적으로 수행되는가?	OK
		교차로그룹의 ONLINE 제어 상황이 지속적으로 유지되는가?	OK
		시간에 따라 TOD 신호계획의 변경이 정상적으로 적용/운영되는가?	OK
	교차로 관리	교차로 제어 방식(ON/OFFLINE)의 결정이 정상적으로 이루어지는가?	OK
		교차로그룹의 신호계획에 따라 정상적으로 교차로의 신호계획이 결정되는가?	OK
		교차로의 ONLINE 제어 상황이 지속적으로 유지되는가?	OK
		연동계획 불일치 교차로에 대한 전이주기 운영이 수행되는가?	OK
4. LIF	통신 연결	각 신호제어기에 대한 독립적인 통신 연결이 가능한가?	OK
		통신 연결 상태의 관리가 자동적으로 수행되는가?	OK
	통신 프로토콜	경찰청의 표준신호제어기 통신 프로토콜을 준수하는가?	OK
5. LOG	운영상태 기록	구동 서버 운영상태의 중요 변화 내용이 기록되는가?	OK
		교차로그룹/교차로의 중요 동작 상태의 변화 내용이 기록되는가?	OK
		교차로그룹/교차로에 적용된 신호계획 내용이 기록되는가?	OK
6. 운영	운영상태 감시	내부 프로그램 동작상태가 감시되는가?	OK

단말		교차로그룹 운영상태가 감시되는가?	OK
		교차로 운영상태가 감시되는가?	OK
	운영기록 조회	구동 서버의 운영기록에 대한 조회가 가능한가?	OK
	운영상태 제어	교차로그룹/교차로의 운영 상태를 제어할 수 있는가?	OK

나. 시뮬레이터 인터페이스 모듈 설계 및 제작

○ 시뮬레이터 인터페이스 모듈은 통합신호제어기와 VISSIM 사이에서 정보수집/가공/제공 기능을 수행
- 정보수집 : 교통신호제어기(표준제어기), 시뮬레이터 모형(VISSIM)
- 정보가공 : 신호운영 현시정보, 개별차량 검지정보 처리
- 정보제공 : 잔여시간 정보, 현시연장/종료 정보 등

○ 시뮬레이터 인터페이스 모듈은 H/W로 설계/제작되어 연계시험을 수행하였고, 최종적으로는 PC 기반의 운영프로그램을 구현하여 연계시험 수행

1) 시뮬레이터 인터페이스 H/W 제작

○ 시뮬레이터 인터페이스 H/W는 산업용 32Bit 마이크로프로세서를 장착한 통신 중계 장치로 신호제어기로부터 실시간으로 정보를 수집하여 시뮬레이터 모형(VISSIM)으로 전송하고, 시뮬레이터 모형의 연계정보를 신호제어기에서 필요로 하는 형태로 변환하여 제공하는 기능을 수행

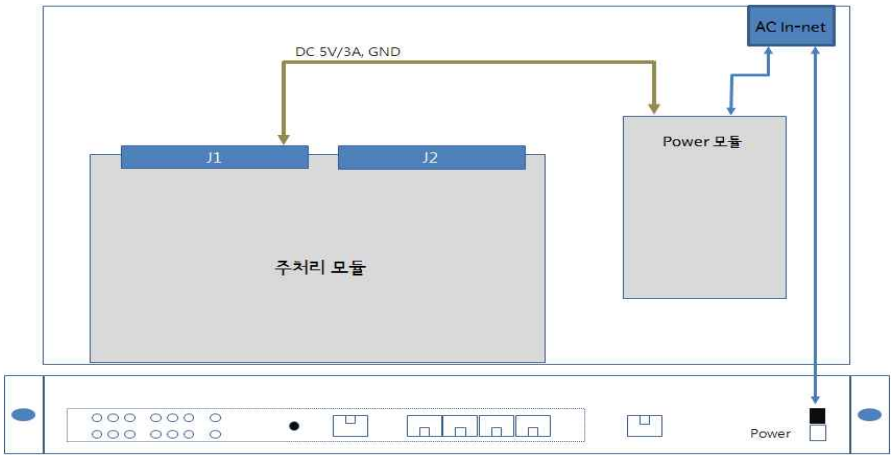
○ 본 장치 내 운영 프로그램들은 산업용으로 널리 사용되는 리눅스 O/S 기반에서 실행되어 운영 안정성을 보장하고, 분산 객체 지향의 S/W 기법을 사용하여 모든 프로그램을 모듈화/프로세스화 하여 독립적으로 운영

○ 본 장치의 전면부는 다수의 상태표시용 LED와 외부용 인터페이스를 내장하고 있으며 별도의 조작 없이 운영 상태를 모니터링 할 수 있음

○ 본 장치는 자체 유지보수용 Console 포트를 내장하고 있으며 자기진단 기능, 이벤트 Monitoring, 원격 통신 Monitoring 등 운영기능들이 추가되어 있음

○ 시뮬레이터 인터페이스 H/W는 신호제어기-VISSIM 간 연계프로토콜 및 정보가공 기능을 수행하는 주처리모듈과 안정적인 동작전원을 공급하는 전원모듈로 구성

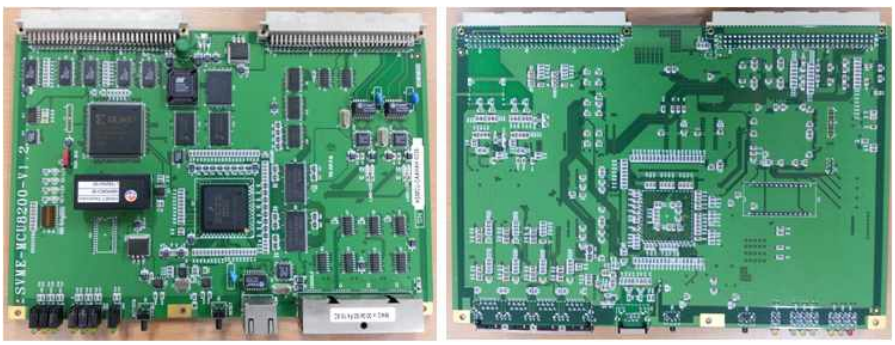
- CPU : MPC8270 266㎒
- Memory : SRAM 1M, DRAM 64M, Flash 16M
- Interface : Serial 6 port 지원, LAN 2port 지원
- Front Panel Indications : 상태 표시 LED, Reset Switch, Ethernet 1Port, Serial 4Port
- Size : 233.3 X 160.0 X 17 mm
- 소비전력 : +5VDC, 2.2A ~ 2.4A
- 동작온도 : -30 ℃ ~ 70 ℃



<그림 2-103> 시뮬레이터 인터페이스 H/W 내부 구성

○ 시뮬레이터 인터페이스 H/W

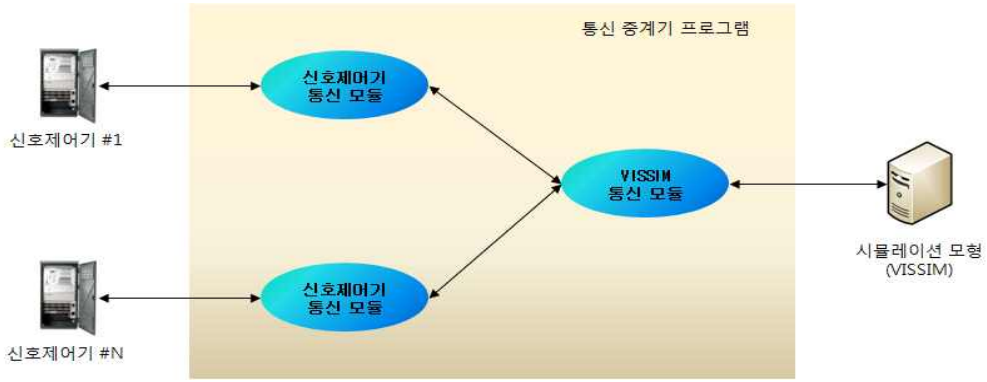
- 제작된 인터페이스 H/W 주처리모듈에 대한 내용은 다음과 같음



<그림 2-104> 시뮬레이터 인터페이스 H/W 모듈

2) 시뮬레이터 인터페이스 S/W 제작

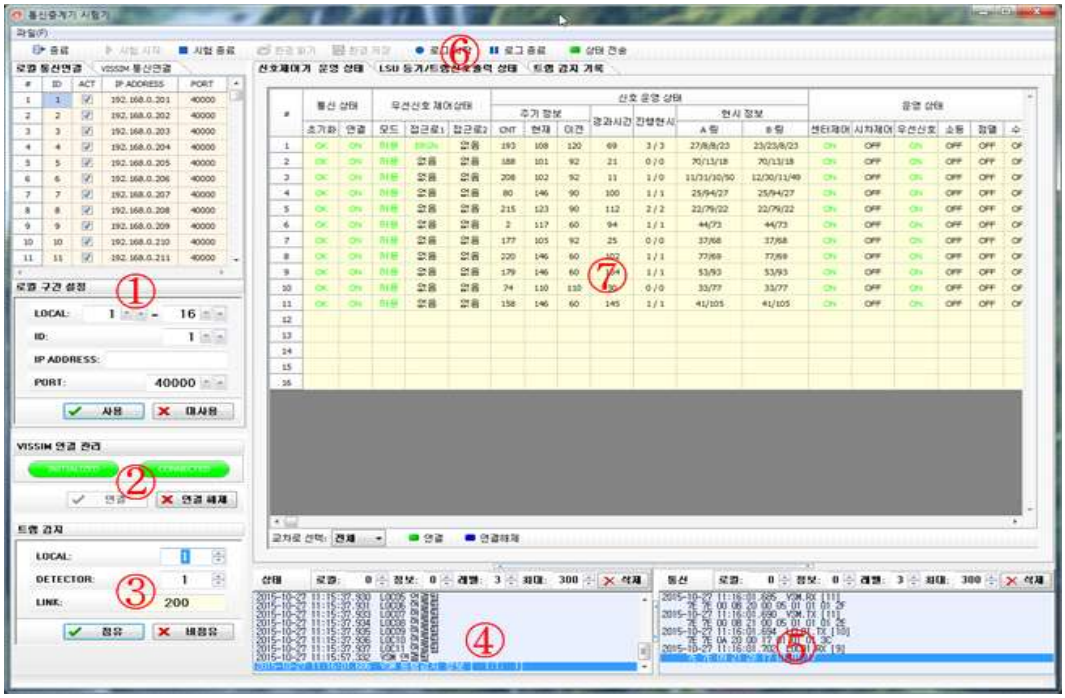
- ○ 시뮬레이터 인터페이스 S/W는 VISSIM 시뮬레이션 모형과 신호제어기 간의 정보 교환을 중계하는 역할을 수행하며, VISSIM 모형에서 생성되는 트랩 검지 정보를 해당 신호제어기로 전송하고, 신호제어기들에서 생성되는 등 기구동정보를 수집하여 VISSIM 모형으로 전송
- ○ 두 장치 간 정보교환을 위해 “VISSIM 정보연계 프로토콜”을 이용함



<그림 2-105> 통신 중계기 프로그램 구성

① 시뮬레이터 인터페이스 화면 구성

- ○ 메인 운영 화면은 통신 환경 설정부, VISSIM 모형 연결 상태 관리부, 프로그램 동작 상태 감시부 및 정보 표시부로 구성되며 통신 환경 설정부에서는 통신 중계기를 통해 연계되는 VISSIM 모형과 신호제어기에 대한 통신 연결 방식을 지정할 수 있음
- ○ 동작 상태 감시부를 통해서는 프로그램의 동작 상황이나 통신 상태를 감시할 수 있고, 정보 표시부를 통해서는 신호제어기로부터 수집되는 교차로의 운영 정보를 조회할 수 있음

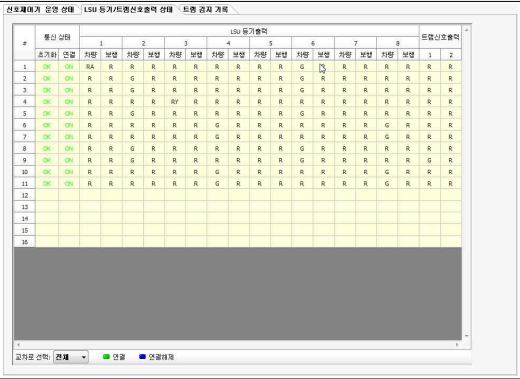
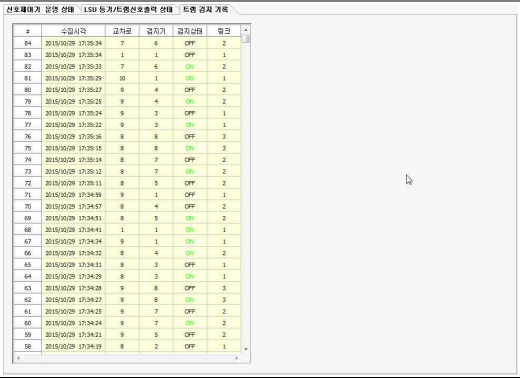


<그림 2-106> 메인 운영 화면

- VISSIM 모형과 신호제어기들과의 통신 환경 설정 기능을 수행
- VISSIM 모형과의 통신 연결 상태를 제어
- 트랩 검지 정보를 신호제어기로 생성 전송 (VISSIM 모형이 연계되지 않은 경우)
- 통신 중계기 프로그램 운영상태를 감시
- 각 장치와의 통신상태를 감시
- 통신 연결의 시작/중지 및 통신 설정 정보를 관리
- 신호제어기 수신 정보를 표시

○ 정보 표시부에는 트랩 우선신호에 관련된 신호운영상태, 우선신호제어상태, 등기출력 상태 및 트랩 검지 기록 등의 상세 정보가 표시된다.

<표 2-54> 세부 정보 표시 화면

정보 구분	화면	표시 내용
신호기 운영상태		- 통신 상태 - 우선신호 제어상태 - 신호운영상태 - 특수동작상태
LSU/트램 등기출력상태		- LSU 출력 상태 - 정류장 트램신호 상태
트램검지기록		- 트램 검지 기록

② 시뮬레이터 인터페이스 S/W 통신 프로토콜

○ 시뮬레이터 인터페이스 S/W의 통신 프로토콜은 VISSIM 모형의 COM Interface와 신호제어기 간의 실시간 정보연계를 위한 통신규약임

○ 운영 OPCODE

- 신호제어기와 VISSIM 모형 간 정보연계를 위한 운영 OPCODE

<표 2-55> 운영 OPCODE

구분	CODE	내용	방향
G-Poll	0x01	일반적인 상태 Check - 1초 단위 주기적 전송	모형⇨제어기
신호운영정보	0x10	신호제어기 운영정보 (응답) - 신호제어기 운여정보 포함	제어기⇨모형
검지기 정보 (이벤트)	0x20	VISSIM 모형상의 검지기 검지 정보 (트램 정보) - 검지기 ID & 상태, 트램 ID, 링크 ID 포함 - 검지기 상태변화 이벤트 시 전송	모형⇨제어기
검지기 ACK	0x21	검지기 정보 수신 ACK - 검지기 정보 수신시 ACK 전송	제어기⇨모형

○ G-POLL

- VISSIM 모형과 신호제어기간의 주기적으로 상태를 Check

<표 2-56> G-POLL 메시지 구조

순 번	내 용	비 고
0	STX	Start Of Text(Ox7E)
1	STX	Start Of Text(Ox7E)
2	SIZE	Packet 전체 Size 영역
3	OPCODE	G-Poll (0x01)
4	VISSIM Status	상태정보 (Reserved)
5	전송 Packet 일련번호	순차적 증가 (0 ~255)
6	0	Reserved
7	0	Reserved
8	0	Reserved
9	LRC	LRC Check Code

○ 신호운영정보

- 신호제어기에서 VISSIM 모형으로 전송되는 상태정보로 G-POLL, 검지기 전송에 따른 응답메세지로 전송함

<표 2-57> 신호운영정보 메시지 구조

순 번	내 용	비 고
0	STX	Start Of Text(Ox7E)
1	STX	Start Of Text(Ox7E)
2	SIZE	Packet 전체 Size 영역
3	OPCODE	신호운영정보 (0x10)
4	신호제어기 Status	신호제어기 상태정보
5	전송 Packet 일련번호	수신한 Packet 일련번호
6	우선신호 Flag	우선신호 허용유무 = 허용(1)/금지(0)
7	Cycle 카운트	매주기당 1씩 증가
8	현재신호운영 주기	Cycle
9	이전 신호운영 주기	bCycle
10	신호Pass Time	신호 진행시간(sec)
11	RING1/RING2 운영현시	링별 운영현시(0 ~ 7) - bit0~bit3 : RING1, bit4~bit7 : RING2
12	RING1 1현시 Split	RING1 - 1현시 운영값
13	RING1 2현시 Split	RING1 - 2현시 운영값
	-	
19	RING1 8현시 Split	RING1 - 8현시 운영값
20	RING2 1현시 Split	RING2 - 1현시 운영값
21	RING2 2현시 Split	RING2 - 2현시 운영값
	-	
27	RING2 8현시 Split	RING2 - 8현시 운영값
28	LSU#1 등기상태	신호등기부 LSU#1 등기상태
29	LSU#2 등기상태	신호등기부 LSU#2 등기상태
	-	
35	LSU#8 등기상태	신호등기부 LSU#8 등기상태
36	정류장#1 신호등기상태	정류장#1 - 트램신호 신태
37	정류장#2 신호등기상태	정류장#2 - 트램신호 신태
38	LRC	LRC Check Code

○ 검지기 이벤트 정보

- VISSIM 모형에서 신호제어기로 전송되는 트랩 검지기 정보로 검지기 상태 변화 시 즉각적으로 전송함

<표 2-58> 검지기 이벤트 정보 메시지 구조

순 번	내 용	비 고
0	STX	Start Of Text(Ox7E)
1	STX	Start Of Text(Ox7E)
2	SIZE	Packet 전체 Size 영역
3	OPCODE	검지기 정보 (0x20)
4	VISSIM Status	상태정보 (Reserved)
5	전송 Packet 일련번호	순차적 증가 (0 ~255)
6	검지기 ID	검지기 ID
7	검지기 상태	점유/비점유 상태 = 점유(1)/비점유(0)
8	노드 ID	교차로 링크 ID
9	LRC	LRC Check Code

○ 검지기 이벤트 ACK 정보

- VISSIM 모형에서 신호제어기로 전송되는 트랩 검지기 정보 수신 시 ACK 정보를 전송

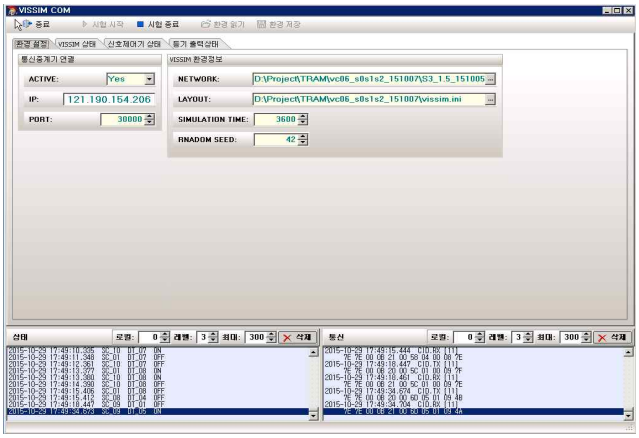
<표 2-59> 검지기 이벤트 ACK 정보 메시지 구조

순 번	내 용	비 고
0	STX	Start Of Text(Ox7E)
1	STX	Start Of Text(Ox7E)
2	SIZE	Packet 전체 Size 영역
3	OPCODE	검지기 ACK 정보 (0x21)
4	신호제어기 Status	신호제어기 상태정보
5	전송 Packet 일련번호	수신한 Packet 일련번호
6	검지기 ID	검지기 ID
7	검지기 상태	점유/비점유 상태 = 점유(1)/비점유(0)
8	LRC	LRC Check Code

③ VISSIM 시뮬레이터 구동을 위한 보조 S/W

○ VISSIM COM Interface S/W

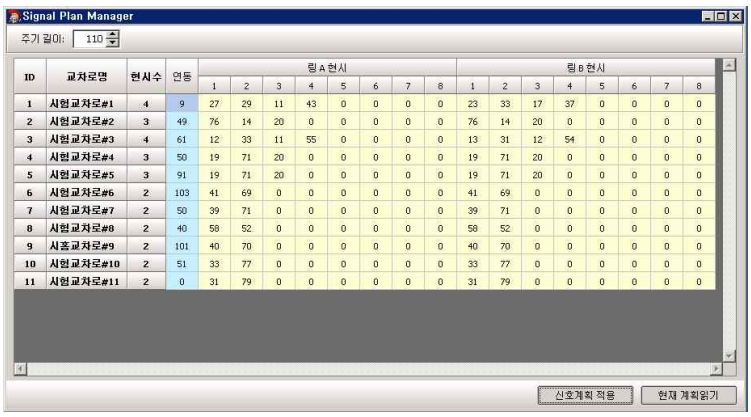
- VISSIM 모형을 구동하기 위한 설정 정보를 관리하고, 시뮬레이션 상황에서의 모형 내 신호기 및 검지기 상태를 확인하고 시뮬레이터 인터페이스 S/W와의 연계상황을 확인하는 기능을 지원



<그림 2-107> VISSIM COM 인터페이스 S/W 메인화면

○ Signal Plan Manager S/W

- 데이데베이스 서버와 연계하여 신호 구동 S/W에서 운영될 각 교차로 별 신호계획을 수정/조회할 수 있는 기능을 지원



<그림 2-108> Signal Plan Manager 화면

3) 시뮬레이터 인터페이스 모듈 기능 시험

○ 시뮬레이터 인터페이스 모듈의 기능 시험은 크게 신호제어기와의 통신 연계 부문과 시뮬레이션 모형인 VISSIM과의 연계 시험 그리고 시뮬레이션 구동 S/W의 운영단말 프로그램 간의 시험으로 구분되어질 수 있음

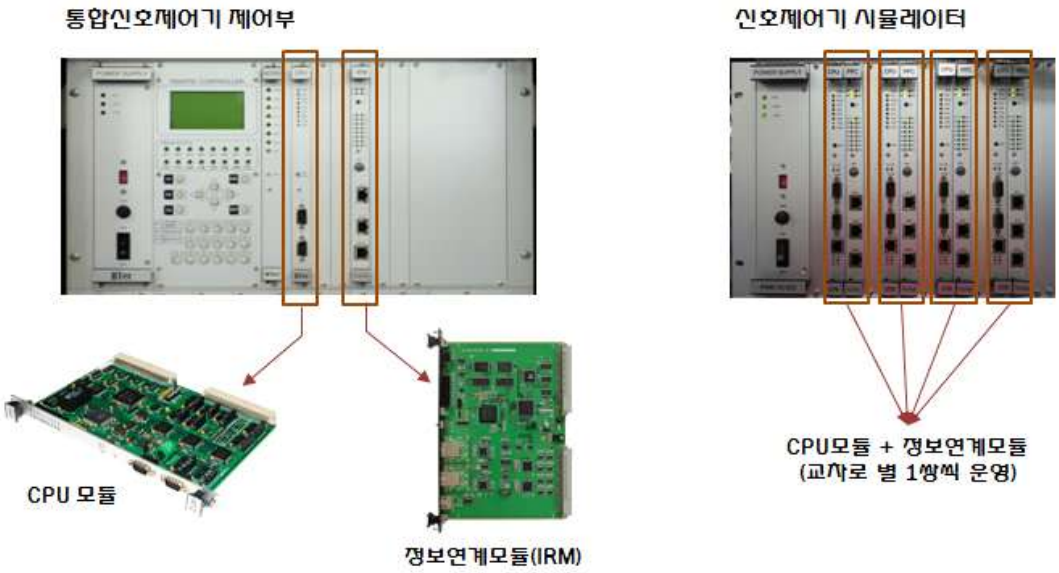
<표 2-60> 시뮬레이터 인터페이스 모듈 Check List 항목

프로그램	세부점검항목	점검 내용	적격 여부
1.신호제어기 통신모듈	1.1 통신 연결	신호제어기에 대한 독립적인 통신 연결이 가능한가?	OK
		통신 연결 상태의 관리가 자동적으로 수행되는가?	OK
	1.2 통신 프로토콜	VISSIM 연계 프로토콜을 준수하는가?	OK
2. VISSIM 통신모듈	2.1 통신 연결	VISSIM 모형에 대한 독립적인 통신 연결이 가능한가?	OK
		통신 연결 상태의 관리가 자동적으로 수행되는가?	OK
	2.2 통신 프로토콜	VISSIM 연계 프로토콜을 준수하는가?	OK
	2.3 정보 연계 기능	정보연계 지연 시간이 기준(100msec 이내)을 만족하는가?	OK
3.시뮬레이터 구동 S/W 운영단말	3.1 통신환경 설정	VISSIM 모형과의 통신 연계 방식이 설정 가능한가?	OK
		신호제어기와의 통신 연계 방식이 설정 가능한가?	OK
		통신환경 설정 내용이 저장/관리되는가?	OK
	3.2 통신상태 감시	통신 연결 상태가 감시되는가?	OK
		송수신되는 프로토콜 내용이 확인 가능한가?	OK
	3.3 정보 조회	중계되는 정보의 내용이 확인 가능한가?	OK
	3.4 통신 연결 제어	연계 장치와의 통신 연결 상태가 제어 가능한가?	OK

다. 시뮬레이터 동작 분석 실험

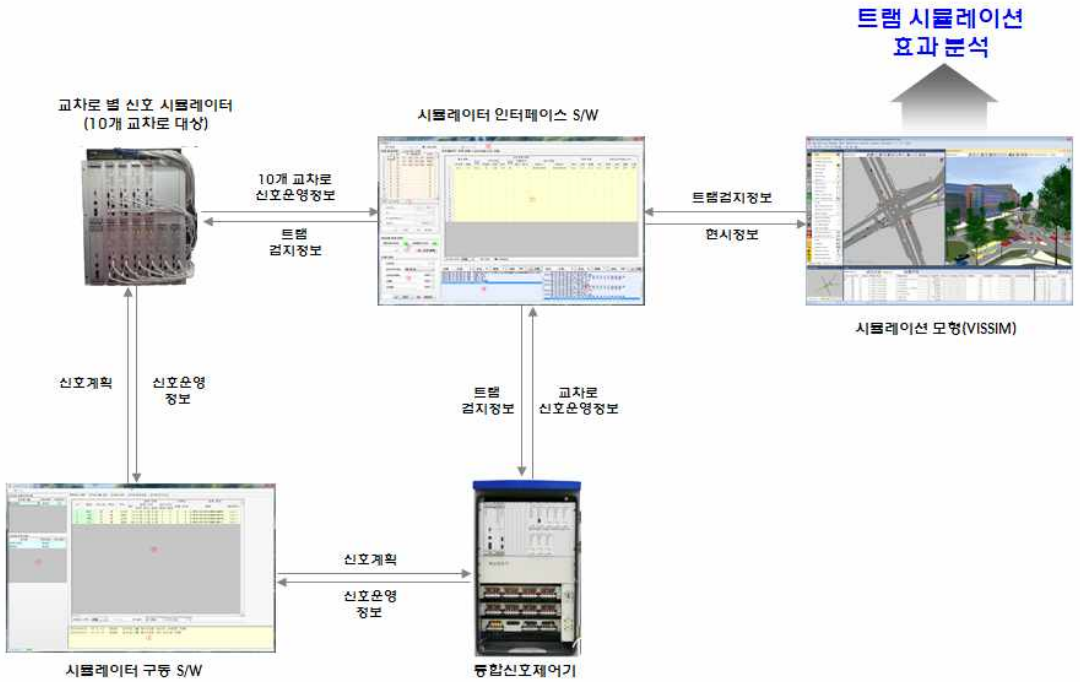
1) HILS 기반 트램 우선신호 시험/평가 환경 구축

○ HILS 기반의 트램 시험/평가 시스템은 위례 신도시 내 트램 노선을 대상으로 시험/평가 환경을 구축하였음



<그림 2-109> 통합신호제어기 및 신호제어기 시뮬레이터 구성

- ○ 해당 노선은 총 11개의 교차로를 포함하고 있고, 교차로 별로 신호제어기가 운영되어 트램 우선신호운영이 가능하도록 시험/평가 환경을 구축
- ○ 통합신호제어기가 1개의 교차로 신호운영을 담당하고, 나머지 10개의 교차로 신호운영을 위하여 별도의 신호제어 운영을 위한 시뮬레이터를 제작
- ○ 시뮬레이터는 각 교차로 별 신호 및 트램우선신호 운영을 위하여 CPU 모듈과 정보연계모듈을 한쌍으로 구성하여 운영
- ○ 시뮬레이터 구동 S/W에서 계획한 신호계획(운영방식, 주기, 등)은 해당 노선 내 운영중인 통합신호제어기(신호제어 시뮬레이터 포함) 제공되고, 해당 제어기는 현시 정보는 시뮬레이터 인터페이스 SW를 통하여 가공된 정보가 VISSIM으로 전송
- ○ VISSIM에서는 트램 검지 정보를 생성하여 반대로의 경로를 통하여 교차로 통합신호제어기로 전송하고, 각 신호제어기의 운영 상태를 시뮬레이터 구동 S/W를 통하여 모니터링 할 수 있도록 시스템을 구성하였음



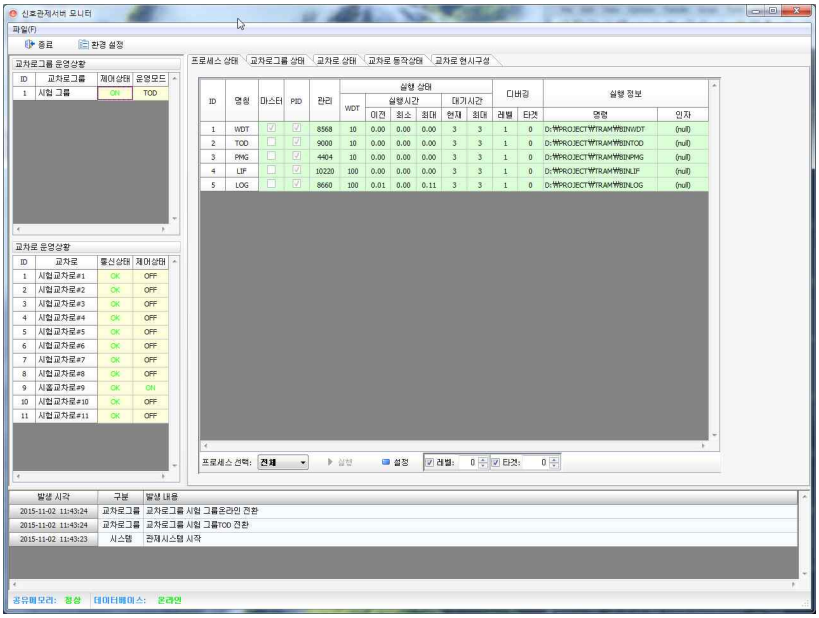
<그림 2-110> HILS 기반 트램 우선신호 시험/평가시스템 구성

2) HILS 기반 트램 우선신호 시뮬레이터 운영(실험)

- HILS 기반의 트램 우선신호 시뮬레이션 실험 환경을 구축하고, 개발된 시뮬레이터 구동 SW와 시뮬레이터 인터페이스 S/W를 통하여 원활한 실험이 진행되는지 확인
- 트램 우선신호알고리즘의 운영 결과에 대한 분석은 주관기관인 서울시립대학교에서 담당함

① 시뮬레이터 구동 S/W 운영(실험)

- 시뮬레이터 구동 SW는 교차로 그룹 및 교차로 운영상황 즉, 제어상태, 운영모드, 통신 상태를 확인할 수 있음. 또한 신호운영 이벤트 및 세부 정보를 확인할 수 있음



<그림 2-111> 시뮬레이터 구동 S/W 운영 화면 - Main 운영화면

○ 시뮬레이터 구동 S/W - 프로세스 구동 상태 확인

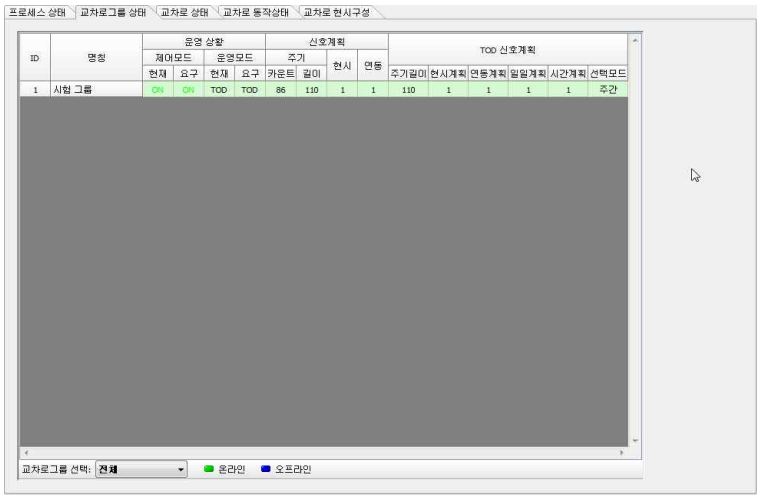
- 단위 프로세스 구동상태(PID, 실행 시간 및 디버깅 정보 등) 확인
- 프로세스 별 감시 정보 설정 확인



<그림 2-112> 프로세스 구동 상태 화면

○ 시뮬레이터 구동 S/W - 교차로그룹 신호운영 상태

- 교차로 그룹 별 신호운영 상태(운영상황, 운영 중인 신호계획 등) 확인
- 교차로 그룹 온/오프라인 제어 상태 확인



<그림 2-113> 교차로그룹 신호운영 화면

○ 시뮬레이터 구동 S/W - 교차로 신호운영상태

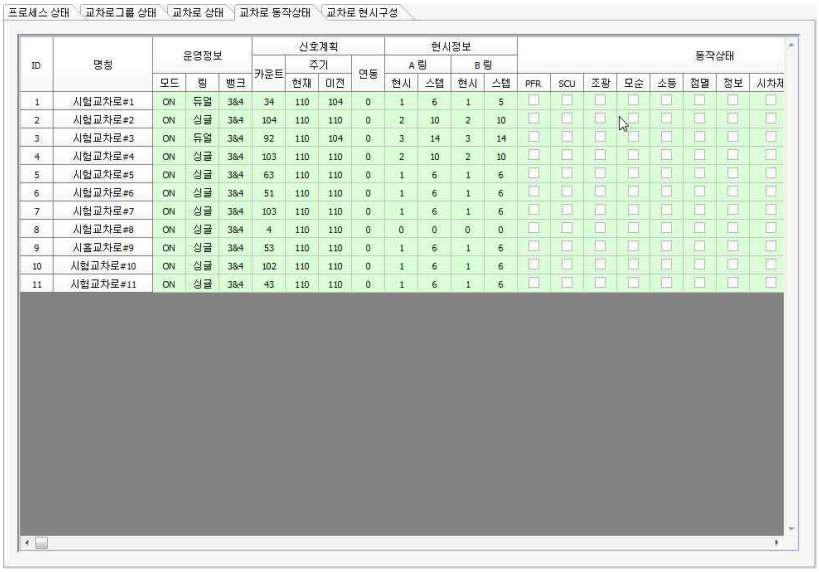
- 교차로 별 신호운영 상태(관리정보, 운영상황, 신호계획 등) 확인
- 교차로 온/오프라인 제어상태 확인



<그림 2-114> 교차로 신호운영상태 화면

○ 시뮬레이터 구동 S/W - 교차로 동작 상태

- 교차로 별 동작상태(세부 운영 정보) 확인

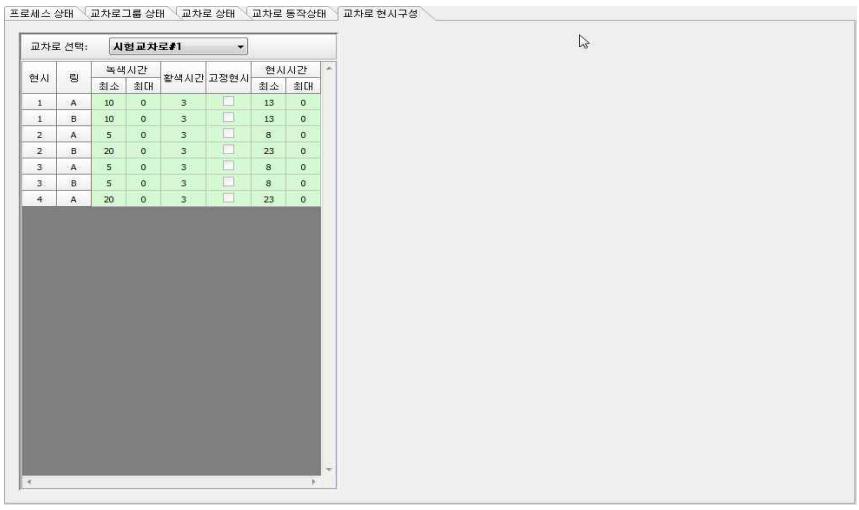


ID	명칭	운영정보			신호계획				현시정보				동작상태							
					카운트	주기		연동	A 링		B 링									
		모드	링	뱅크		현재	이전		현시	스텝	현시	스텝	PFR	SCU	조광	모순	소등	점멸	정보	시차제
1	시험교차로#1	ON	듀얼	3&4	34	110	104	0	1	6	1	5								
2	시험교차로#2	ON	싱글	3&4	104	110	110	0	2	10	2	10								
3	시험교차로#3	ON	듀얼	3&4	92	110	104	0	3	14	3	14								
4	시험교차로#4	ON	싱글	3&4	103	110	110	0	2	10	2	10								
5	시험교차로#5	ON	싱글	3&4	63	110	110	0	1	6	1	6								
6	시험교차로#6	ON	싱글	3&4	51	110	110	0	1	6	1	6								
7	시험교차로#7	ON	싱글	3&4	103	110	110	0	1	6	1	6								
8	시험교차로#8	ON	싱글	3&4	4	110	110	0	0	0	0	0								
9	시험교차로#9	ON	싱글	3&4	53	110	110	0	1	6	1	6								
10	시험교차로#10	ON	싱글	3&4	102	110	110	0	1	6	1	6								
11	시험교차로#11	ON	싱글	3&4	43	110	110	0	1	6	1	6								

<그림 2-115> 교차로 동작상태 화면

○ 시뮬레이터 구동 S/W - 교차로 현시구성 설정

- 교차로 현시구성 정보 조회 확인

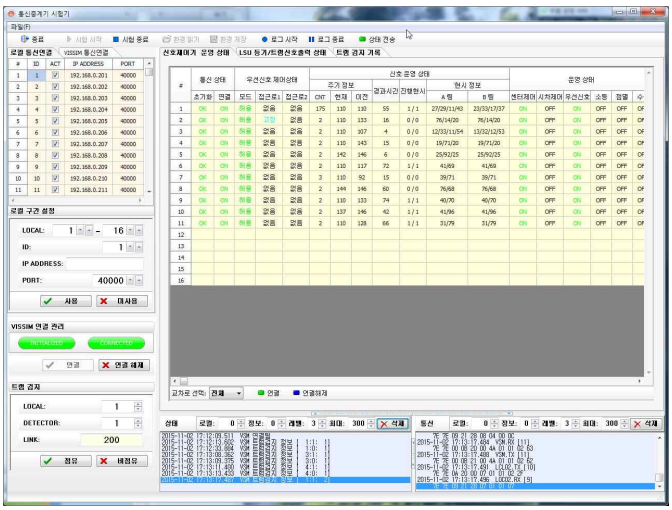


현시	링	녹색시간		황색시간	고정현시	현시시간	
		최소	최대			최소	최대
1	A	10	0	3		13	0
1	B	10	0	3		13	0
2	A	5	0	3		8	0
2	B	20	0	3		23	0
3	A	5	0	3		8	0
3	B	5	0	3		8	0
4	A	20	0	3		23	0

<그림 2-116> 교차로 현시구성 설정화면

② 시뮬레이터 인터페이스 S/W 운영(실험)

○ 시뮬레이터 인터페이스 S/W는 통합신호제어기와 시뮬레이터 모형(VISSIM) 간 정보의 연계를 지원하는 프로그램이고, 시뮬레이터 인터페이스 S/W에서는 신호제어기 운영상태, LSU 등기/트램신호출력 및 트램검지 기록을 확인



<그림 2-117> 시뮬레이터 인터페이스 S/W - 메인 운영 화면

○ 시뮬레이터 인터페이스 S/W - 신호기 운영상태

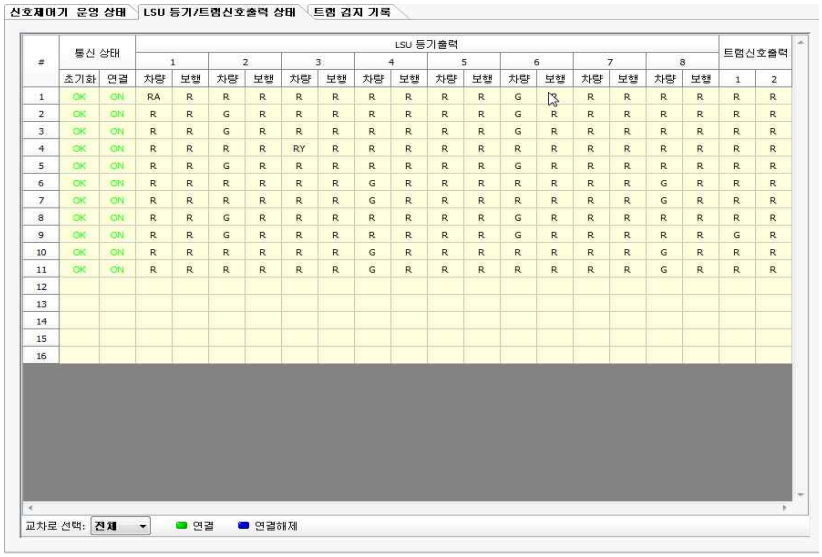
- 신호제어기 운영상태 확인
- 신호제어기 별 우선신호제어상태 확인
- 신호제어기 신호운영상태 및 특수동작상태 조회



<그림 2-118> 신호기 운영상태 화면

○ 시뮬레이터 인터페이스 S/W - LSU 등기/트램신호출력 상태

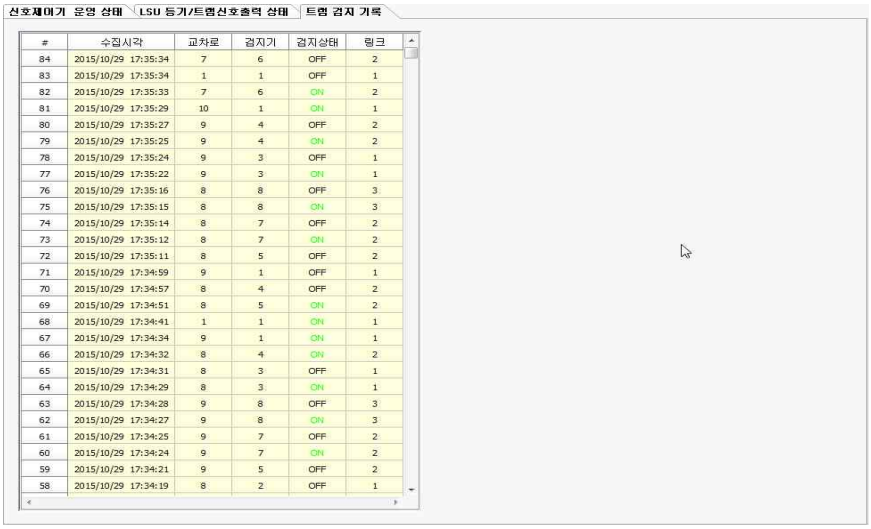
- LSU 통신상태 및 등기출력 상태와 정류장 내 트램신호출력 상태 확인



<그림 2-119> LSU 등기/트램신호출력상태 화면

○ 시뮬레이터 인터페이스 S/W - 트램검지기록

- 트램 검지 정보 조회 확인

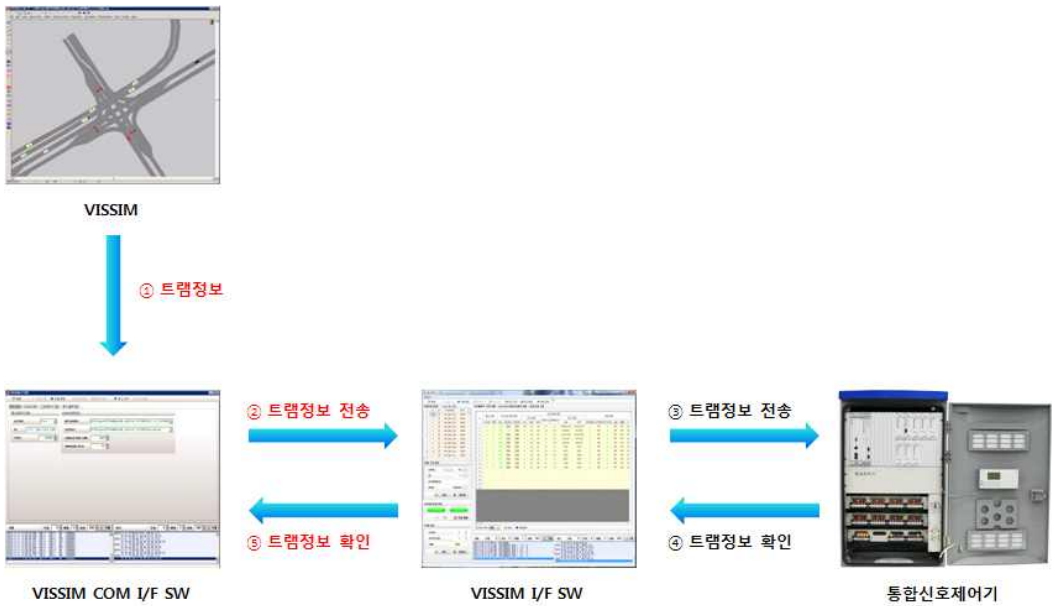


<그림 2-120> 트램검지기록 화면

3) 시뮬레이션 환경 기능 평가 수행

① 검지신호 생성 정확도 시험

- 검지신호 생성 정확도 시험은 VISSIM 모형에서 시뮬레이션 되는 트램차량이 우선신호가 수행중인 교차로나 건널목의 트램검지기를 통과할 때 수집되는 트램차량 검지정보가 통합신호제어기로 전송되는 비율을 검증시험
- 트램차량 검지정보 흐름도 그림에서와 같이 VISSIM COM I/F SW는 주기적으로 VISSIM 모형으로부터 트램차량의 검지여부를 확인. 수집된 트램차량 검지정보는 VISSIM I/F SW를 거쳐 해당 통합신호제어기로 전송되고, 통합신호제어기는 송신된 트램검지정보에 대한 확인 정보를 VISSIM I/F SW를 거쳐 VISSIM COM I/F SW로 전송
- 본 시험에서는 VISSIM에서 수집되는 트램검지 정보가 통합신호제어기에 전달되는 비율이 기준 비율인 90% 이상을 만족하는 지 검증



<그림 2-121> 트램차량 검지정보 흐름도

○ 검지정보 생성 정확도 시험 결과

- 검지정보 생성 정확도 시험 결과표에서 볼 수 있듯이 총 5 회의 시험 결과 검지정보의 누락이 발생하지 않고 모든 검지정보가 정상적으로 통합신호제어기로 전달되어 기준 성능인 90% 이상의 정확도를 만족하는 것으로 확인

<표 2-61> 시뮬레이터 인터페이스 모듈 Check List 항목

시험 횟수	시험 시각		검지 횟수	전송 횟수	정확도 (%)	비고
	시작	종료				
1	15/11/09 14:44	15/11/09 15:45	139	139	100	
2	15/11/10 11:27	15/11/10 12:28	133	133	100	
3	15/11/10 14:16	15/11/10 15:17	138	138	100	
4	15/11/10 15:35	15/11/10 16:36	133	133	100	
5	15/11/10 17:24	15/11/10 18:25	138	138	100	

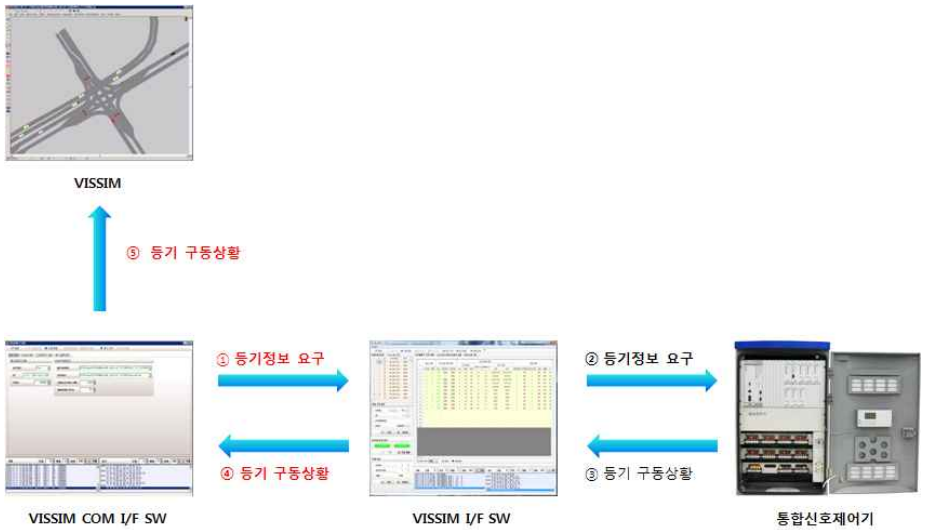
※ 상세한 시험 방법, 내용, 결과 Log는 “HILS 시뮬레이션 환경 분석실험 보고서” 참조

② 신호등 출력신호 검출, 전달 정확도 시험

○ 신호등 출력신호 검출, 전달 정확도 시험은 통합신호제어기에서 운영 중인 차량신호등 및 정류장 트램신호등의 출력제어 상황이 VISSIM 모형으로 적용되어 모형 내 차량신호등과 트램 정류장 신호등에 적용되어지는 비율을 확인하는 시험

○ 신호등 출력정보 흐름도 그림에서와 같이 VISSIM COM I/F SW는 주기적으로 VISSIM I/F SW를 통해 통합신호제어기로 등기출력정보 전송을 요구하고, 통합신호제어기는 등기정보 전송요구가 오면 현재 운영 중인 차량신호등과 정류장 트램신호등의 출력상황을 VISSIM I/F SW를 거쳐 VISSIM COM I/F SW로 전달

○ VISSIM COM I/F SW는 수신된 통합신호제어기의 등기 구동상황을 모형 내의 Signal Controller의 Signal Group 상태에 적용하여 모형 내 신호등 상황이 통합신호제어기의 상황과 일치하도록 함



<그림 2-122> 신호등 출력정보 흐름도

○ 본 시험에서는 통합신호제어기의 등기 구동상황이 VISSIM모형에 전달되어 적용되는 비율이 기준 비율인 90% 이상을 만족하는 지 검증

○ 신호등 출력신호 검출, 전달 정확도검지정보 생성 시험 결과

- VISSIM 네트워크의 1번 교차로에 대해 10분 씩 총 5회의 신호등 출력신호 검출, 전달 정확도 시험이 수행
- 시험 대상 교차로 현시 구성표와 교차로 구조도에서와 같이 1번 교차로는 사거리로 4 현시의 신호체계로 차량신호가 운영되고 있으며 동쪽 및 서쪽 접근로에 트램 정류장이 배치된다. 따라서 8개의 차량신호등과 2 개의 정류장 트램신호등이 시험 대상

<표 2-62> 시험 대상 교차로 현시 구성

ϕ	1	2	3	4
A	→	↓	↰	↓
	2	1	3	4
B	↱	←	↳	↑
	5	6	7	8

- 신호등 출력신호 검출, 전달 정확도 시험 결과표에서 볼 수 있듯이 총 5회의 시험 결과 매 초마다 신호등 구동상태 정보의 수집이 이루어졌으며 정상적으로 VISSIM 모형 내 차량 및 트램 신호등 상태에 적용되어 기준 성능인 90% 이상의 정확도를 만족하는 것으로 확인

<표 2-63> 신호등 출력신호 검출, 전달 시험 결과표

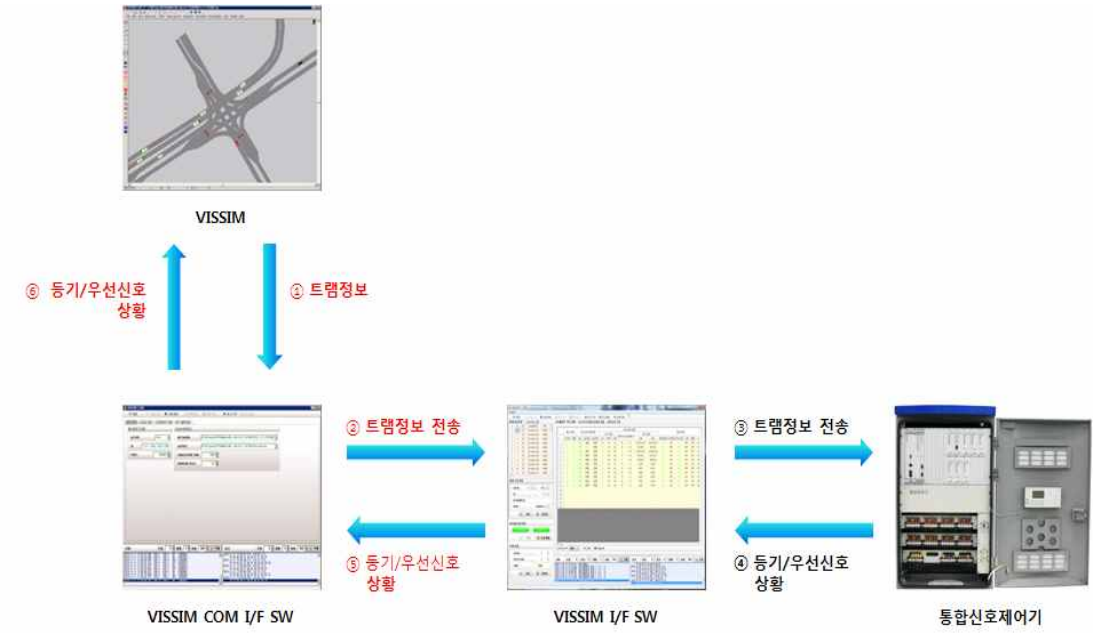
시험 횟수	시험 시각		요청 횟수	적용 횟수	정확도 (%)	비고
	시작	종료				
1	15/11/11 14:10	15/11/11 14:20	600	600	100	
2	15/11/11 14:43	15/11/11 14:53	600	600	100	
3	15/11/11 15:22	15/11/11 15:32	600	600	100	
4	15/11/11 15:52	15/11/11 16:02	600	600	100	
5	15/11/11 16:24	15/11/11 16:34	600	600	100	

③ 우선신호 알고리즘 적용 여부 판단 시험

○ 우선신호 알고리즘 적용여부 판단 시험은 VISSIM 모형에서 생성된 트램차량 검지정보에 대응하여 통합신호제어기에서 접근하는 트램차량에 대해 적절한 우선신호제어가 수행되는 지를 확인하는 시험

○ VISSIM 모형에서 검지된 트램차량정보는 VISSIM I/F SW를 통해 통합신호제어기로 전송되고, 통합신호제어기는 수신된 트램검지정보가 수신되면 우선신호 알고리즘을 적용하여 적합한 우선신호 방식을 결정, 해당 제어 내용을 VISSIM COM I/F SW로 전송한 후 계획된 제어 방식에 따라 교차로의 등기 제어를 수행

○ 본 시험에서는 HILS 평가시스템에서 우선신호제어에 관련된 정보의 흐름이 정상적으로 이루어지는지, 검지된 트램차량에 대해 수행되는 우선신호 알고리즘에 대해 시험자가 확인할 수 있는 방법을 지원하는 가를 검증



<그림 2-123> 우선신호제어 관련 정보 흐름도

○ 우선신호 알고리즘 적용 여부 판단 시험 결과

- VISSIM 네트워크의 1번 교차로에 대해 10분의 우선신호 알고리즘 적용 여부를 판단하는 실험을 수행하였고, 시험 과정 중 수집된 실행 기록과 VISSIM, VISSIM COM I/F SW의 운영 화면을 통해 적용 중인 트램차량 우선신호 적용 과정을 확인 할 수 있음이 판정

#	통신 상태		우선신호 제어상태			신호 운영 상태							
						주기 정보			경과시간	진행현시	현시 정보		
	초기화	연결	모드	접근로1	접근로2	CNT	현재	이전			A 링	B 링	센터제어
1	OK	ON	허용	없음	ERGN	154	138	159	73	2 / 2	18/40/40/39	18/40/40/39	ON
2	OK	OFF											
3	OK	OFF											
4	OK	OFF											
5	OK	OFF											

<그림 2-124> 우선신호 알고리즘 적용 화면

제5절 통합 신호운영전략의 평가 결과

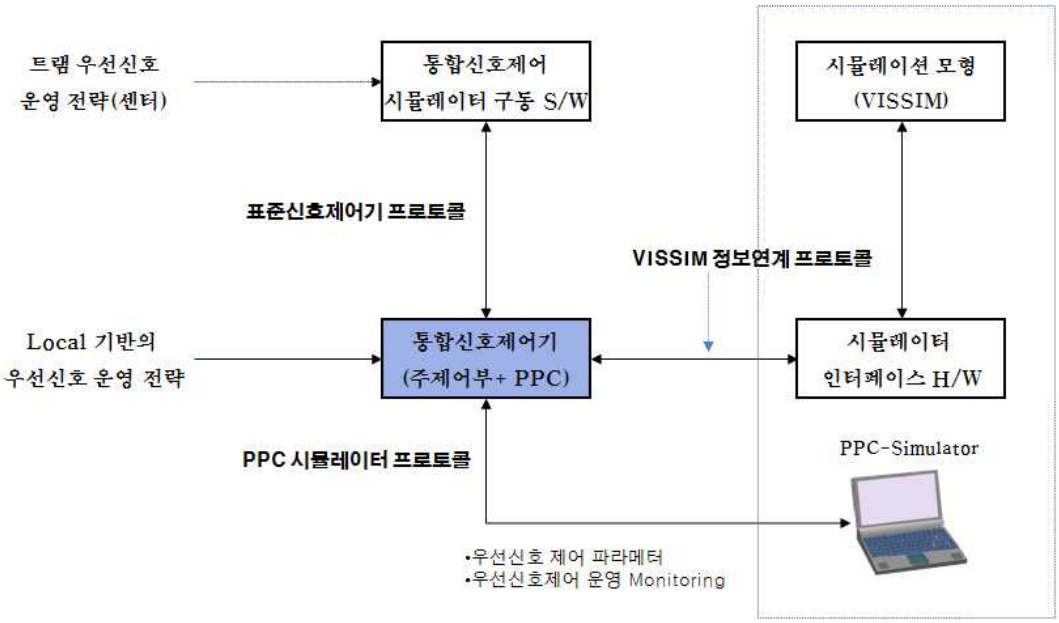
1. 시뮬레이션 분석 개요

○ 본 연구에서 개발된 통합 신호운영 전략과 통합 신호제어기의 성능을 평가하기 위해서 통합 신호운영 평가 시스템을 개발함

○ 통합 신호운영 평가 시스템은 PC 상의 VISSIM 모형의 COM Interface 모듈과 개발된 통합 신호제어기 간의 TCP/IP 통신을 통한 중계모듈과 연계를 통해 모의 현장환경 하의 실험평가를 수행함

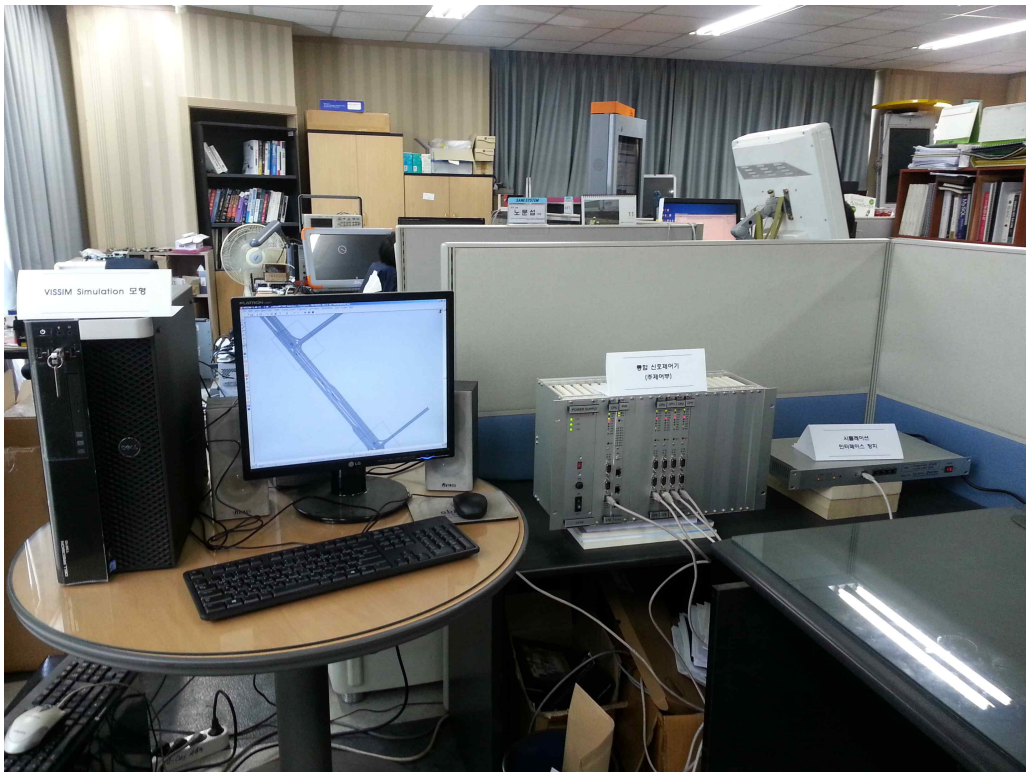
○ 평가 시스템은 총 4개의 모듈로 구성

- 신호운영 센터 시스템
- 통합 신호제어기
- 연계모듈
- PC 상의 시뮬레이션 모듈



<그림 2-125> 통합 신호운영 평가환경 구성

○ 신호운영 센터, 통합 신호제어기, 연계모듈, VISSIM 모형을 통한 현장시스템 환경은 실제 현장시스템과 동일하게 객체간의 교환정보를 사전에 정의하고, 센터의 명령과 통합 신호제어와 VISSIM 모형간의 연계를 통해 모의실험 환경을 구축함



<그림 2-126> 시뮬레이션 평가 환경

2. 시뮬레이션 계획 설계

가. 시뮬레이션 분석 대상 구간 정의

○ 본 연구의 트램 신호제어 전략을 평가하기 위한 실험대상 지역으로 현재 트램 시스템 설계가 진행 중인 경기도 성남시 위례신도시 트램 계획구간에 대해서 효과분석을 수행

○ 효과분석 대상구간은 국토교통부 광역교통개선대책계획 반영 노선인 위례

선(신도시 내부 트램)을 대상으로 하고, 대상구간의 북쪽은 서울 지하철 5호선 마천역, 남쪽은 8호선 복정역과 환승역으로 연결됨

○ 본 연구는 9개의 트램 정류장(역)을 포함하는 총 연장 5km 구간에 대해서 분석을 수행함

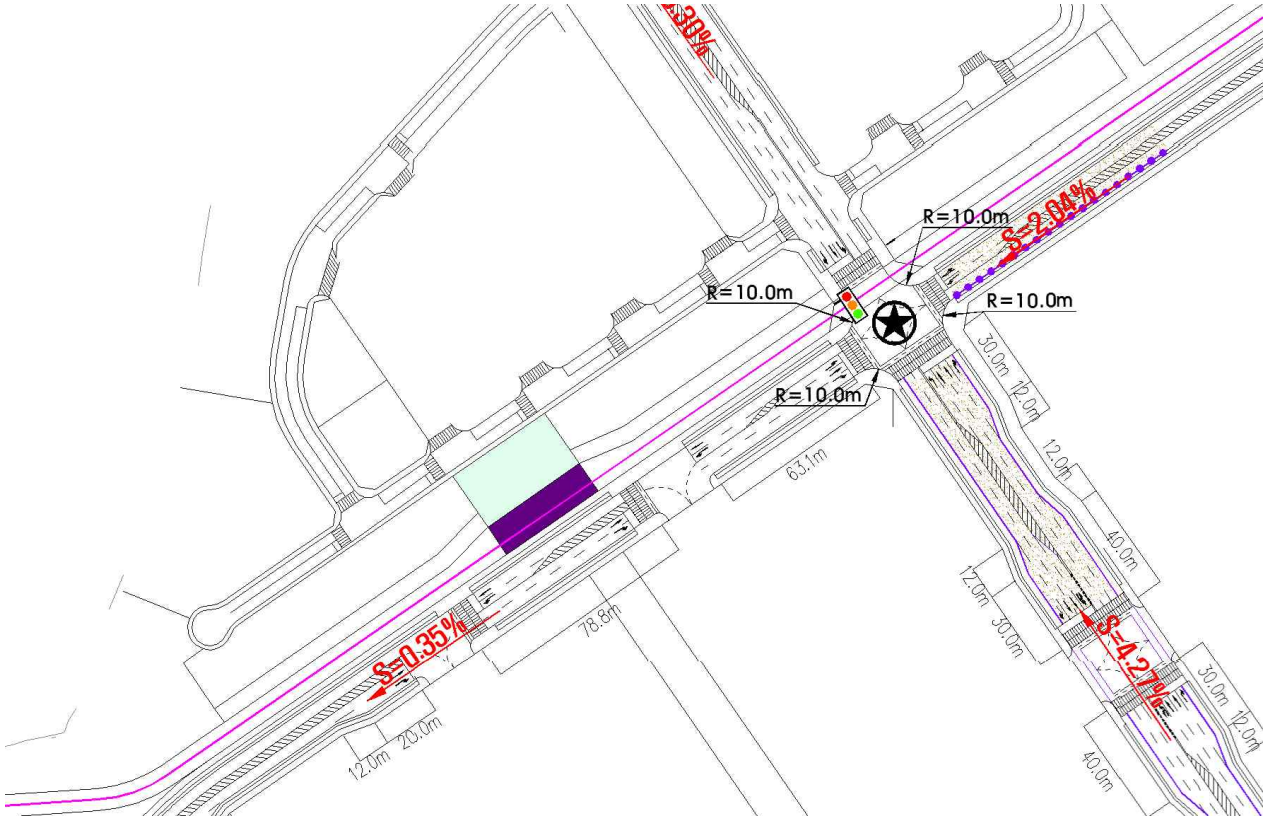
- 5개의 신호교차로(4지교차로 2개, 3지교차로 3개)
- 6개의 트램 건널목이 포함된 11개 교차로



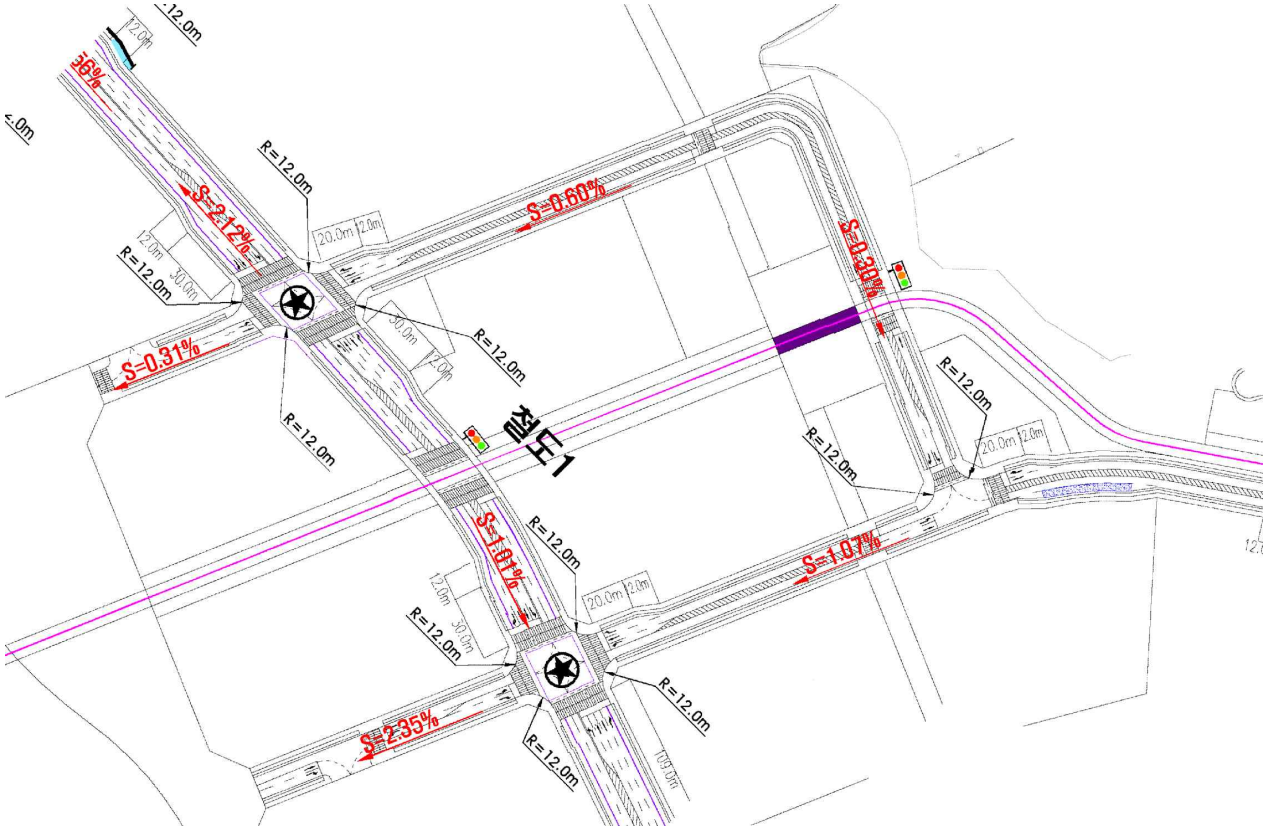
<그림 2-127> 효과분석 대상구간의 위치(위례시)



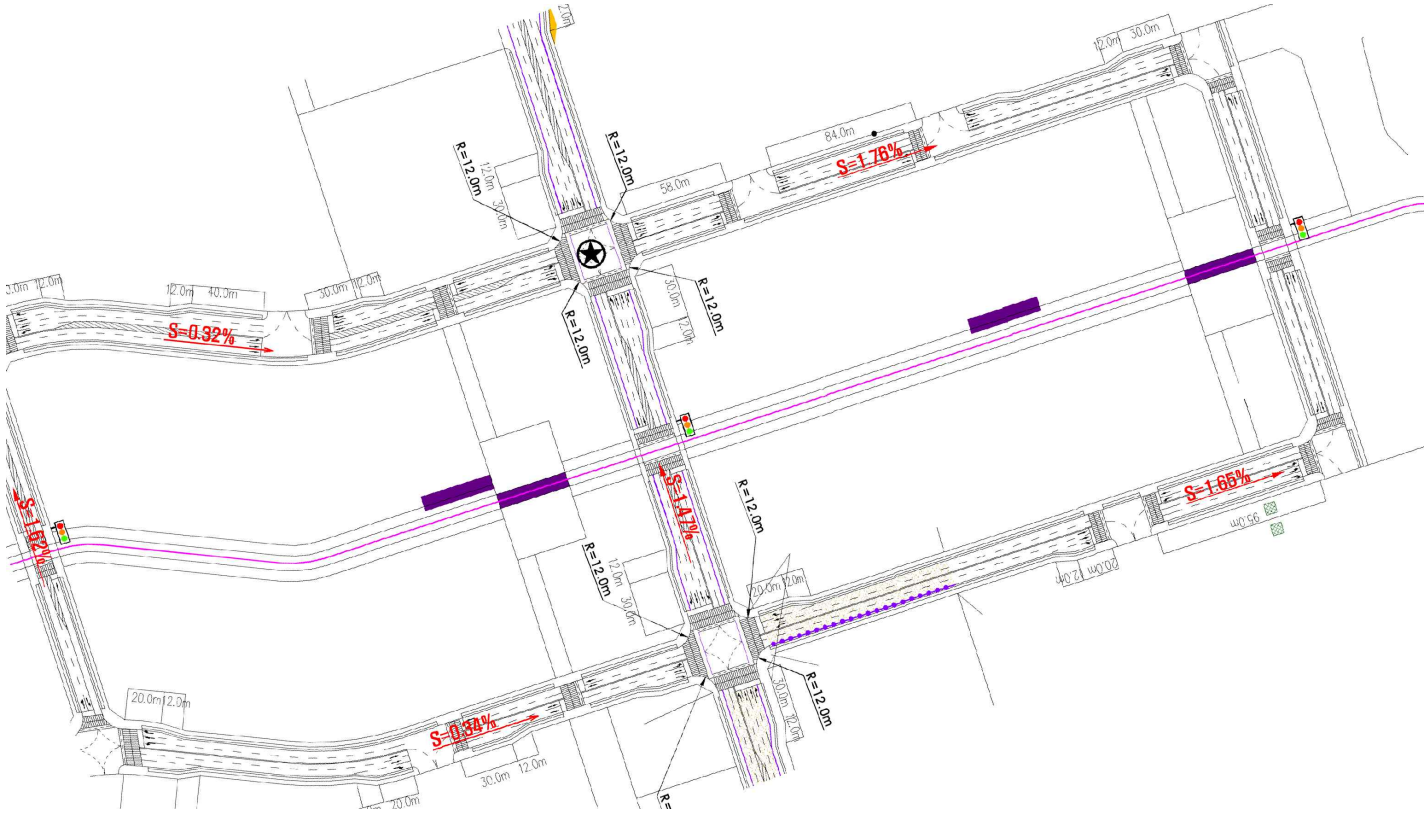
<그림 2-128> 효과분석 대상구간의 기하구조_SA1 (교차로 1~2)



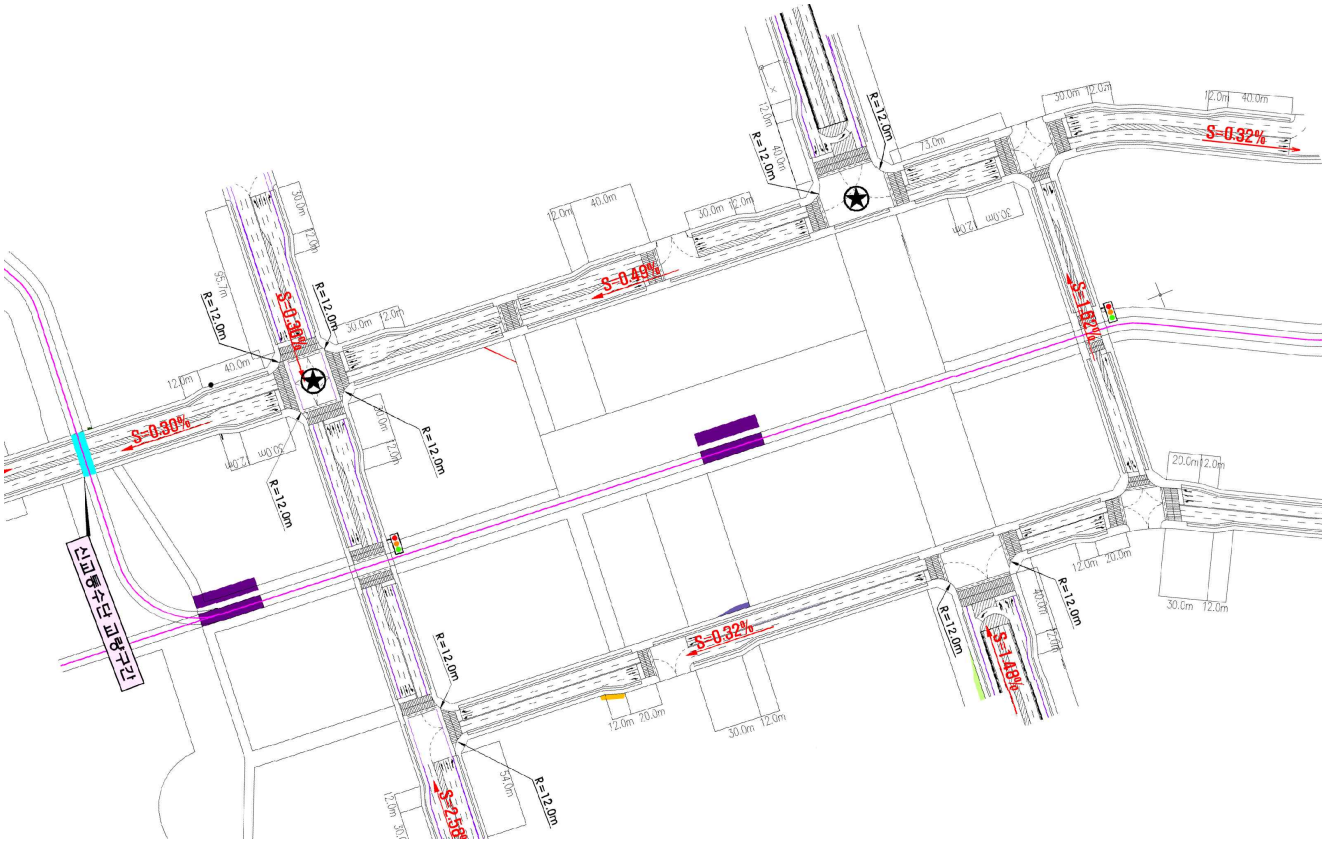
<그림 2-129> 효과분석 대상구간의 기하구조_SA1 (교차로 3~5)



<그림 2-130> 효과분석 대상구간의 기하구조_SA2 (교차로 6~7)



<그림 2-131> 효과분석 대상구간의 기하구조_SA2 (교차로 8~9)



<그림 2-132> 효과분석 대상구간의 기하구조_SA2 (교차로 10~11)

나. 시뮬레이션 평가조건 정의

- ○ 시뮬레이션 분석을 위한 도구는 VISSIM 모형과 우선신호 제어 알고리즘을 구현하기 위해 본 연구에서 개발한 통합 신호운영 평가 시스템 (HILS)을 사용함
- ○ 평가 시나리오별로 VISSIM 모형의 랜덤시드를 달리하여 각 10회씩 반복하여 평가를 수행
- ○ 분석 대상구간은 아직 미 개통된 도로이므로 예측 교통량을 바탕으로 Passer-Ⅱ 모형과 TRANSYT-7F 모형을 이용해 신호시간계획을 수립하고, 이를 평가에 적용함
- ○ 트램과 일반차량을 동시에 처리하는 신호교차로로 구성된 자동차와 트램의 혼용구간(SA1)과 주방향에는 트램 전용차로가 운영되고, 전용차로가 일반차로와 교차하는 구간(SA2)으로 제어단위를 분리
- ○ HILS를 통한 능동식 우선신호 제어의 경우, 정류장 검지기(정류장이 없는 경우는 진입차량 검지기), 정지선 검지기, 진출차량 검지기를 통해 트램의 위치 또는 출발시간 정보를 수집하여 통합 신호제어기로 전송함
- ○ ‘위례지구 택지개발사업 교통영향분석·개선대책(LH)’의 장래 수요 예측 교통량과 교통량비(V/C RATIO)에 따른 시뮬레이션 수행
- ○ ‘위례지구 택지개발사업 교통영향분석·개선대책(LH)’의 기본계획 및 첨두/비첨두 교통상황에 따른 트램 배차간격 별 시뮬레이션 계획 수립
- ○ 트램의 주행속도는 연동속도를 45(km/h)로 가정하였고, 자유속도는 60(km/h)로 가정하였고, 일반차량은 계획도로의 제한속도를 감안하여 80(km/h)를 적용함
- ○ 시뮬레이션에서 트램의 연동에 가장 큰 영향을 미치는 정류장 정차시간은 7초부터 23초까지 정규분포를 따르도록 하였고, 15초를 표본평균으로 가정하였으며, 최소정차시간을 7초로 정의함

<표 2-64> 시뮬레이션 평가조건

적용조건		적용내용	비고
트램	연동폭 크기	15초	트램의 최소 연동폭
	주행속도	60 (45) km/h	자유속도 (연동속도)
	정차시간	15초(±7.5초)	정규분포를 따름
	배차간격	3분, 5분, 10분	계획 배차간격은 5분
일반차량	주행속도	80km/h	자유속도
	교통량	예측 교통량, V/C 별 교통량	2019년 수요 예측

다. 평가 시나리오

1) 신호 최적화 전략에 따른 효과분석 시나리오

○ 해당 분석 구간의 신호운영 목적에 따라 신호시간계획의 신호 최적화 전략을 다르게 수립해야 하고 시뮬레이션 결과를 분석할 필요가 있으며, 이에 따라 총 4가지 시나리오로 구분할 수 있음
- 일반차량 기준의 신호최적화 수행
- 트램 차량 기준의 신호최적화 수행
- Progression Control 전략을 적용하여 신호최적화 수행
- 통합 신호제어 전략을 적용하여 신호최적화 수행

○ 첫 번째, 일반차량을 기준으로 하는 신호최적화의 경우에는 일반차량의 연동 최대 및 지체 최소화를 위해 링크 통행속도를 일반차량의 자유속도(80kph)로 입력하여 PASSER-II 프로그램을 이용하여 주방향의 연동폭을 최대화 함

○ 두 번째, 트램을 기준으로 하는 신호최적화의 경우, PASSER-II 프로그램을 이용하여 트램의 연동폭 최대 확보를 목표로 하고, 트램의 링크 통행 속도(자유속도)에 트램의 평균 정류장 정차시간(15초)을 반영하여 연동폭을 최대화 함

○ 세 번째 Progression Control을 적용한 신호최적화의 경우에는 PASSER-II

프로그램을 이용하여 트램의 최소 연동폭(15초)을 확보하고, TRANSYT-7F로 여유녹색시간을 활용한 일반차량의 지체 최소화 수행

○ 네 번째 통합 신호제어 전략에서는 고정식 우선신호(Progression Control)에서 HILS를 통한 능동식 우신신호 알고리즘(Green Extension, Early Green, Phase Insertion 기법) 추가하여 신호제어 수행

<표 2-65> 신호전략에 따른 효과분석 시나리오

구분	적용내용	비고
S0	일반차량 기준 신호 최적화	일반차량을 기준으로 Passer-II모형을 이용하여 일반차량의 연동폭 최대화
S1	트램 기준 Passer-II 최적화	트램 차량을 기준으로 Passer-II모형을 이용하여 트램의 연동폭 최대화
S2	Progression Control 전략	Progression Control 전략 적용하여 고정식 우선신호 수행
S3	통합 신호제어 전략	통합 신호제어 전략 적용하여 고정식 우선신호와 능동식 우선신호 수행

2) 교통량별 테스트 계획 수립

○ '위례지구 택지개발사업 교통영향분석·개선대책(LH)'의 사업시행 시 2019년 예측 내부 교차로 교통량(첨두시간 기준)을 기준으로 함

○ 분석 대상구간의 도로용량 대비 교통량비(V/C)가 비포화, 근포화, 과포화 상황에서의 V/C가 0.3, 0.6, 0.9를 가정하여 테스트 수행

<표 2-66> 교통량 수준에 따른 효과분석 시나리오

신호전략	적용내용	비고
S0 (일반차량 기준)	V/C=0.3, 0.6, 0.9와 장래 첨두시 예측 통행량 적용	트램 배차간격 3, 5, 10분 적용
S1 (트램차량 기준)	V/C=0.3, 0.6, 0.9와 장래 첨두시 예측 통행량 적용	트램 배차간격 3, 5, 10분 적용
S2 (Progression control)	V/C=0.3, 0.6, 0.9와 장래 첨두시 예측 통행량 적용	트램 배차간격 3, 5, 10분 적용
S3 (통합신호제어)	V/C=0.3, 0.6, 0.9와 장래 첨두시 예측 통행량 적용	트램 배차간격 3, 5, 10분 적용

3) 트램 배차간격별 테스트 계획

○ 통합 신호제어전략을 적용한 S3에 대해서 배차간격에 따른 효과척도의 변화를 측정

○ 트램의 계획 배차간격 5분, 첨두 상황을 고려한 3분, 비첨두 상황을 고려한 10분에 대해서 시뮬레이션을 수행

<표 2-67> 트램 배차간격에 따른 효과분석 시나리오

배차간격 / 교통량	적용내용	비고
3분	V/C=0.3, 0.6, 0.9와 장래 첨두시 예측 통행량의 조건에서 배차간격 3분 적용	통합신호제어 전략 적용
5분	V/C=0.3, 0.6, 0.9와 장래 첨두시 예측 통행량의 조건에서 배차간격 5분 적용	통합신호제어 전략 적용
10분	V/C=0.3, 0.6, 0.9와 장래 첨두시 예측 통행량의 조건에서 배차간격 10분 적용	통합신호제어 전략 적용

라. 효과척도 선정

○ 신호제어 전략 변화에 따른 트램과 일반차량의 영향을 분석하기 위해서 각각의 특성을 나타내는 효과척도와 두 대상을 함께 평가하기 위한 MOE를 선정하여 분석에 적용함

○ 특히 트램, 일반차량 각각의 효과분석 결과뿐 만 아니라, 트램과 일반차량을 동시에 고려한 효과척도도 확인해야 함

○ 일반차량은 SA2의 가로축을(트램 전용차로) 통과하지 않기 때문에 SA1에 대해서만 효과척도를 확인함

○ 트램은 SA1과 SA2 모두를 전용차로로 운행하기 때문에 두 제어구간 전체에서 분석을 수행함

○ 트램의 효과척도는 노선 전 구간 및 SA1에 대해 정지수(회/대), 통행시간(초/대), 제어지체(초/대), 교차로 평균 녹색시간 도착비율(%) 확인

○ 일반차량의 효과척도는 SA1(주방향)에 대해 통행시간(초/대), 제어지체(초/대), 연료소모량(gal/대), 대기오염물질 배출량(g/대) 확인

○ 일반차량의 신호제어전략에 따른 영향을 분석하기 위해서는 가장 일반적인 교차로 교차로의 성능평가 항목인 평균제어지체(초/대)를 효과척도로 적용하였으며, 중앙 트램 전용차로의 트램현시와 동시에 제어되는 주방향의 직진현시와 트램 우선신호 제어 시에 영향을 받는 비우선현시들을 구분하여 효과척도를 산출함

○ 트램차량과 일반차량의 효과를 동시에 평가하기 위해서 교차로 평균 사람당 제어지체(초/인)와 시간당 최대 승객 수송용량(인/시)을 산출하여 신호제어 효과를 검증함

○ 또한 통합 신호제어 전략에서 교차로를 무정차로 통과하거나 정류장에서 정차시간을 줄이기 위해 얼마나 능동식 우선신호 제어를 수행했는지 분석하기 위해 능동식 우선신호 제어횟수(회/시간)를 산출함

○ 트램의 평균통행시간은 트램차량에 대한 트램 우선신호 제어전략의 영향을 평가하기 위한 주요 효과척도이며, 분석 대상구간의 첫 번째 교차로부터 마지막 교차로의 진출링크까지 통행하는 모든 트램차량에 대해 측정. (평균통행시간은 트램의 교차로 정지와 정류장 정차의 모든 시간들을 포함)

○ 트램의 녹색시간 도착비율은 트램 우선신호가 얼마나 적절하게 적용되었는지를 판단하기 위해서 측정

- 트램차량이 교차로의 녹색시간 동안에 얼마나 도착했는지는 Progression Control 전략에서 트램의 연동폭이 확보되었는지, Tram-Stop Signal Control 에서 전략에서 얼마나 적절하게 트램의 정류장 정차시간을 제어했는지, Tram Priority Control 전략에서 트램차량에 추가적인 녹색시간을 적절하게 제공했는지 판단하는 중요한 지표로 활용

- 녹색시간 도착비율은 우선현시 동안에 교차로에 도착한 트램차량과 시뮬레이션 시간동안 발생한 모든 트램차량과의 비율로써 계산

○ 트램의 정지수는 본 연구의 주요 목표인 트램의 무정차 통해 달성도를 확인하기 위한 지표이고, 트램이 정류장 정차를 제외한 모든 링크와 교차로 상에서 속도가 0 (km/h)인 상황을 체크

○ 주방향 평균제어지체는 우선현시를 통행하는 주방향의 교차로로 진입하는

모든 일반차량과 트램차량이 경험하는 지체의 총량을 총 차량수로 나누어 계산

- 본 연구의 중요 목표중 하나인 일반차량의 지체감소 측면에서 트램 우선신호가 일반차량에 미치는 영향을 분석하고, 신호제어 전략의 효과를 평가하기 위해서 측정

- 주방향과 교차되는 접근로와 주방향 좌회전차로를 포함하는 비우선현시의 평균제어지체도 트램 우선신호 전략을 평가하는데 중요한 요소가 되므로 비우선현시 지체의 증감을 분석함

○ 교차로 평균 사람당 제어지체는 차량의 재차인원을 이용하여 교차로를 통과하는 모든 차량의 사람당 지체변화를 확인

○ 사람당 제어지체를 산출하는데 사용되는 일반차량의 재차인원은 교통사업의 예비타당성 조사지침의 부산울산광역권 승용차 재차인원인 1.360명을 적용하고 (한국개발연구원, 2008), 트램의 재차인원은 기존연구의 트램 승객정원 최소치인 110명을 적용하여 계산함

○ 시간당 최대 승객 수송용량은 트램의 배차간격 및 일반차량의 교통량이 변화함에 따라 적용된 신호제어 전략이 승객의 수송용량에 미치는 영향을 알아보기 위해 분석을 수행함

- 시간당 최대 승객 수송용량을 계산하기 위해서 승용차의 재차인원은 ‘2005년 서울시 교통지표 산출’ (서울시정개발연구원, 2006) 자료를 기반으로 승용차의 평균재차인원인 12.95(명/대)을 적용

- 트램의 재차인원은 ‘서울특별시 10개년 도시철도 기본계획에 대한 종합발전방안’(서울특별시, 2008) 내용을 기반으로 트램의 계획 승차인원 (좌석 13명, 입석 60명)을 가정하여 73(명/대)을 적용

- 시간당 최대 승객 수송용량의 계산에 사용되는 트램과 일반차량의 교통량은 트램의 배차간격에 따른 시간당 트램 운행횟수와 시뮬레이션 구간 주방향 전체 통과교통량을 산출하여 적용

○ 능동식 우선신호 제어횟수는 HILS 장치의 프로그램의 입력정보인 트램검지기 생성정보 중, 우선신호 트리거용 정류장 검지기 정보를 추출하여 검

지정보의 수집 시 우선신호 제어 알고리즘의 수행횟수를 측정하여 수행여부를 판단함

<표 2-68> 효과척도 선정 결과

적용대상	효과척도	단위
트램	가로축 평균 통행시간	초/대
	가로축 평균 제어지체	초/대
	가로축 평균 정지수	회/대
	가로축 평균 녹색시간 도착비율	%
	능동식 우선신호 제어횟수	회/시간
일반차량	주방향의 교차로 평균 통행시간	초/대
	주방향의 교차로 평균 제어지체	초/대
	주방향의 교차로 평균 연료소모량	gal/대
	주방향의 교차로 평균 오염물질 배출량	g/대
	네트워크 평균 차량당 제어지체	초/대
트램+일반차량	교차로 평균 사람당 제어지체	초/인
	시간당 최대 승객 수송용량	인/시

마. 신호시간 계획 수립

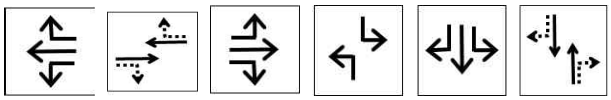
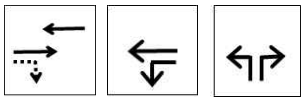
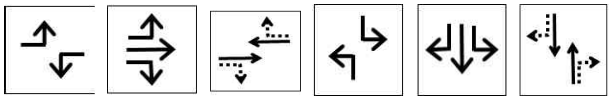
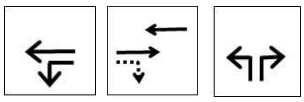
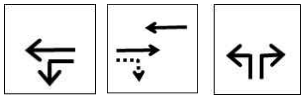
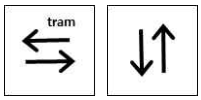
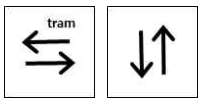
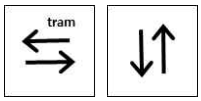
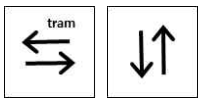
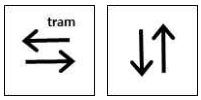
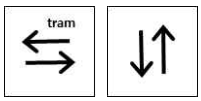
○ 시나리오별로 PASSER-Ⅱ, PASSER-Ⅱ + T-7F의 최적화 결과를 바탕으로 최적 신호시간 계획을 수립

○ 교통량별 시나리오 변동에 따른 신호계획의 현시순서에는 변화가 없으며, 현시별 현시길이만 변화

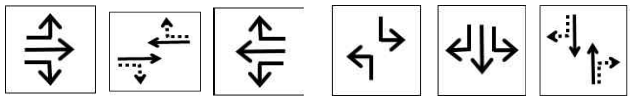
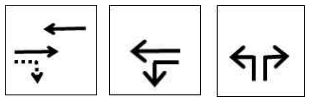
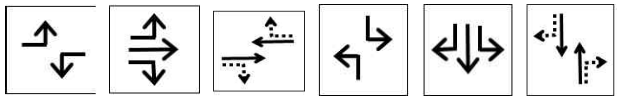
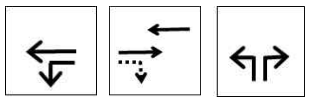
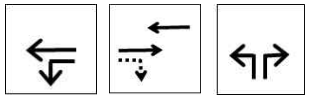
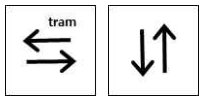
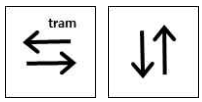
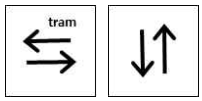
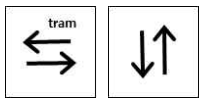
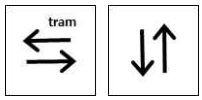
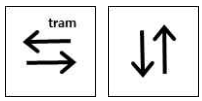
<표 2-69> 시나리오별 신호계획

신호제어 전략	적용 내용	비고
S0	PASSER-II 모형을 이용한 일반차량의 연동폭 최대화 신호계획	일반차량 기준
S1	PASSER-II 모형을 이용한 트램차량의 연동폭 최대화 신호계획	트램차량 기준
S2	PASSER-II 모형 + T-7F 모형을 이용한 트램차량과 일반차량의 연동폭 최대화 신호계획	통합 신호제어
S3		

<표 2-70> 일반차량 기준 (S0) 최적화 신호계획 현시순서

제어단위	교차로 순번 (마천역1~복정역11)	현시순서
SA1 (주기 110s)	1 (4지 교차로)	
	2 (3지 교차로)	
	3 (4지 교차로)	
	4 (3지 교차로)	
	5 (3지 교차로)	
SA2 (주기 110s)	6 (건널목)	
	7 (건널목)	
	8 (건널목)	
	9 (건널목)	
	10 (건널목)	
	11 (건널목)	

<표 2-71> 트램차량 기준 (S1, S2, S3) 최적화 신호계획 현시순서

제어단위	교차로 순번 (마천역1~복정역11)	현시순서
SA1 (주기 110s)	1 (4지 교차로)	
	2 (3지 교차로)	
	3 (4지 교차로)	
	4 (3지 교차로)	
	5 (3지 교차로)	
SA2 (주기 110s)	6 (건널목)	
	7 (건널목)	
	8 (건널목)	
	9 (건널목)	
	10 (건널목)	
	11 (건널목)	

바. 분석결과의 통계분석

- ○ 시나리오 별로 분석한 결과의 통계적 유의성을 검증하기 위해서 각각의 효과척도 별로 통계분석을 수행
- ○ 효과척도 별 시뮬레이션 분석 결과에서 각 신호제어 전략의 평균값이 나타내는 통계적 유의성을 확인하기 위해서 분산분석(ANOVA Test)을 수행하여 신호제어 전략의 개선효과를 검증
- ○ 효과평가 결과의 평균값이 차이가 유의한가에 대한 가설검증을 위해 다수의 모집단이 동일한 분포를 가지는가를 확인하기 위한 일원배치 분산분석(One-Way ANOVA)을 수행
  - 일원배치 분산분석은 두 집단 이상의 평균을 비교하는 통계분석방법으로, 각 모집단은 정규분포를 이루며, 분산이 동일하다는 가정이 필요함
  - 일원배치 분산분석을 통해 여러 집단의 평균이 동일한가의 확인과 사후검정을 통한 개별집단 간 평균의 차이를 알 수 있음
  본 연구에서는 이러한 사후분석의 방법으로 여러 집단별로 사례수가 같을 때 주로 적용하는 Tukey 방법을 적용함
- ○ 분산분석의 귀무가설은 다음과 같음
  - H0 : 두 집단의 효과척도 평균은 같다.
  - H1 : 두 집단의 효과척도 평균은 같지 않다.
- ○ 시뮬레이션 결과값의 평균, 표준편차, 분산 등의 기초통계량을 확인하였고, 변동계수(Coefficient of variation)를 확인하여 각 집단의 산포도를 확인함

3. 시뮬레이션 결과 분석

- ○ 본 연구의 최종 산출물인 통합 신호제어기와 통합 신호제어 시뮬레이터(HILS)를 이용하여 현장환경과 유사하게 평가환경을 구축한 후, 다양한 시험환경에 대한 자체 테스트를 수행하여 목표 성능을 분석함
- ○ 신호전략별 4개(S0, S1, S2, S3) 교통량별 4개(V/C=03, 0.6, 0.9, 장래 예측교통량), 트램의 배차간격별 3개(3분, 5분, 10분)의 총 48개 시나리오에 대해

VISSIM 5.40(OFF-LINE)과 HILS(ON-LINE)를 이용한 시뮬레이션 실험을 수행하여 산출된 효과척도를 분석함

○ 통합 우선신호제어 시나리오(S3)의 경우, COM-Interface를 통해 OFF-LINE의 VISSIM 모형(네트워크, 교통 상황)과 ON-LINE의 통합 신호제어 시스템을 연결하여 시뮬레이션 모형 상의 교통상황을 센터 신호제어기로 실시간 제어하는 실험을 할 수 있도록 함

가. Progression Control 전략의 신호 최적화 수행 결과

○ Passer-II와 T-7F를 통해 트램의 연동을 확보하는 신호시간 최적화 과정을 수행함

○ 트램의 연동속도는 트램이 정류장마다 15초씩 의무정차할 때 걸리는 정차시간을 포함하고, 그 연동속도를 기준으로 연동폭을 확보

$$\text{트램 연동속도} = \frac{\text{링크거리}}{\text{자유통행시간} + 15\text{초(정류장 정차시간)}}$$

○ 일반적인 간선도로 신호최적화 방법으로 S0 전략에 대해서 일반차량을 기준으로 신호최적화를 수행했을 때, 트램의 연동폭을 거의 확보할 수 없음 (<그림 2-133>)

○ 트램의 연동폭을 확보하기 위해서 PASSER-II 모형을 이용해 트램 연동폭을 최대로 확보하는 전략(S1)과 트램의 최소 연동폭을 15초로 고정시키고, 그로인해 얻어지는 여유녹색시간을 T-7F 모형을 이용해 일반차량의 지체를 최소화하는 전략 (S2)을 수행함

○ S2에서는 S1에 비해 트램의 연동폭을 15초까지 최소한으로 줄인 대신에, 나머지 여유녹색시간을 활용하여 일반차량의 연동폭을 최대한 확보하기 위해 옵셋을 조정할 수 있음

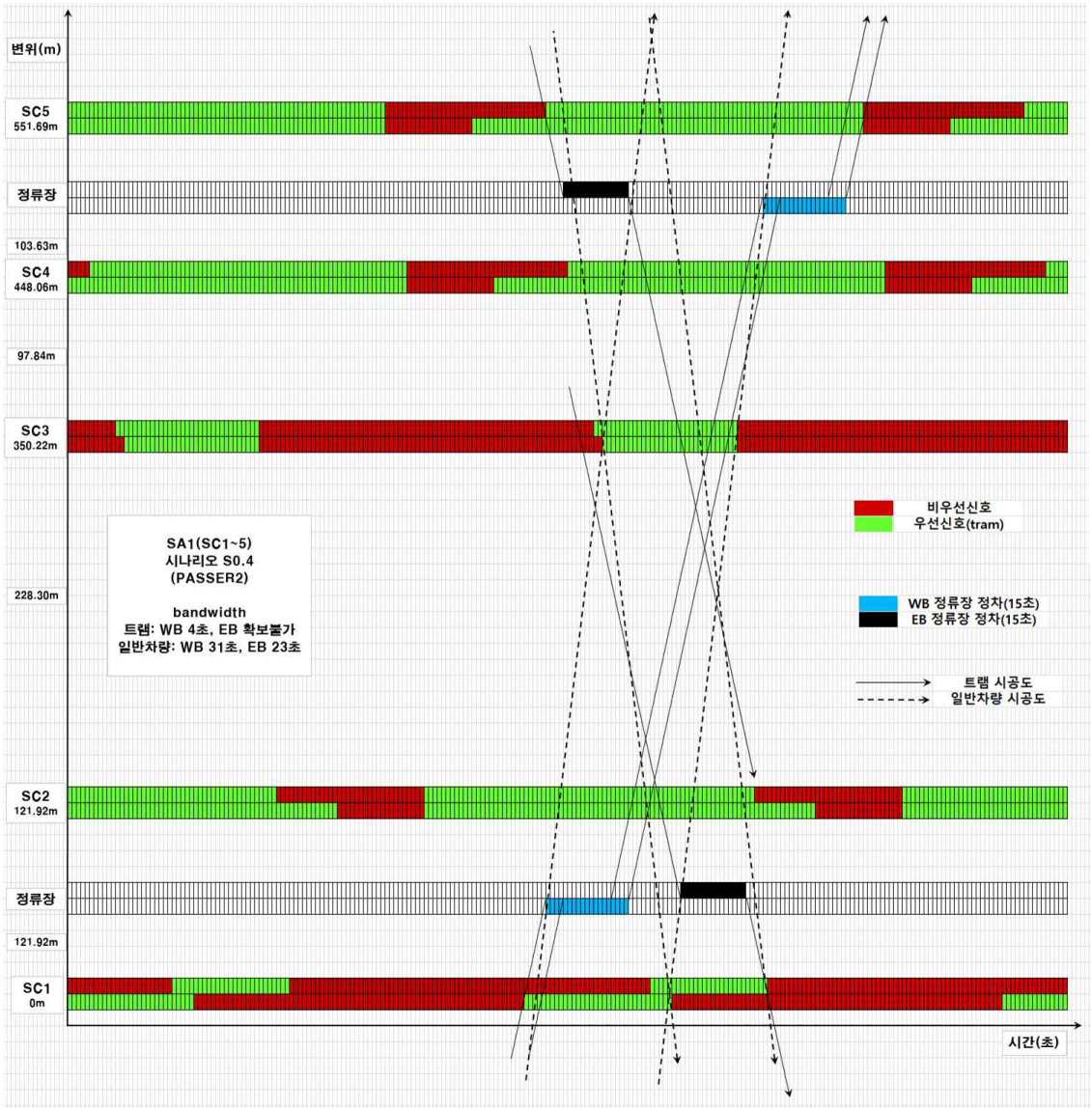
○ SA1(교차로 1~5) 구간에서 S1전략의 신호최적화는 V/C = 0.3, 0.6, 0.9의 조건에서 각각 <그림 2-133>과 같은 결과를 나타냄

- 트램 연동폭을 WB 31초, EB 25초 확보할 수 있음
- 일반차량은 교차로 1~5 전 구간에 대한 연동폭 확보가 불가능하며, 교차로 2~5 구간에서는 연동폭 확보가 가능함

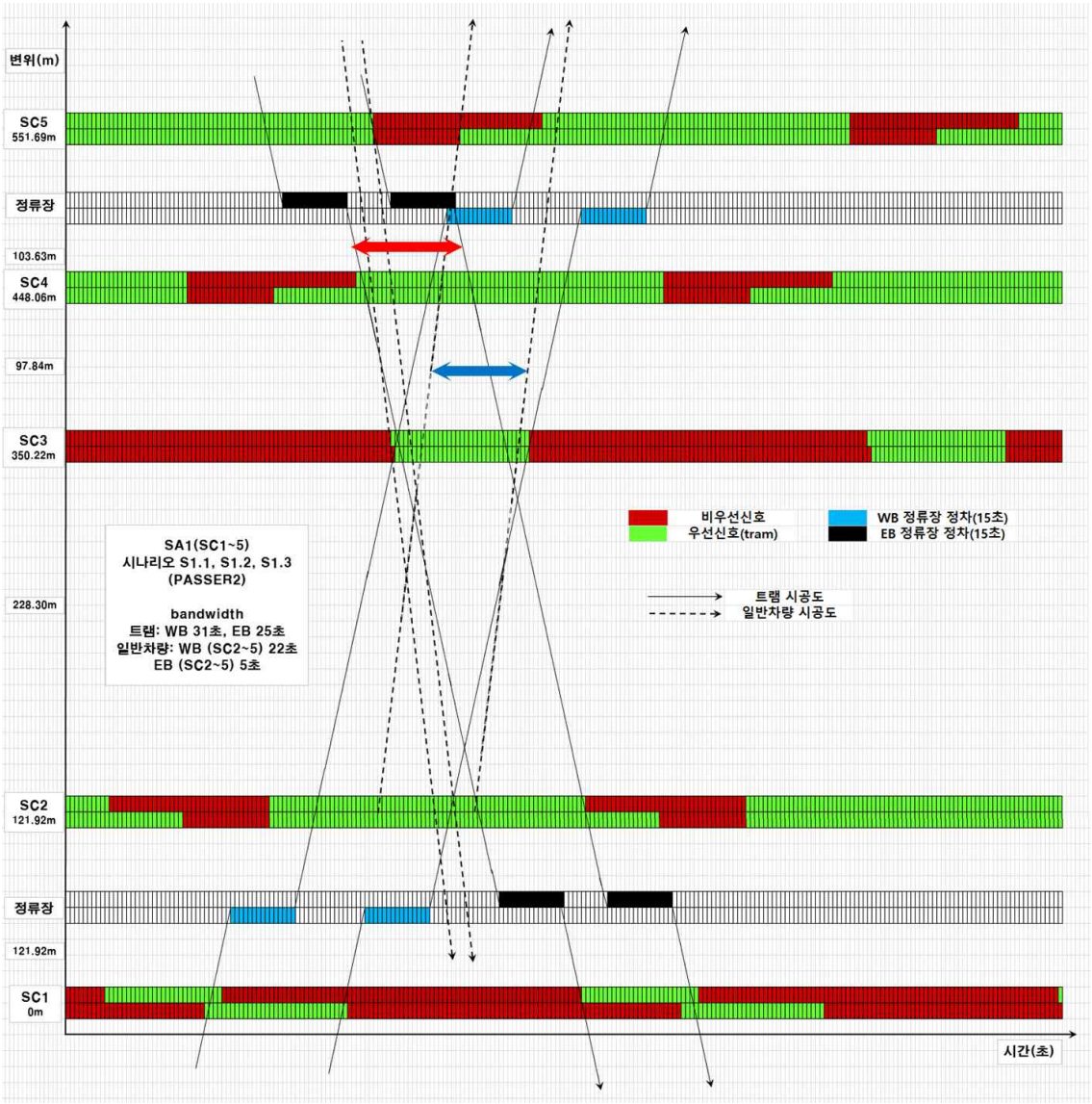
○ SA1(교차로 1~5) 구간에서 S2 전략에 대한 신호최적화는 V/C = 0.3, 0.9의 조건에서 트램 연동폭이 WB 30초, EB 20초로 축소되었고, V/C = 0.6의 조건에서는 WB 26초, EB 25초로 축소되었음 (<그림 2-134>, <그림 2-135>)

○ V/C = 0.3, 0.9의 조건에서 S2의 전략은 S1과 비교했을 때, 트램의 연동폭이 WB 31 → 30초, EB 25 → 20초로 감소하였고, (최소 연동폭 15초 만족) 대신 일반차량의 연동폭이 교차로 2~5 구간에서 WB 22 → 25초로 증가함
- V/C=0.3 조건에서 SA1 주방향 일반차량의 평균제어지체가 75.95초 → 69.60초 감소함
- V/C = 0.9 조건에서 SA1의 주방향 일반차량의 평균제어지체가 312.37초 → 306.75초로 감소함

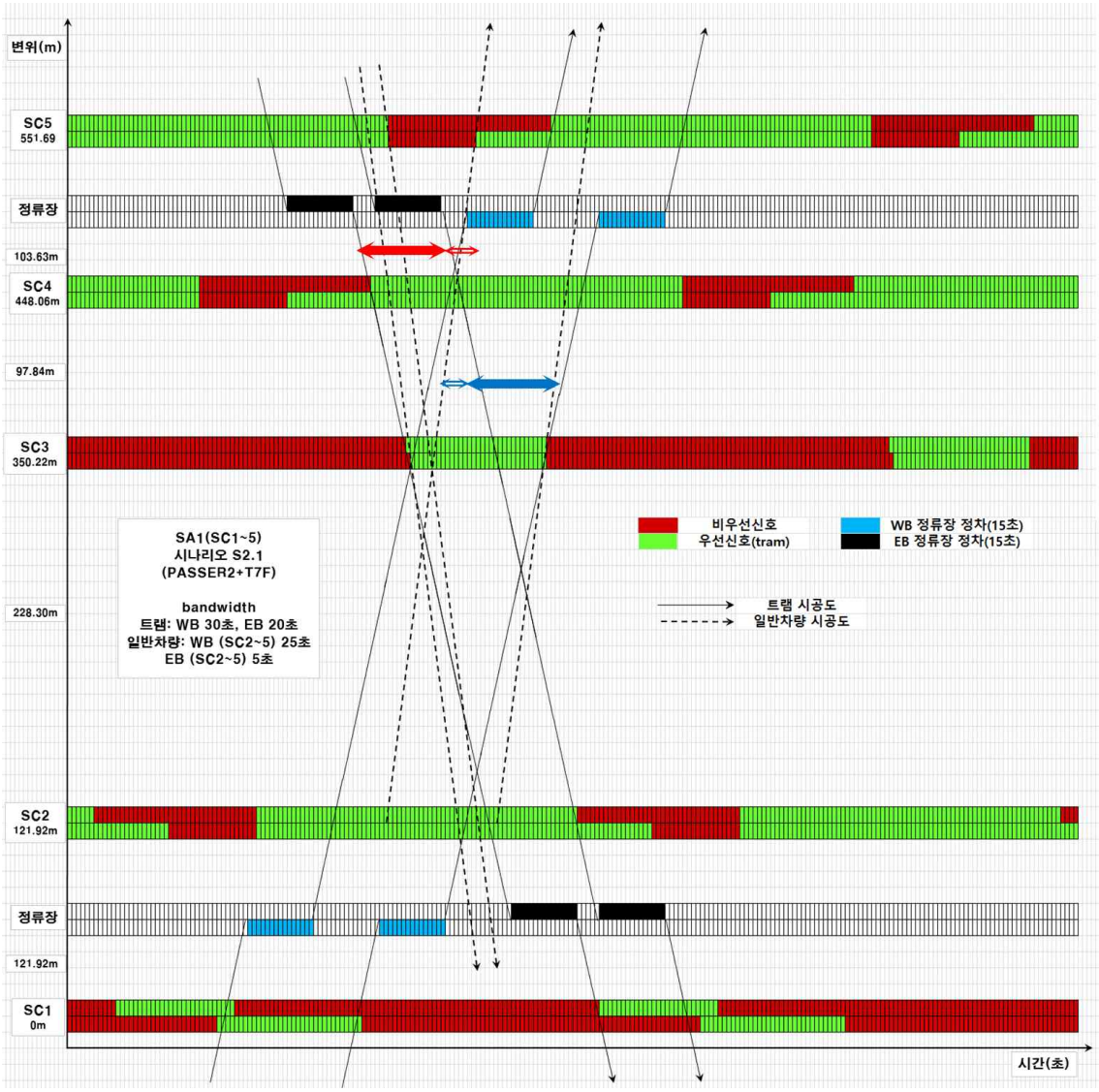
○ V/C = 0.6의 조건에서는 S2전략을 S1전략과 비교했을 때, 트램의 연동폭이 WB 31 → 26초로 감소한 대신에(최소 연동폭 15초 만족) 일반차량의 연동폭이 교차로 2~5 구간에서 WB 22 → 23초, EB 5 → 7초로 증가함
- SA1 구간에서 주방향 일반차량의 평균제어지체가 129.07초 → 119.2초로 감소함



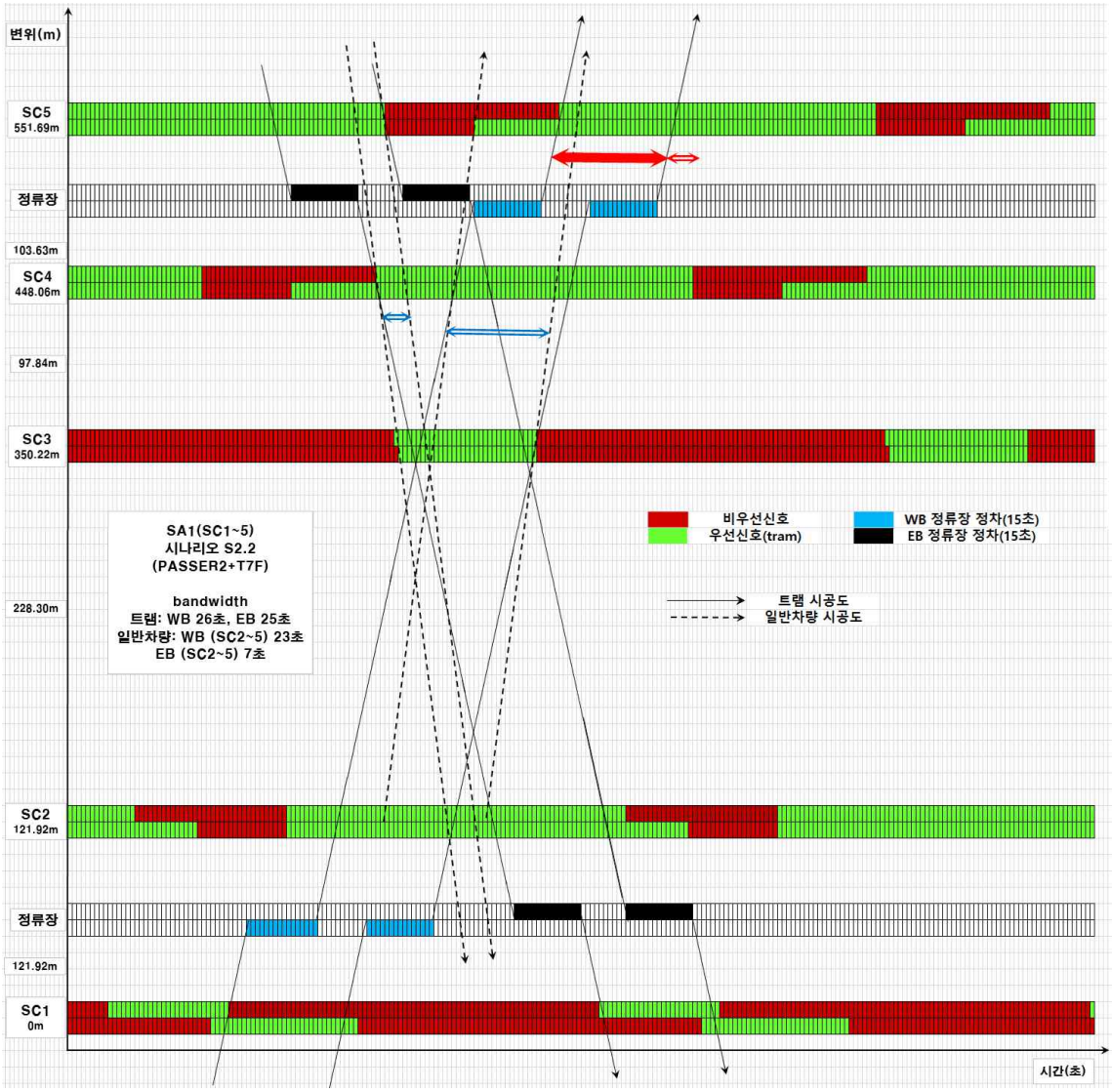
<그림 2-133> 2019년 교통량 기준 SA1 신호최적화 결과 시공도(S0: 일반차량 기준 최적화)



<그림 2-134> V/C = 0.3, 0.6, 0.9 교통량 기준 SA1 신호최적화 결과 시공도(S1: 트램 연동폭 최대화)

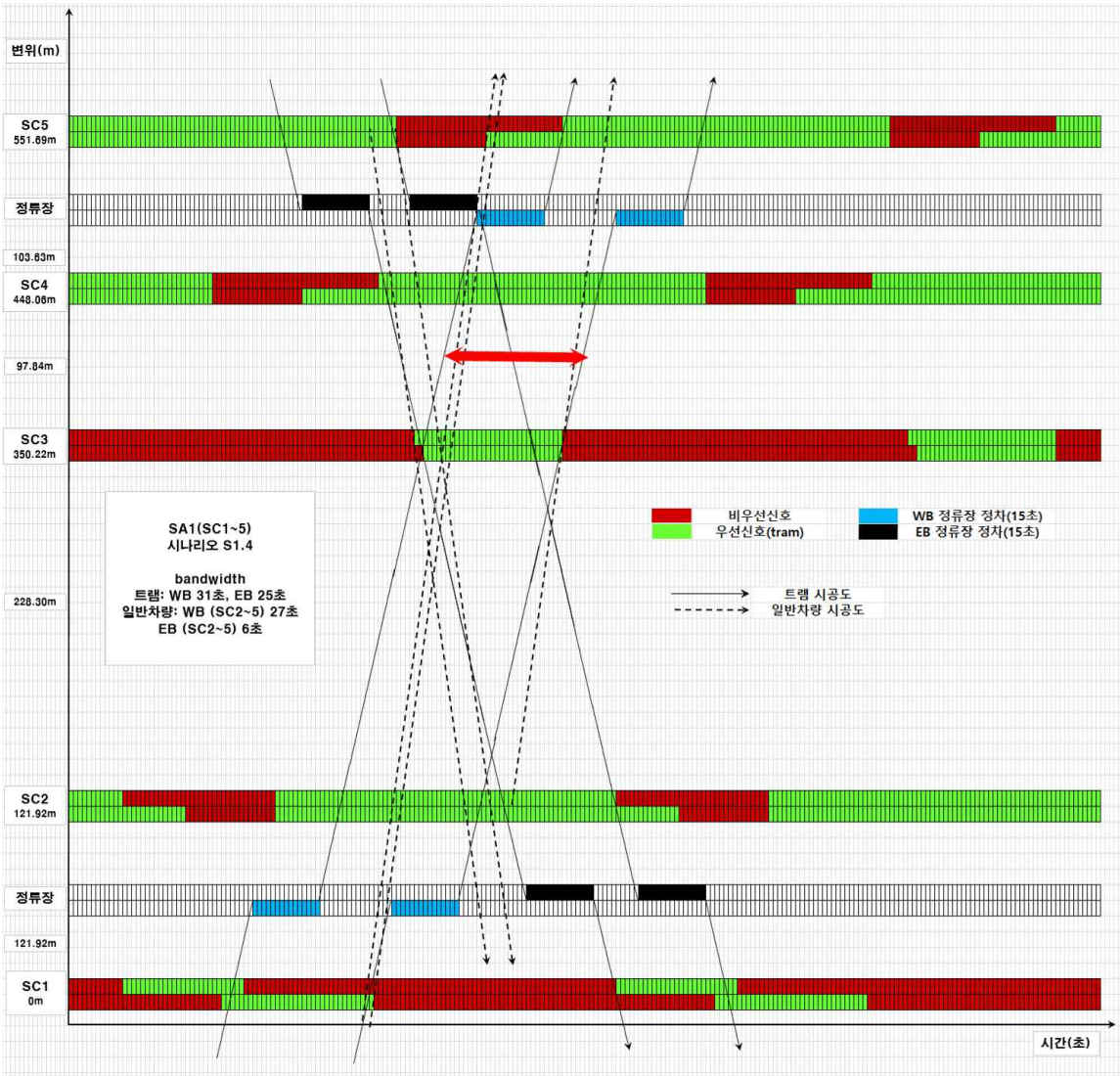


<그림 2-135> V/C = 0.3, 0.9 교통량 SA1 최적화 결과 시공도(S2: 트램 연동폭 + 일반차량 지체 고려)

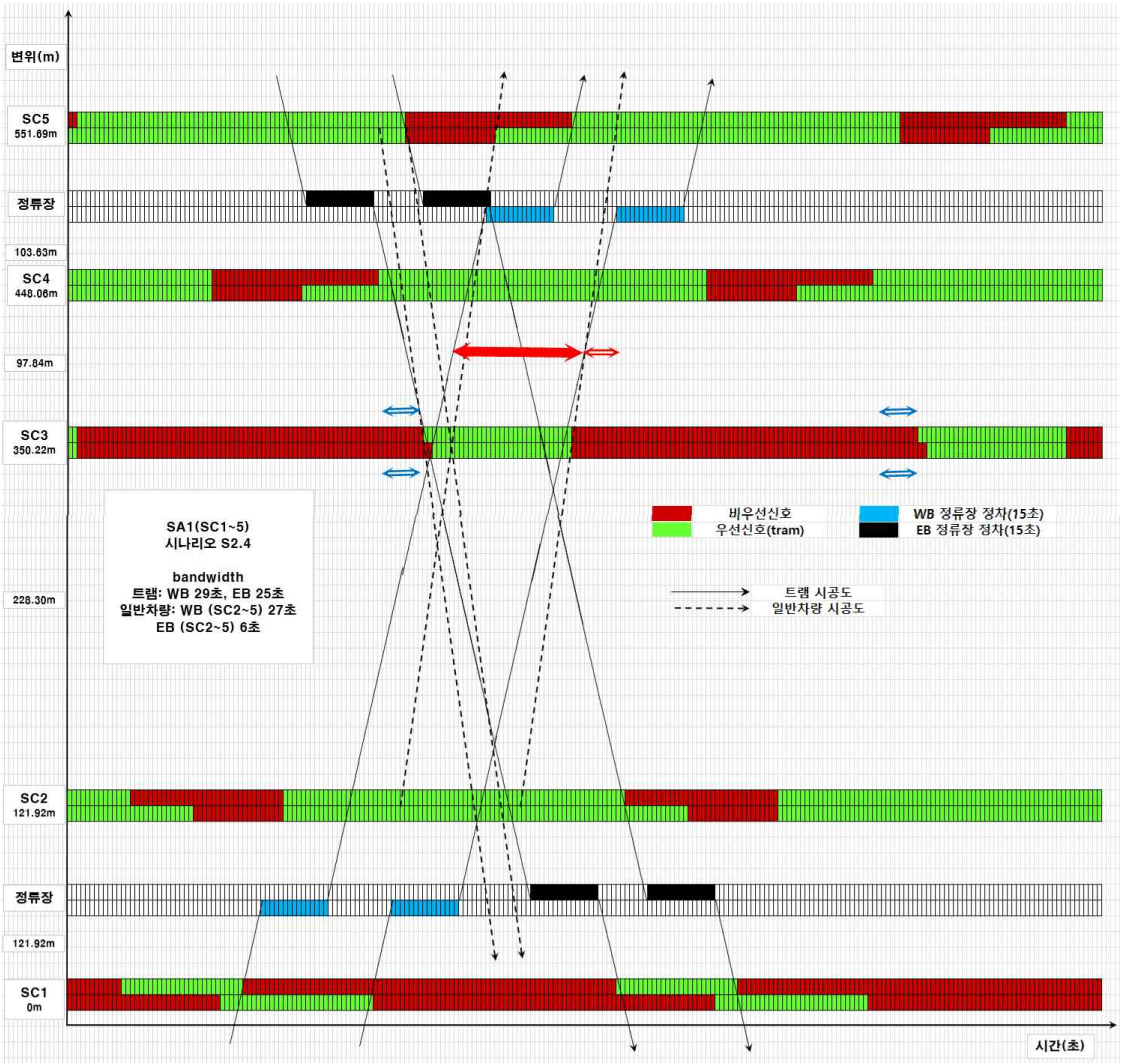


<그림 2-136> V/C = 0.6 교통량 SA1 최적화 결과 시공도(S2: 트램 연동폭 확보 + 일반차량 지체 고려)

○ 대상구간의 2019년의 장래 예측 교통량의 조건에서는 S2전략과 S1전략을 교했을 때, 트램의 연동폭이 WB 31 → 29초로 감소하였으나, 이로 인한 여유녹색시간을 조정하여 일반차량의 지체를 감소시킴 (<그림 2-135>, <그림 2-136>)



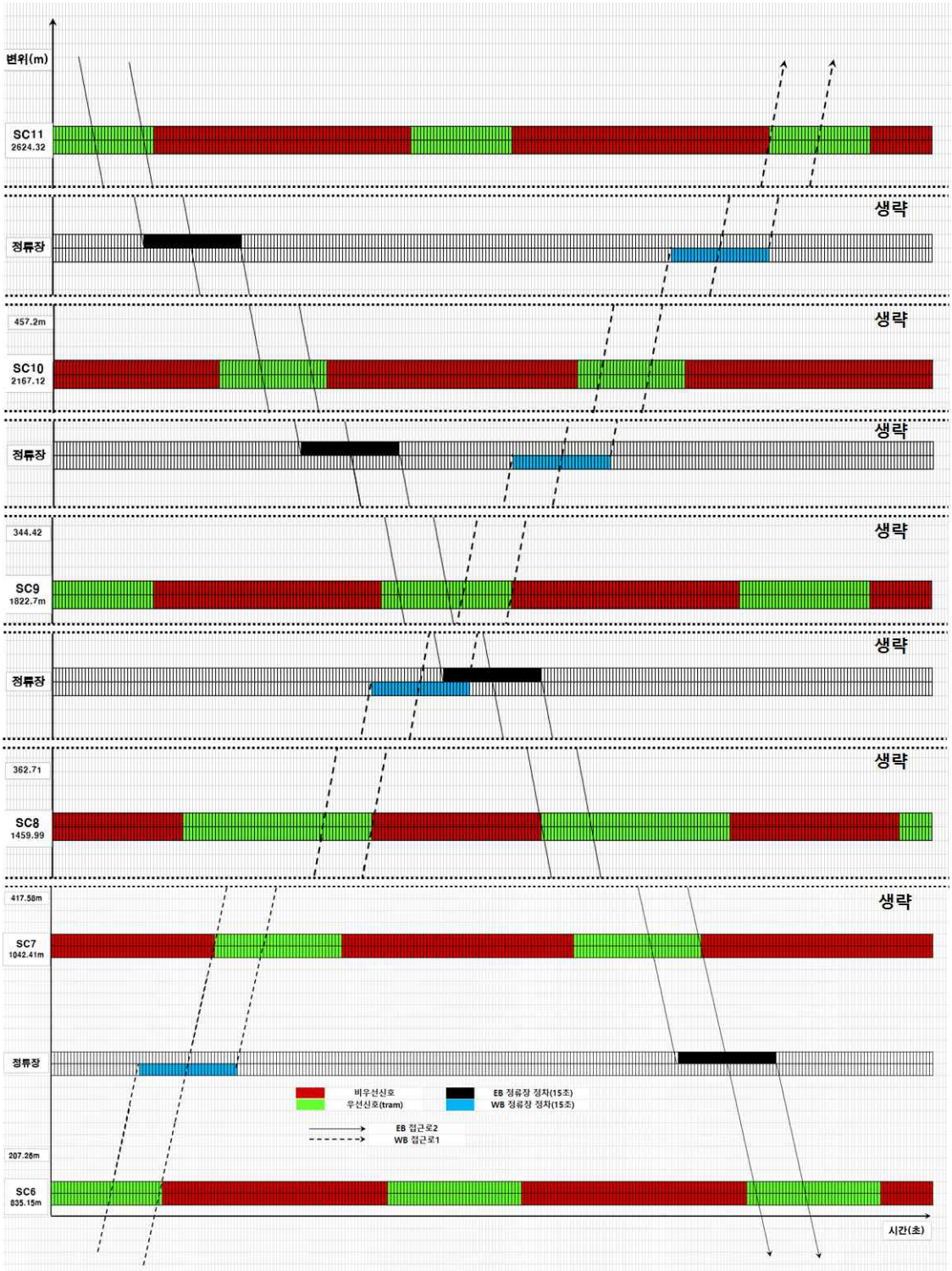
<그림 2-137> 2019년 교통량 기준 SA1 신호최적화 결과 시공도(S1: 트램 연동폭 최대화)



<그림 2-138> 2019년 교통량 기준 SA1 최적화 결과 시공도(S2: 트램 연동폭 확보+일반차량 지체 고려)

○ SA2(교차로 6~11) 구간은 주방향에 트램 전용차로만 존재하고, 일반차량은 트램 전용차로와 교차하는 도로를 통행하므로, 주방향에는 트램 최소 연동폭 15초만을 확보하고, 나머지 신호시간을 모두 부방향의 녹색시간에 부여

○ 따라서 S1과 S2의 신호시간은 <그림 2-138>와 같이 동일하게 적용함



<그림 2-139> 최적화 결과 트램 시공도(S1, S2)

나. 시나리오 별 효과척도 결과 분석

1) 트램의 효과척도 분석

- ○ 전체 트램 노선(교차로1~11 주방향, 가로축)에 대해 트램의 평균 통행시간, 제어지체, 정지수, 녹색시간도착비율을 확인함(신호전략, 트램 배차간격, 교통량 별)
- ○ 효과지표들의 변동계수가 0에 가깝기 때문에, Random seed를 서로 다르게 설정하여 10회 시뮬레이션 한 결과 값들의 산포도가 작음을 확인함

① 트램의 통행시간 및 지체 분석 결과

- ○ 시나리오에 따른 트램의 전 구간 통행시간 및 지체 시뮬레이션 결과는 <표 2-72>~<표 2-75>와 같음
- ○ 트램이 전용차로를 이용하기 때문에, 일반차량 교통량이 증가해도 트램의 통행시간 및 지체에는 큰 변화가 없음
- ○ 트램 배차간격이 작아지면 단위시간당 트램 통과 교통량이 많아지지만, 그에따른 트램의 통행시간과 제어지체에는 크게 영향을 미치지 않았고, 우선신호의 발생횟수의 변화로 인해 일반차량의 신호에는 영향을 미치는 것으로 나타남
- ○ 트램의 고정식, 능동식 우선신호를 모두 적용시킨 신호전략(S3)은 일반차량을 기준으로 최적화한 신호전략(S0)와 비교했을 때, 트램의 통행시간을 평균 115.25초(16.72%) 감소시킬 수 있음
- ○ 트램의 연동폭을 일정폭 이상 확보한 시나리오(S1, S2)는 일반차량 기준으로 신호최적화한 시나리오(S0)보다 트램 제어지체를 평균 103.61초 (51.58%) 감소시켰음
- ○ 통합 신호제어 전략(S3)은 Progression control(고정식)만 적용한 전략(S2)과 비교했을 때, 평균 10.57초(10.87%)의 트램 지체 감소효과가 있었으며, 일반차량 기준 시나리오(S0) 대비 평균 115.25초(56.89%)의 지체 감소효과를 나타내고 있음

<표 2-72> 2019년 장래 교통량에서의 트램 전 구간 통행시간 및 지체

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)
3분	평균	697.75	209.00	600.73	108.35	600.71	108.35	588.84	96.44
	표준편차	7.30	7.76	9.91	7.87	9.91	7.87	8.04	5.53
	변동계수	0.01	0.04	0.02	0.07	0.02	0.07	0.01	0.06
5분	평균	697.62	200.95	594.73	99.85	594.73	99.85	578.78	93.90
	표준편차	0.26	7.50	3.27	7.45	3.27	7.45	2.17	3.89
	변동계수	0.00	0.04	0.01	0.07	0.01	0.07	0.00	0.05
10분	평균	679.83	183.43	592.44	98.93	592.44	98.93	576.46	92.95
	표준편차	15.02	13.59	2.97	7.26	2.97	7.26	5.69	3.93
	변동계수	0.02	0.07	0.01	0.07	0.01	0.07	0.01	0.05

<표 2-73> V/C = 0.3 교통량에서의 트램 전 구간 통행시간 및 지체

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)
3분	평균	703.43	206.50	596.58	102.88	594.05	100.15	584.20	90.30
	표준편차	16.66	10.00	5.70	2.75	3.25	6.55	3.55	6.59
	변동계수	0.02	0.05	0.01	0.03	0.01	0.07	0.01	0.07
5분	평균	692.98	191.90	591.52	89.68	592.82	90.77	583.69	81.64
	표준편차	8.13	2.98	4.32	0.51	4.36	0.26	7.28	3.17
	변동계수	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.04
10분	평균	680.03	180.13	587.98	88.93	589.02	90.00	582.65	83.58
	표준편차	15.26	12.25	7.02	1.59	7.21	2.23	9.74	4.24
	변동계수	0.02	0.07	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.05

<표 2-74> V/C = 0.6 교통량에서의 트램 전 구간 통행시간 및 지체(시뮬레이션 10회 평균)

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)
3분	평균	698.73	208.38	592.87	102.88	593.32	103.32	583.79	93.79
	표준편차	14.00	11.91	3.19	2.75	3.24	2.68	5.69	3.52
	변동계수	0.02	0.06	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.04
5분	평균	703.90	207.23	591.52	96.63	591.88	97.00	581.25	86.81
	표준편차	11.26	13.25	4.32	7.02	4.65	7.33	2.67	4.69
	변동계수	0.02	0.06	0.01	0.07	0.01	0.08	0.00	0.05
10분	평균	700.78	203.65	588.10	94.17	588.25	94.32	578.16	84.22
	표준편차	28.40	31.40	7.06	3.79	7.04	4.43	7.37	2.12
	변동계수	0.04	0.15	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	0.03

<표 2-75> V/C = 0.9 교통량에서의 트램 전 구간 통행시간 및 지체(시뮬레이션 10회 평균)

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)	통행시간 (초/대)	지체 (초/대)
3분	평균	715.10	220.25	599.30	105.45	600.02	106.15	591.78	97.91
	표준편차	4.36	9.12	9.82	6.66	10.13	7.00	11.44	7.29
	변동계수	0.01	0.04	0.02	0.06	0.02	0.07	0.02	0.07
5분	평균	700.58	203.88	587.05	92.27	587.30	92.52	577.26	82.48
	표준편차	7.99	7.52	3.42	4.81	3.29	4.82	5.19	5.22
	변동계수	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.06
10분	평균	692.82	193.78	583.27	84.58	583.22	84.38	573.70	74.86
	표준편차	21.34	23.45	5.62	5.49	5.17	5.21	6.50	6.75
	변동계수	0.03	0.12	0.01	0.06	0.01	0.06	0.01	0.09

○ 시나리오에 따른 트램의 전 구간 통행시간 및 지체 결과 값에 대한 통계분석을 실시한 결과는 <표 2-76>~<표 2-83>와 같음

○ 일원분산분석(ANOVA) 및 사후검증(Tukey)을 수행한 결과, S2와 S3의 전략을 수행했을 때, S0과 S1과 비교해서 트램의 통행시간 및 제어지체 변화에 통계적 유의성이 있음을 확인함

- H_0: “시나리오 간 결과 값의 평균이 같다.”
- H_0 기각 시 차이의 유의성이 있음, 유의수준 α=0.05)

○ 배차간격 3분, 5분 10분 , 모든 교통량에서 통계적 유의성을 확인함

<표 2-76> 2019년 장래 교통량에서의 트램의 통행시간 변화 통계 분석

배차간격	트램 통행시간 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	98.55		1.17e-06		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	97.02	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	97.02	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	108.91	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	1.14e-13	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	11.89	0.41	0.05	H_0 채택
		S2-S3	11.89	0.41	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	1370		3.5e-11		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	102.88	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	102.88	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	118.84	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	15.95	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	15.95	0.00	0.05	H_0 기각
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	96.09		1.29e-06		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	87.40	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	87.40	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	103.38	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	15.98	0.16	0.05	H_0 채택
		S2-S3	15.98	0.16	0.05	H_0 채택

<표 2-77> V/C = 0.3 교통량에서의 트램의 통행시간 변화 통계 분석

배차간격	트램 통행시간 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	113.6		6.74e-07		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	106.85	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	109.38	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	119.23	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	-2.53	0.99	0.05	H_0 채택
		S1-S3	12.38	0.40	0.05	H_0 채택
		S2-S3	9.85	0.58	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	206.8		6.43e-08		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	101.47	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	100.17	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	109.29	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	-1.30	0.99	0.05	H_0 채택
		S1-S3	7.83	0.46	0.05	H_0 채택
		S2-S3	9.13	0.35	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	61.33		7.3e-06		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	92.05	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	91.02	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	97.39	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	-1.03	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	5.34	0.92	0.05	H_0 채택
		S2-S3	6.37	0.87	0.05	H_0 채택

<표 2-78> V/C = 0.6 교통량에서의 트램의 통행시간 변화 통계 분석

배차간격	트램 통행시간 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	143.4		2.71e-07		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	105.87	0.00	0.05	H_0 기각

		S0-S2	105.42	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	114.94	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	-0.45	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	9.07	0.53	0.05	H_0 채택
		S2-S3	9.52	0.49	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	232.1		4.08e-08		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	112.38	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	112.02	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	122.65	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	-0.37	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	10.27	0.30	0.05	H_0 채택
		S2-S3	10.64	0.27	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	42.28		2.98e-05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	112.68	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	112.53	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	122.63	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	-0.15	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	9.94	0.86	0.05	H_0 채택
		S2-S3	10.09	0.85	0.05	H_0 채택

<표 2-79> V/C = 0.9 교통량에서의 트램의 통행시간 변화 통계 분석

배차간격	트램 통행시간 분석				
3분	사전검증	F		기각F	검증결과
	ANOVA	120.4		5.38e-07	H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	115.80	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	115.08	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	123.32	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	-0.72	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	7.52	0.76	0.05	H_0 채택
		S2-S3	8.24	0.71	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과

	ANOVA	363.1		6.93e-09		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	113.53	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	113.28	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	123.32	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	-0.25	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	9.79	0.19	0.05	H_0 채택
		S2-S3	10.04	0.17	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	69.06		4.63e-06		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	109.55	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	109.60	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	119.12	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.05	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	9.57	0.76	0.05	H_0 채택
		S2-S3	9.52	0.76	0.05	H_0 채택

<표 2-80> 2019년 장래 교통량에서의 트램의 지체 변화 통계 분석

배차간격	트램 통행시간 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	154.7		2.02e-07		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	100.65	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	100.65	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	112.56	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	1.42e-14	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	11.91	0.27	0.05	H_0 채택
		S2-S3	11.91	0.27	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	190.1		8.97e-08		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	101.10	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	101.10	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	117.05	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	15.95	0.08	0.05	H_0 채택

		S2-S3	15.95	0.08	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	81.47		2.45e-06		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	84.50	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	84.50	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	100.48	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	1.42e-14	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	15.98	0.19	0.05	H_0 채택
		S2-S3	15.98	0.19	0.05	H_0 채택

<표 2-81> V/C = 0.3 교통량에서의 트램의 지체 변화 통계 분석

배차간격	트램 통행시간 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	184.7		1e-07		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	103.62	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	106.35	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	116.20	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	2.73	0.96	0.05	H_0 채택
		S1-S3	12.58	0.20	0.05	H_0 채택
		S2-S3	9.85	0.37	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	1710		1.44e-11		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	102.22	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	101.13	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	110.26	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	-1.08	0.93	0.05	H_0 채택
		S1-S3	8.04	0.01	0.05	H_0 기각
		S2-S3	9.13	0.00	0.05	H_0 기각
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	147.2		2.45e-07		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	91.20	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	90.13	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	96.55	0.00	0.05	H_0 기각

		S1-S2	-1.07	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	5.35	0.76	0.05	H_0 채택
		S2-S3	6.42	0.65	0.05	H_0 채택

<표 2-82> V/C = 0.6 교통량에서의 트램의 지체 변화 통계 분석

배차간격	트램 통행시간 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	210		6.05e-08		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	105.50	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	105.07	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	114.59	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	-0.43	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	9.09	0.38	0.05	H_0 채택
		S2-S3	9.52	0.34	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	130		3.98e-07		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	110.60	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	110.23	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	120.43	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	-0.37	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	9.83	0.54	0.05	H_0 채택
		S2-S3	10.19	0.51	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	37.49		4.66e-05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	109.48	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	109.33	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	119.43	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	-0.15	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	9.94	0.87	0.05	H_0 채택
		S2-S3	10.09	0.86	0.05	H_0 채택

<표 2-83> V/C = 0.9 교통량에서의 트램의 지체 변화 통계 분석

배차간격	트램 통행시간 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	179.8		1.12e-07		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	114.80	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	114.10	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	122.34	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	-0.70	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	7.54	0.63	0.05	H_0 채택
		S2-S3	8.24	0.57	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	305.9		1.37e-08		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	111.62	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	111.37	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	121.41	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	-0.25	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	9.79	0.23	0.05	H_0 채택
		S2-S3	10.04	0.22	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	58.54		8.71e-06		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	109.20	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	109.40	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	118.92	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.20	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	9.72	0.79	0.05	H_0 채택
		S2-S3	9.52	0.80	0.05	H_0 채택

② 트램의 정지수 및 녹색시간 도착비율 분석 결과

○ 시나리오 별 정지수 및 녹색시간 도착비율의 변화는 <표 2-84>~<표 2-87>과 같고, 트램의 정지수는 정류장에 의무적으로 정차하는 횟수를 제외하고, 교차로에 정치하는 횟수만 적용하였고, 녹색시간 도착비율은 1- (정지수/정지선수)를 이용해 산출함

○ 트램이 일반차량과 분리된 전용차로를 이용하기 때문에, 일반차량의 장래 교통량이 변화해도 트램의 정지수 및 녹색시간 도착비율에는 영향을 미치지 않으므로 트램의 정지수에 대한 영향은 배차간격의 변화만 적용

○ 트램의 배차간격이 줄어들고, 통행량이 늘어날수록 연동폭 내(능동식 우선신호의 경우 여유녹색시간이 남아있을 시점 포함)에 트램이 교차로에 도착하 확률이 줄어들고, 대향방향의 트램차량으로 인해 트램 우선신호에 상충이 발생하기 때문에 트램의 교차로 정지수가 증가함

○ 트램의 최소 연동폭을 확보한 고정식 우선신호 전략(S1, S2)은 일반차량 기준으로 최적화한 신호전략(S0)보다 평균 46.04%의 정지수 감소효과가 있음

- 총 11개 교차로에 대해 평균 5.02회/대에서 2.72회/대로 감소

- 트램의 정류장에서 정차시간 변동폭이 클수록 트램의 연동폭을 벗어나 하류부 교차로에서 정차할 확률이 높아짐

○ 통합 신호제어 전략(S3)은 트램 고정식 우선신호 전략(S1, S2)보다 평균 51.86% (2.72초/대→1.19초/대), 일반차량을 기준으로 신호최적화를 수행한 전략(S0)보다 약 74.19%(5.02초/대→1.19초/대)의 정지수 감소효과가 나타남

○ 통합 신호제어 전략(S3)는 총 11개의 교차로에 대한 트램의 정지수를 최대 0.39회/대까지 감소시켜, 본 과업에서 트램의 교차로 무정차 통과를 거의 달성한 것으로 볼 수 있음

○ 통합 신호제어 전략의 수행에도 발생하는 약 1회 미만의 트램 정지수는 다음과 같은 상황에서 발생함

- 교차로 상류부에 정류장이 없어 정류장 정차시간 제어를 할 수 없고, 일반적인 우선신호 기법을 적용할 경우

- 반대방향의 트램 우선신호가 이미 적용되어 신호를 변경할 수 없을 경우

<표 2-84> 2019년 예측 교통량에서의 트램의 정지수 및 녹색시간도착비율

신호전략		S0		S1		S2		S3	
배차 간격	구분	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율
3분	평균	5.52	0.50	3.13	0.71	3.13	0.71	1.13	0.86
	표준편차	0.78	0.07	0.24	0.03	0.24	0.03	0.12	0.01
	변동계수	0.14	0.14	0.08	0.04	0.08	0.04	0.08	0.01
5분	평균	5.06	0.54	3.16	0.71	3.16	0.71	1.01	0.91
	표준편차	0.34	0.03	0.54	0.05	0.54	0.05	0.24	0.02
	변동계수	0.07	0.06	0.17	0.07	0.17	0.07	0.24	0.02
10분	평균	5.09	0.54	2.95	0.73	2.95	0.73	0.39	0.93
	표준편차	0.51	0.04	0.70	0.06	0.70	0.06	0.11	0.02
	변동계수	0.10	0.08	0.24	0.09	0.24	0.09	0.27	0.02

<표 2-85> V/C= 0.3 교통량에서의 트램의 정지수 및 녹색시간도착비율

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율
3분	평균	5.08	0.54	2.98	0.73	2.97	0.73	1.24	0.86
	표준편차	0.09	0.01	0.22	0.02	0.24	0.02	0.21	0.03
	변동계수	0.02	0.02	0.07	0.03	0.08	0.03	0.13	0.03
5분	평균	4.96	0.55	2.43	0.78	2.46	0.78	1.23	0.89
	표준편차	0.21	0.02	0.37	0.03	0.42	0.04	0.18	0.02
	변동계수	0.04	0.04	0.15	0.04	0.17	0.05	0.15	0.02
10분	평균	4.50	0.59	2.06	0.81	1.92	0.82	1.11	0.90
	표준편차	0.44	0.04	0.77	0.07	0.66	0.06	0.32	0.03
	변동계수	0.10	0.07	0.37	0.09	0.34	0.07	0.28	0.03

<표 2-86> V/C= 0.6 교통량에서의 트램의 정지수 및 녹색시간도착비율

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율
3분	평균	5.08	0.54	2.98	0.72	2.93	0.74	1.25	0.85
	표준편차	0.14	0.01	0.22	0.02	0.27	0.03	0.22	0.02
	변동계수	0.03	0.02	0.07	0.03	0.09	0.03	0.13	0.02
5분	평균	5.00	0.55	2.75	0.75	2.67	0.76	1.24	0.89
	표준편차	0.33	0.03	0.18	0.02	0.19	0.02	0.20	0.02
	변동계수	0.07	0.06	0.07	0.02	0.07	0.02	0.16	0.02
10분	평균	4.93	0.55	2.48	0.78	2.39	0.78	1.03	0.91
	표준편차	0.35	0.03	0.13	0.01	0.13	0.02	0.22	0.02
	변동계수	0.07	0.05	0.05	0.01	0.05	0.02	0.21	0.02

<표 2-87> V/C= 0.9 교통량에서의 트램의 정지수 및 녹색시간도착비율

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율	정지수 (회/대)	녹색시간 도착비율
3분	평균	5.08	0.54	2.98	0.72	2.93	0.74	1.32	0.83
	표준편차	0.14	0.01	0.22	0.02	0.27	0.03	0.05	0.01
	변동계수	0.03	0.02	0.07	0.03	0.09	0.03	0.03	0.01
5분	평균	5.00	0.55	2.75	0.75	2.67	0.76	1.32	0.88
	표준편차	0.33	0.03	0.18	0.02	0.19	0.02	0.09	0.01
	변동계수	0.07	0.06	0.07	0.02	0.07	0.02	0.06	0.01
10분	평균	4.93	0.55	2.48	0.78	2.42	0.78	1.20	0.89
	표준편차	0.35	0.03	0.13	0.01	0.09	0.01	0.27	0.03
	변동계수	0.07	0.05	0.05	0.01	0.04	0.01	0.22	0.03

○ 시나리오에 따른 트램의 정지수 결과 값에 대한 통계분석을 실시한 결과는 <표 2-88>~<표 2-91>과 같음

○ 일원분산분석(ANOVA) 및 사후검증(Tukey)을 수행한 결과, Progression Control 전략을 적용한 S2와 통합 신호제어 전략을 적용한 S3는 S0, S1과 비교해서 트램 정지수에 통계적 유의성이 있을 정도로 효과를 줄 수 있음을 확인함

<표 2-88> 2019년 장래 교통량에서의 트램의 정지수 변화 통계 분석

배차간격	트램 정지수 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	44.21		2.52e-05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	2.39	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	2.39	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	3.99	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.60	0.01	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.60	0.01	0.05	H_0 기각
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	43.63		2.64e-05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	1.90	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	1.90	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	4.05	000	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	2.15	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	2.15	0.00	0.05	H_0 기각
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	28.85		0.00		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	2.14	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S2	2.14	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S3	4.30	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	2.15	0.01	0.05	H_0 기각
		S2-S3	2.15	0.01	0.05	H_0 기각

<표 2-89> V/C = 0.3 교통량에서의 트램의 정지수 변화 통계 분석

배차간격	트램 정지수 분석				
3분	사전검증	F		기각F	검증결과
	ANOVA	152.6		2.13e-07	H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	2.10	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	2.11	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	3.44	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.01	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.34	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.33	0.00	0.05	H_0 기각
5분	사전검증	F		기각F	검증결과
	ANOVA	76.09		3.19e-06	H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	2.53	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	2.50	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	3.73	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.03	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.20	0.01	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.23	0.01	0.05	H_0 기각
10분	사전검증	F		기각F	검증결과
	ANOVA	19.54		0.00	H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	2.44	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	2.58	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	3.39	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.14	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.95	0.25	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.81	0.37	0.05	H_0 채택

<표 2-90> V/C = 0.6 교통량에서의 트램의 정지수 변화 통계 분석

배차간격	트램 정지수 분석				
3분	사전검증	F		기각F	검증결과
	ANOVA	127.1		4.35e-07	H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	2.10	0.00	0.05	H_0 기각

		S0-S2	2.15	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	3.43	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.05	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.33	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.28	0.00	0.05	H_0 기각
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	133		3.65e-07		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	2.25	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	2.33	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	3.76	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.08	0.98	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.51	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.43	0.00	0.05	H_0 기각
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	156.4		1.93e-07		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	2.46	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	2.54	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	3.90	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.09	0.96	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.45	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.36	0.00	0.05	H_0 기각

<표 2-91> V/C = 0.9 교통량에서의 트램의 정지수 변화 통계 분석

배차간격	트램 정지수 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	154.5		2.03e-07		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	2.10	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	2.15	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	3.26	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.05	0.99	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.16	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.11	0.00	0.05	H_0 기각
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	152.1		2.15e-07		H_0 기각

	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	2.25	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	2.33	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	3.68	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.08	0.97	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.43	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.35	0.00	0.05	H_0 기각
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	135.6		3.37e-07		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	2.46	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	2.52	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	3.73	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.06	0.99	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.28	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.22	0.00	0.05	H_0 기각

○ 트램의 우선신호 알고리즘을 적용 시 트램의 통행 지체와 정지수 감소에 통계적으로 유의한 수준의 효과를 줄 수 있으며, 특히 통합 신호제어 전략을 적용하면 전체 가로축 구간에 대한 트램의 정지수를 1회 미만으로 감소시켜 전 구간에 걸쳐 교차로 정지 없이 통과할 수 있음

2) 일반차량의 효과척도 분석

○ 트램의 우선신호 전략 수행에 따른 일반차량의 영향을 파악하기 위해 SA1의 주방향 가로축과 부방향의 전체 접근로(SA1~SA2)에 대해 신호전략별 제어지체, 연료소모량, 대기오염물질 배출량을 확인함

○ 신호제어전략, 일반차량 교통량 변화, 트램의 배차간격 변화에 따른 효과척도의 변화를 분석

○ 부방향에 대한 일반차량의 제어지체는 SA1~SA2까지 전 구간의 부방향 접근로의 지체를 평균하여 접근로 당 평균제어지체를 산정하지만, 주방향의 교통류의 변화는 일반차량이 SA2(교차로6~11) 구간에서 부방향 교통만이 존재하기 때문에 통과하기 때문에 SA1의 주 가로축의 평균제어지체를 적

용함

- ○ 각각의 시나리오에 적용에 따른 일반차량의 제어지체 시뮬레이션 결과는 <표 2-92>~<표 2-95>와 같음
- ○ 효과척도들의 변동계수가 0에 가깝기 때문에, Random seed를 서로 다르게 설정하여 10회 시뮬레이션 한 결과, 일반차량 제어지체 값들의 산포도가 작음을 확인함

① 일반차량의 평균 제어지체 분석 결과

- ○ 교통량 변화에 따른 교통량 별 제어지체의 변화를 분석한 결과, 일반적인 예상대로 교통량이 증가할수록 교차로 평균제어지체는 증가함
- ○ 신호제어전략의 변화에 따른 일반차량의 교통류 영향을 분석해보면, 트램 전용차로와 일반차량은 차로가 분리되어 있지만, 트램의 능동식 우선신호 제어로 인해 일반차량에도 영향을 미치는 것으로 나타남
  - 통합 신호제어 전략(S3)을 시행할 때, 네트워크에 교통량이 적을수록 S1 전략을 수행할 때 보다 주방향의 제어지체는 감소하고, 네트워크 전체의 제어지체는 증가하는 경향이 나타남
  - 트램의 배차간격이 작아질수록 트램의 우선신호 요청 가능성이 높아지게 되고, 그로 인해 일반차량의 신호운영에 영향을 미침
- ○ 트램의 연동폭을 최대화하는 전략(S1)은 일반차량 기준의 신호최적화 전략(S0)에 비해 주방향 일반차량의 SA1 주방향 가로축에 대해 약 26.74초(39.78%) 증가함
- ○ 트램의 고정식 우선신호제어로 인한 일반차량 지체 증가를 최소화하기 위해 트램의 연동폭을 최소값(기본 정차시간 15초)로 줄이고, 일반차량의 지체를 최소화하는 신호제어전략(S2)을 수행하면, SA1의 주방향 가로축에서 S1 대비 평균 14.37%의 일반차량 지체를 절감할 수 있음
- ○ 통합 신호제어전략(S3)은 일반차량을 대상으로 신호최적화를 수행한 S0 전략 보다는 주방향에서 평균 17.83%의 추가적인 지체가 발생하지만, 트램을 기준으로 신호최적화를 수행한 S1 전략보다는 평균 14.37% 주방향의 일반차량 지체가 감소함

○ SA1과 SA2의 부방향에 대한 접근로 당 평균제어지체를 살펴보면, 주방향의 이동류에 비해 큰 변화가 없으며, 통합 신호제어전략(S3)에서 능동식 우선신호제어의 수행으로 인해 부방향의 평균제어지체가 평균 3.18초 (14.68%) 증가하는 것으로 나타남

- 이는 트램이 능동식 우선신호를 요청함에 따라 비우선신호의 녹색시간비율이 줄어들었음을 의미함
- V/C=0.9의 과포화 상태에서는 큰 변화가 나타나지 않음

○ 결론적으로 통합 신호제어전략(S3)는 일반차량의 주방향과 부방향의 지체를 증가시키지만, Progression Control을 통해 그 증가폭을 최소화했으며, 트램의 지체 감소효과에 대비했을 때 적은 수치임

<표 2-92> 2019년 장래 교통량에 대한 일반차량의 평균제어지체

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)
3분	평균	38.48	19.09	62.98	20.59	48.85	20.23	46.25	22.13
	표준편차	13.91	1.66	8.27	0.48	7.10	0.43	5.24	0.36
	변동계수	0.36	0.09	0.13	0.02	0.13	0.02	0.09	0.02
5분	평균	38.45	18.93	62.98	20.58	48.95	20.22	46.08	21.30
	표준편차	13.97	1.93	8.27	0.47	7.10	0.42	3.34	0.33
	변동계수	0.36	0.10	0.13	0.02	0.13	0.02	0.05	0.02
10분	평균	38.45	18.73	62.98	20.54	48.84	20.19	46.62	20.92
	표준편차	13.97	1.92	8.27	0.46	7.10	0.43	2.74	0.75
	변동계수	0.36	0.10	0.13	0.02	0.13	0.02	0.05	0.04

<표 2-93> V/C = 0.3 교통량에 대한 일반차량의 평균제어지체

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)
3분	평균	50.30	20.25	75.53	23.29	61.40	22.40	60.53	24.69
	표준편차	2.80	0.89	3.61	0.25	8.45	0.55	3.59	1.33
	변동계수	0.06	0.04	0.05	0.01	0.12	0.02	0.04	0.06
5분	평균	50.28	20.31	75.95	23.27	61.60	22.26	61.42	24.67
	표준편차	2.75	1.03	3.45	0.14	8.07	0.38	6.56	1.05
	변동계수	0.05	0.05	0.05	0.01	0.12	0.02	0.08	0.05
10분	평균	50.17	20.07	76.33	23.20	61.35	22.78	61.82	24.72
	표준편차	2.78	1.04	3.31	0.14	8.33	0.45	9.39	0.83
	변동계수	0.06	0.05	0.04	0.01	0.12	0.02	0.12	0.04

<표 2-94> V/C = 0.6 교통량에 대한 일반차량의 평균제어지체

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)
3분	평균	96.65	21.47	131.50	26.57	111.30	25.27	117.02	25.80
	표준편차	13.18	1.27	17.48	0.89	9.14	1.38	10.71	1.14
	변동계수	0.14	0.06	0.12	0.04	0.08	0.05	0.08	0.04
5분	평균	92.32	21.95	129.07	25.88	109.20	25.13	113.95	25.60
	표준편차	22.73	1.92	1.74	2.03	11.44	1.70	8.79	0.24
	변동계수	0.25	0.09	0.01	0.08	0.10	0.07	0.07	0.01
10분	평균	89.07	22.14	118.72	25.19	107.90	24.59	113.80	25.09
	표준편차	17.50	1.91	9.51	1.35	11.39	1.75	14.75	1.07
	변동계수	0.20	0.09	0.08	0.05	0.10	0.07	0.13	0.04

<표 2-95> V/C = 0.9 교통량에 대한 일반차량의 평균제어지체

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)	SA1 주방향 (초/대)	부방향 (초/대)
3분	평균	293.22	32.08	319.63	34.63	308.42	31.40	308.47	33.97
	표준편차	14.87	0.83	19.46	0.57	19.65	0.29	21.63	1.43
	변동계수	0.05	0.03	0.06	0.02	0.06	0.01	0.07	0.05
5분	평균	294.05	31.76	312.37	33.69	306.75	32.90	306.05	33.62
	표준편차	13.16	1.51	17.99	0.47	19.12	0.73	14.42	1.50
	변동계수	0.04	0.05	0.06	0.01	0.06	0.02	0.05	0.05
10분	평균	292.05	31.53	316.38	34.53	307.40	31.55	307.95	33.92
	표준편차	17.69	2.04	18.98	1.58	16.30	0.78	12.09	1.09
	변동계수	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.02	0.04	0.03

○ 시나리오에 따른 일반차량의 SA1 가로축 전체에 대한 주방향의 지체 결과값에 대한 통계분석을 실시한 결과, <표 2-96>~<표 2-99>과 같음

○ 일원분산분석(ANOVA) 및 사후검증(Tukey)을 수행한 결과, 장래 예측 교통량에 대해서 S0과 S3 전략 사이에는 주방향의 일반차량 지체 변화에 통계적 유의성이 없음을 확인함 (H_0: "시나리오 간 결과값의 평균이 같다.", H_0 채택 시 차이의 유의성이 없음, 유의수준 α=0.05)

○ 장래 예측 교통량 상황의 경우, 트램 능동식 우선신호 전략(S3)은 일반차량의 지체를 조금 증가시키지만 통계적으로 의미가 있는 수준이 아니므로 트램과 일반차량을 모두 고려한 전략이라고 볼 수 있음

<표 2-96> 2019년 장래 교통량에 대한 SA1 주방향 지체 변화 통계 분석

배차간격	일반차량 지체 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	4.25		0.045		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-24.50	0.046	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-10.37	0.21	0.05	H_0 채택

		S0-S3	**-7.77**	**0.08**	**0.05**	H_0 **채택**
		S1-S2	14.13	0.71	0.05	H_0 기각
		S1-S3	16.73	0.08	0.05	H_0 기각
		S2-S3	2.6	0.89	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	4.59		0.04		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-24.53	0.04	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-10.5	0.20	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-7.63	**0.06**	**0.05**	H_0 **채택**
		S1-S2	14.03	0.70	0.05	H_0 기각
		S1-S3	16.9	0.99	0.05	H_0 기각
		S2-S3	2.87	0.83	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	4.57		0.04		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-24.53	0.04	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-10.39	0.19	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-8.17	**0.06**	**0.05**	H_0 **채택**
		S1-S2	14.14	0.69	0.05	H_0 기각
		S1-S3	16.36	0.99	0.05	H_0 기각
		S2-S3	2.22	0.86	0.05	H_0 채택

<표 2-97> V/C = 0.3 교통량에 대한 SA1 주방향 지체 변화 통계 분석

배차간격	일반차량 지체 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	26.31		0.00		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-25.23	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-11.1	0.11	0.05	H_0 채택
		S0-S3	-10.23	0.29	0.05	H_0 채택
		S1-S2	14.13	0.04	0.05	H_0 기각
		S1-S3	15	0.01	0.05	H_0 기각
		S2-S3	0.87	0.50	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	14.65		0.00		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-25.67	0.00	0.05	H_0 기각

		S0-S2	-11.32	0.15	0.05	H_0 채택
		S0-S3	-11.14	0.20	0.05	H_0 채택
		S1-S2	14.35	0.04	0.05	H_0 기각
		S1-S3	14.53	0.04	0.05	H_0 기각
		S2-S3	0.18	0.55	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	11.45		0.00		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-26.16	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-11.18	0.21	0.05	H_0 채택
		S0-S3	-11.65	0.15	0.05	H_0 채택
		S1-S2	14.98	0.04	0.05	H_0 기각
		S1-S3	14.51	0.04	0.05	H_0 기각
		S2-S3	-0.47	0.50	0.05	H_0 채택

<표 2-98> V/C = 0.6 교통량에 대한 SA1 주방향 지체 변화 통계 분석

배차간격	일반차량 지체 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	8.00		0.01		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-34.85	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-14.65	0.20	0.05	H_0 채택
		S0-S3	-20.37	0.27	0.05	H_0 채택
		S1-S2	20.2	0.27	0.05	H_0 채택
		S1-S3	14.48	0.25	0.05	H_0 채택
		S2-S3	-5.72	0.61	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	4.96		0.03		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-36.75	0.04	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-16.88	0.15	0.05	H_0 채택
		S0-S3	-21.63	0.30	0.05	H_0 채택
		S1-S2	19.87	0.31	0.05	H_0 채택
		S1-S3	15.12	0.24	0.05	H_0 채택
		S2-S3	-4.75	0.71	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	2.99		0.10		H_0 기각

	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-29.65	0.04	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-18.83	0.14	0.05	H_0 채택
		S0-S3	-24.73	**0.34**	**0.05**	H_0 채택
		S1-S2	10.82	0.39	0.05	H_0 채택
		S1-S3	4.92	0.78	0.05	H_0 채택
		S2-S3	-5.9	0.60	0.05	H_0 채택

<표 2-99> V/C = 0.9 교통량에서의 SA1 주방향 지체 변화 통계 분석

배차간격	일반차량 지체 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	1.46		0.30		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-26.41	0.38	0.05	H_0 채택
		S0-S2	-15.2	0.77	0.05	H_0 채택
		S0-S3	-15.25	**0.77**	**0.05**	H_0 **채택**
		S1-S2	11.21	0.89	0.05	H_0 채택
		S1-S3	11.16	0.90	0.05	H_0 채택
		S2-S3	-0.05	0.99	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	1.04		0.43		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-18.32	0.55	0.05	H_0 채택
		S0-S2	-12.7	0.78	0.05	H_0 채택
		S0-S3	-12	**0.80**	**0.05**	H_0 **채택**
		S1-S2	5.62	0.99	0.05	H_0 채택
		S1-S3	6.32	0.99	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.7	0.99	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	1.56		0.27		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-24.33	0.34	0.05	H_0 채택
		S0-S2	-15.35	0.75	0.05	H_0 채택
		S0-S3	-15.9	**0.68**	**0.05**	H_0 **채택**
		S1-S2	8.98	0.99	0.05	H_0 채택
		S1-S3	8.43	0.99	0.05	H_0 채택
		S2-S3	-0.55	0.99	0.05	H_0 채택

② 연료소모량 및 대기오염물질 배출량 결과

○ 시나리오에 따른 일반차량의 네트워크 평균 연료소모량 및 대기오염물질(COx) 배출 시뮬레이션 결과는 <표 2-100>~<표 2-103>와 같음

○ 본 연구에서는 트램 시스템의 운영 및 전용차로 도입으로 인한 수단간 수요변화는 고려하지 않았고, 트램은 무가선 저상트램을 가정하여 연료소모 및 대기오염물질 배출에서 제외함

○ 연료소모량 및 대기오염물질(COx) 배출량은 일반차량의 지정체와 관련됨

- 일반적으로 교통량이 증가할수록 지정체가 증가하기 때문에 일반차량의 연료소모 및 대기오염물질(COx) 배출량이 증가함

- 트램과 일반차량은 차로가 분리되어 있기 때문에 트램의 배차간격은 일반차량의 연료소모 및 대기오염물질(COx) 배출량 변화에 거의 영향을 주지 않음

○ 트램의 연동폭을 최대화한 전략(S1)은 일반차량의 연동폭을 최대화한 전략(S0)에 비해 연료소모량은 약 0.015gal/대(30.28%), COx 배출량은 약 0.94g/대(26.93%)가 증가함

○ 하지만 트램의 연동과 일반차량 지체를 동시에 고려한 전략(S2)는 S1 대비 연료소모량을 최대 0.01gal/대(16.67%), COx 배출량은 최대 0.72g/대(8.52%) 절감할 수 있음

○ 통합 신호제어 전략(S3)은 일반차량 기준 전략(S0)에 비해 연료소모량은 약 0.01gal/대(26.11%), COx 배출량은 약 0.52g/대(15.08%) 증가시킴

○ 이는 전체 교통상황에 대한 평균을 비교한 것으로 일반차량 위주의 신호최적화 전략과 트램차량 위주의 신호최적화 전략의 비교에 대한 결과이고, 수단전환에 따른 통행량의 변화가 반영되지 않음

<표 2-100> 2019년 교통량에 대한 일반차량의 연료소모량 및 COx배출량

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)
3분	평균	0.05	3.74	0.06	4.41	0.06	4.17	0.06	4.19
	표준편차	0.01	0.16	0.00	0.05	0.00	0.07	0.00	0.06
	변동계수	0.11	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01
5분	평균	0.06	3.97	0.07	4.69	0.07	4.35	0.07	4.37
	표준편차	0.00	0.16	0.00	0.05	0.00	0.07	0.01	0.07
	변동계수	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02	0.08	0.01
10분	평균	0.06	4.11	0.07	4.93	0.07	4.57	0.07	4.60
	표준편차	0.00	0.25	0.00	0.06	0.00	0.08	0.01	0.09
	변동계수	0.00	0.06	0.00	0.01	0.00	0.02	0.08	0.02

<표 2-101> V/C = 0.3 교통량에 대한 일반차량의 연료소모량 및 COx배출량

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)
3분	평균	0.03	2.17	0.04	2.85	0.04	2.64	0.04	2.67
	표준편차	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03
	변동계수	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.13	0.01
5분	평균	0.03	2.22	0.04	2.92	0.04	2.60	0.04	2.63
	표준편차	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.04	0.01	0.04
	변동계수	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.13	0.01
10분	평균	0.03	2.26	0.04	2.97	0.04	2.65	0.04	2.62
	표준편차	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.04	0.01	0.08
	변동계수	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.13	0.03

<표 2-102> V/C = 0.6 교통량에 대한 일반차량의 연료소모량 및 COx배출량

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)
3분	평균	0.04	2.81	0.06	4.23	0.06	3.53	0.06	3.50
	표준편차	0.00	0.20	0.00	0.22	0.01	0.17	0.00	0.18
	변동계수	0.00	0.07	0.00	0.05	0.10	0.04	0.00	0.04
5분	평균	0.04	2.95	0.06	4.15	0.05	3.52	0.05	3.51
	표준편차	0.00	0.22	0.00	0.02	0.00	0.08	0.01	0.13
	변동계수	0.00	0.08	0.00	0.01	0.00	0.02	0.09	0.03
10분	평균	0.04	2.94	0.06	3.99	0.05	3.54	0.05	3.57
	표준편차	0.00	0.18	0.00	0.10	0.01	0.09	0.01	0.09
	변동계수	0.00	0.06	0.00	0.03	0.11	0.02	0.11	0.02

<표 2-103> V/C = 0.9 교통량에 대한 일반차량의 연료소모량 및 COx배출량

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)	연료소모 (gal/대)	COx배출 (g/대)
3분	평균	0.10	7.23	0.12	8.28	0.12	7.87	0.12	7.85
	표준편차	0.01	0.14	0.01	0.26	0.01	0.27	0.01	0.33
	변동계수	0.06	0.02	0.05	0.03	0.05	0.03	0.08	0.04
5분	평균	0.10	7.28	0.12	8.41	0.12	7.91	0.12	7.98
	표준편차	0.01	0.20	0.00	0.19	0.01	0.26	0.01	0.16
	변동계수	0.06	0.03	0.00	0.02	0.05	0.03	0.05	0.02
10분	평균	0.10	7.29	0.12	8.45	0.12	7.73	0.12	7.75
	표준편차	0.01	0.20	0.00	0.17	0.01	0.33	0.01	0.29
	변동계수	0.06	0.03	0.00	0.02	0.05	0.04	0.05	0.03

○ 시나리오에 따른 일반차량의 평균 연료소모량 및 대기오염물질(COx) 배출

량에 대한 통계분석을 실시한 결과, <표 2-104>~<표 2-111>과 같음

○ 일원분산분석(ANOVA) 및 사후검증(Tukey)을 수행한 결과, 일반차량 기준 전략(S0)과 통합 신호제어 전략(S3) 사이에는 일반차량 연료소모량 및 오염물질(COx) 배출량 변화에 통계적 유의성이 있음을 확인함

(H_0: "시나리오 간 결과 값의 평균이 같다.", H_0 기각 시 차이의 유의성이 있음, 유의수준 α=0.05)

<표 2-104> 2019년 장래 교통량에 대한 연료소모량 변화 통계 분석

배차간격	일반차량 연료소모량 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	4		0.05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.01	0.08	0.05	H_0 채택
		S0-S2	-0.01	0.08	0.05	H_0 채택
		S0-S3	-0.01	0.08	0.05	H_0 채택
		S1-S2	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	12		0.002		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.01	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.01	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.01	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	12		0.002		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.01	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.01	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.01	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.00	1.00	0.05	H_0 채택

<표 2-105> V/C = 0.3 교통량에 대한 연료소모량 변화 통계 분석

배차간격	일반차량 연료소모량 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	12		0.002		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.01	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.01	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.01	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.00	0.53	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.00	0.53	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	12		0.002		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.01	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.01	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.01	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.00	0.53	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.00	0.53	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	12		0.002		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.01	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.01	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.01	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.00	0.53	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.00	0.53	0.05	H_0 채택

<표 2-106> V/C = 0.6 교통량에 대한 연료소모량 변화 통계 분석

배차간격	일반차량 연료소모량 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	33		7.46e-05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.02	0.00	0.05	H_0 기각

		S0-S2	-0.02	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.02	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.00	0.53	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.00	0.53	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	41		3.34e-05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.02	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.01	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.01	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.01	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.01	0.53	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.00	0.53	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	12.67		0.002		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.02	0.001	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.01	0.02	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.01	0.02	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.01	0.26	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.01	0.26	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.00	1.00	0.05	H_0 채택

<표 2-107> V/C = 0.9 교통량에 대한 연료소모량 변화 통계 분석

배차간격	일반차량 연료소모량 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	3.28		0.08		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.02	0.17	0.05	H_0 채택
		S0-S2	-0.02	0.17	0.05	H_0 채택
		S0-S3	-0.02	0.08	0.05	H_0 채택
		S1-S2	0.00	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.00	0.94	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.00	0.94	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	9.22		0.01		H_0 기각

	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.02	0.02	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.02	0.046	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.02	0.01	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.00	0.85	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.00	0.85	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.00	0.41	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	9.22		0.01		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.02	0.02	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.02	0.046	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.02	0.01	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.00	0.85	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.00	0.85	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.00	0.41	0.05	H_0 채택

<표 2-108> 2019년 장래 교통량에 대한 COx 배출량 변화 통계 분석

배차간격	일반차량 오염물질(COx) 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	35.01		6e-05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.67	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.43	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.45	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.24	0.06	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.22	0.06	0.05	H_0 채택
		S2-S3	-0.02	0.99	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	37.63		4.59e-05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.72	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.38	0.02	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.4	0.01	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.34	0.03	0.05	H_0 기각
		S1-S3	0.32	0.03	0.05	H_0 기각
		S2-S3	-0.02	0.99	0.05	H_0 채택

	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	24.65		0.00		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
10분	Tukey	S0-S1	-0.82	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.46	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.49	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.36	0.03	0.05	H_0 기각
		S1-S3	0.33	0.03	0.05	H_0 기각
		S2-S3	-0.03	0.99	0.05	H_0 채택

<표 2-109> V/C = 0.3 교통량에 대한 COx 배출량 변화 통계 분석

배차간격	일반차량 오염물질(COx) 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	422.1		3.81e-09		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.68	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.47	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.5	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.21	0.06	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.18	0.06	0.05	H_0 채택
		S2-S3	-0.03	0.61	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	351.5		7.88e-09		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.7	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.38	0.02	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.41	0.01	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.32	0.03	0.05	H_0 기각
		S1-S3	0.29	0.06	0.05	H_0 채택
		S2-S3	-0.03	0.75	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	171.7		1.34e-07		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.71	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.39	0.02	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.36	0.03	0.05	H_0 기각

		S1-S2	0.32	0.03	0.05	H_0 기각
		S1-S3	0.35	0.03	0.05	H_0 기각
		S2-S3	0.03	0.70	0.05	H_0 채택

<표 2-110> V/C = 0.6 교통량에 대한 COx 배출량 변화 통계 분석

배차간격	일반차량 오염물질(COx) 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	36.41		5.19e-05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-1.42	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.72	0.03	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.69	0.03	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.7	0.03	0.05	H_0 기각
		S1-S3	0.73	0.03	0.05	H_0 기각
		S2-S3	0.03	0.99	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	52.56		1.31e-05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-1.2	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.57	0.04	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.56	0.04	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.63	0.03	0.05	H_0 기각
		S1-S3	0.64	0.03	0.05	H_0 기각
		S2-S3	0.01	1.00	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	54.84		1.12e-05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-1.05	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.6	0.03	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.63	0.03	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.45	0.06	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.42	0.06	0.05	H_0 채택
		S2-S3	-0.03	0.99	0.05	H_0 채택

<표 2-111> V/C = 0.9 교통량에 대한 COx 배출량 변화 통계 분석

배차간격	일반차량 오염물질(COx) 분석					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	11.28		0.003		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-1.05	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.64	0.02	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.62	0.02	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.41	0.03	0.05	H_0 기각
		S1-S3	0.43	0.03	0.05	H_0 기각
		S2-S3	0.02	0.99	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	21.44		0.002		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-1.13	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.63	0.02	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.7	0.01	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.5	0.03	0.05	H_0 기각
		S1-S3	0.43	0.03	0.05	H_0 기각
		S2-S3	-0.07	0.97	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	14.26		0.001		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-1.16	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-0.44	0.03	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-0.46	0.03	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.72	0.01	0.05	H_0 기각
		S1-S3	0.7	0.01	0.05	H_0 기각
		S2-S3	-0.02	0.99	0.05	H_0 채택

3) 사람당 평균 제어지체 분석 결과

- ○ 트램과 일반차량의 평균 재차인원을 고려하여 가로축 및 전체네트워크에 대한 사람당 총 평균 제어지체를 분석
- ○ 평균재차인원은 트램 73명/대(좌석과 입석 포함), 일반차량 1명/대를 적용함
- ○ 주 가로축(SA1 주방향) 및 전체 네트워크에 대한 사람당 평균지체를 구한 결과는 다음 <표 2-112>~<표 2-115>, <그림 2-140>과 같음
- ○ 신호제어 전략별 분석결과를 살펴보면, 일반차량을 대상으로 신호최적화를 수행한 전략(S0)보다 트램의 우선신호를 적용한 전략(S1, S2, S3)의 지체가 주방향과 네트워크 전체에서 모두 감소하였고, 트램에 대한 우선 통행권을 강화할수록 주방향과 네트워크의 지체를 감소함
- ○ 트램의 배차간격별 분석결과를 보면, 트램의 배차간격이 감소할수록 트램 전용차로의 효율 증가로 인해 주방향과 네트워크 전체의 사람당 평균 제어지체가 감소하였음
- ○ 트램 우선신호를 적용하기 전(S0)보다 적용 후(S3)에 사람당 총 지체가 SA1 가로축 구간에서 평균 45.62초(53.31%), 전체 네트워크에 대해서는 평균 4.95초(30.37%) 감소함
- ○ 이러한 결과는 대중교통 우선신호의 적용으로 인해 일반차량을 위주로 하는 신호제어 보다 대중교통 중심의 신호제어를 수행함으로서 사람당 지체는 감소할 수 있음을 보여줌

<표 2-112> 2019년 장래 교통량에 대한 사람당 총 운영지체

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)
3분	평균	73.59	15.63	40.93	8.90	39.60	8.88	31.60	7.26
	표준편차	2.04	0.47	0.66	0.25	1.65	0.26	2.98	0.90
	변동계수	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.09	0.12
5분	평균	81.09	15.86	41.74	8.91	41.72	8.89	30.47	7.04
	표준편차	4.99	0.06	1.45	0.47	1.43	0.50	1.69	0.16
	변동계수	0.06	0.00	0.03	0.05	0.03	0.06	0.06	0.02
10분	평균	72.93	14.03	42.69	9.20	42.66	9.16	34.25	7.16
	표준편차	10.87	0.99	1.49	0.39	1.47	0.41	1.06	0.13
	변동계수	0.15	0.07	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.02

<표 2-113> V/C = 0.3 교통량에 대한 사람당 총 운영지체

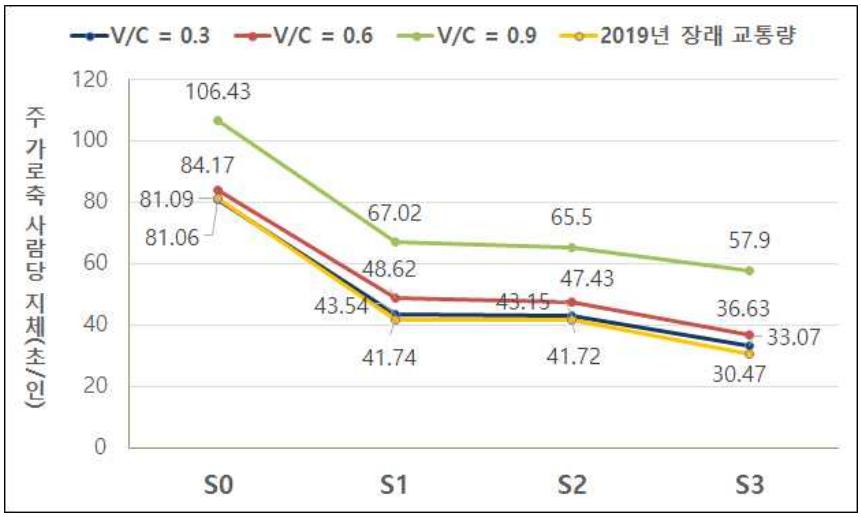
신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)
3분	평균	76.26	14.97	43.40	10.20	41.78	10.14	33.94	8.85
	표준편차	4.10	0.66	2.35	0.23	2.67	0.26	3.03	0.72
	변동계수	0.05	0.04	0.05	0.02	0.06	0.03	0.09	0.08
5분	평균	81.06	14.65	43.54	10.61	43.15	10.57	33.07	9.33
	표준편차	5.90	0.12	2.88	0.40	1.55	0.34	2.51	0.23
	변동계수	0.07	0.01	0.07	0.04	0.04	0.03	0.08	0.02
10분	평균	70.71	12.79	46.32	11.48	45.24	11.39	33.55	10.18
	표준편차	9.08	0.59	4.43	0.12	1.86	0.14	1.68	0.31
	변동계수	0.13	0.05	0.10	0.01	0.04	0.01	0.05	0.03

<표 2-114> V/C = 0.6 교통량에 대한 사람당 총 운영지체

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)
3분	평균	83.02	16.05	45.68	12.75	44.41	12.56	36.11	11.30
	표준편차	7.88	0.95	3.11	0.50	3.13	0.30	2.79	0.21
	변동계수	0.09	0.06	0.07	0.04	0.07	0.02	0.08	0.02
5분	평균	84.17	15.85	48.62	13.78	47.43	13.33	36.63	12.18
	표준편차	6.15	1.01	2.90	0.34	3.07	0.39	1.39	0.25
	변동계수	0.07	0.06	0.06	0.02	0.06	0.03	0.04	0.02
10분	평균	92.01	15.26	54.73	15.04	53.08	14.76	43.45	13.55
	표준편차	19.25	1.65	2.28	0.26	1.18	0.12	5.60	0.33
	변동계수	0.21	0.11	0.04	0.02	0.02	0.01	0.13	0.02

<표 2-115> V/C = 0.9 교통량에 대한 사람당 총 운영지체

신호전략		S0		S1		S2		S3	
트램 배차 간격	구분	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)	SA1 주방향 (초/인)	네트워크 (초/인)
3분	평균	99.03	23.44	58.42	20.31	56.38	20.13	48.73	19.69
	표준편차	8.12	0.98	2.92	0.04	3.03	0.10	5.45	0.34
	변동계수	0.08	0.04	0.05	0.00	0.05	0.00	0.11	0.02
5분	평균	106.43	25.04	67.02	23.23	65.50	23.03	57.90	20.78
	표준편차	5.09	0.95	3.24	0.22	2.58	0.24	2.62	0.32
	변동계수	0.05	0.04	0.05	0.01	0.04	0.01	0.05	0.02
10분	평균	123.76	26.87	88.19	27.16	86.17	26.80	76.96	23.71
	표준편차	15.71	1.45	5.23	0.34	6.10	0.08	3.44	0.56
	변동계수	0.13	0.05	0.06	0.01	0.07	0.00	0.04	0.02



<그림 2-140> 배차간격 5분의 사람당 평균 지체 변화

○ 시나리오별 사람당 평균지체에 대한 통계분석을 수행한 결과는 <표 2-116>~<표 2-119>와 같음

○ 일원분산분석(ANOVA) 및 사후검증(Tukey)을 수행한 결과, 일반차량 기준 전략(S0)과 트램 우선신호 전략 사이에는 사람당 평균지체 변화에 통계적 유의성이 있음을 확인함

(H_0: "시나리오 간 결과 값의 평균이 같다.", H_0 기각 시 차이의 유의성이 있음, 유의수준 α=0.05)

○ 트램 우선신호를 적용하면 사람당 평균지체가 통계적으로 유의한 수준으로 감소하는 결과를 나타냄

<표 2-116> 2019년 교통량에 대한 사람당 네트워크 총 지체 변화 통계 분석

배차간격	네트워크 사람당 총 지체(초/인)				
3분	사전검증	F		기각F	검증결과
	ANOVA	69.06		4.63e-06	H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	109.55	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	109.60	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	119.12	0.00	0.05	H_0 기각

		S1-S2	0.05	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	9.57	0.76	0.05	H_0 채택
		S2-S3	9.52	0.76	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	366.5		6.68e-09		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	6.95	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	6.97	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	8.82	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.02	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.87	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.85	0.00	0.05	H_0 기각
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	77.8		2.93e-06		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	4.83	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	4.86	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	6.87	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.03	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	2.04	0.01	0.05	H_0 기각
		S2-S3	2.01	0.01	0.05	H_0 기각

<표 2-117> V/C=0.3 교통량에 대한 사람당 네트워크 총 지체 변화 통계 분석

배차간격	네트워크 사람당 총 지체(초/인)				
3분	사전검증	F		기각F	검증결과
	ANOVA	80.9		2.52e-06	H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	4.76	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	4.83	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	6.12	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.07	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.36	0.0498	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.29	0.06	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	189.7		9.04e-08		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	4.04	0.00	0.05	H_0 기각

		S0-S2	4.07	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	5.32	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.03	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.28	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.24	0.00	0.05	H_0 기각
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	28.67		0.0001		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	1.30	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S2	1.39	0.004	0.05	H_0 기각
		S0-S3	2.61	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.09	0.99	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.31	0.01	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.22	0.01	0.05	H_0 기각

<표 2-118> V/C = 0.6 교통량에 대한 사람당 네트워크 총 지체 변화 통계 분석

배차간격	네트워크 사람당 총 지체(초/인)					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	38.15		4.36e-05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	3.30	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	3.49	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	4.75	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.19	0.98	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.45	0.06	0.05	H_0 채택
		S2-S3	1.26	0.10	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	21.13		0.00		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	2.07	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S2	2.52	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	3.67	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.45	0.77	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.60	0.04	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.15	0.15	0.05	H_0 채택
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	2.41		0.14		H_0 기각

	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	0.22	0.99	0.05	H_0 채택
		S0-S2	0.50	0.89	0.05	H_0 채택
		S0-S3	1.71	0.14	0.05	H_0 채택
		S1-S2	0.28	0.98	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.49	0.22	0.05	H_0 채택
		S2-S3	1.21	0.36	0.05	H_0 채택

<표 2-119> V/C = 0.9 교통량에 대한 사람당 네트워크 총 지체 변화 통계 분석

배차간격	네트워크 사람당 총 지체(초/인)					
3분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	32.66		7.75e-05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	3.13	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	3.31	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	3.75	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.18	0.97	0.05	H_0 채택
		S1-S3	0.62	0.51	0.05	H_0 채택
		S2-S3	0.44	0.74	0.05	H_0 채택
5분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	34.13		6.59e-05		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	1.81	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S2	2.02	0.01	0.05	H_0 기각
		S0-S3	4.24	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.20	0.96	0.05	H_0 채택
		S1-S3	2.43	0.001	0.05	H_0 기각
		S2-S3	2.22	0.003	0.05	H_0 기각
10분	사전검증	F		기각F		검증결과
	ANOVA	12.53		0.002		H_0 기각
	사후검증	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
	Tukey	S0-S1	-0.30	0.97	0.05	H_0 채택
		S0-S2	0.07	1.00	0.05	H_0 채택
		S0-S3	3.15	0.01	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.36	0.94	0.05	H_0 채택
		S1-S3	3.45	0.003	0.05	H_0 기각
		S2-S3	3.09	0.01	0.05	H_0 기각

4) 시간당 최대 승객 수송용량 분석 결과

- ○ 시간당 최대 승객 수송용량은 대상구간의 트램의 배차간격 및 일반차량의 교통량이 변화함에 따라 적용된 신호제어 전략이 승객의 수송용량에 미치는 영향을 알아보기 위해 분석을 수행
- ○ 시뮬레이션 조건에서 가정한 트램의 3분, 5분, 10분의 배차간격에 대해 최대 승객수송량의 변화를 분석함
- ○ 시간당 최대 승객수송량은 S0~S3까지 각 신호제어 전략의 변화함에 따라 트램과 일반차량의 통과교통량이 변화하고, 동일한 전략에서 트램차량의 배차간격과 일반차량의 V/C가 변화함에 따라 각각의 통과교톨양이 변화함
- ○ 트램의 배차간격의 변화에 대한 시간당 최대 승객수송량의 변화의 변화를 살펴보면, 배차간격이 커질수록 트램의 시간당 통과차량수가 감소하게 되어 모든 V/C 조건에서 최대 승객 수용용량은 감소하는 경향을 나타냄
  - 배차간격이 3분에서 5분으로 증가함에 따라 최대수송용량 약 40% 감소
  - 배차간격이 5분에서 10분으로 증가함에 따라 최대수송용량 약 50% 감소
- ○ 일반차량의 교통량 변화에 대한 시간당 최대 승객수송량의 변화를 살펴보면, V/C가 증가함에 따라 최대 승객 수용용량이 증가하지만 증가율은 트램의 배차간격에 대한 변화율 보다 작게 나타남
  - 일반차량의 V/C가 0.3, 0.6, 0.9로 변화함에 따라 최대 승객수송용량은 각각 2.4%, 1.5%, 1.2%로 변화하고, 과포호가 될수록 증가율은 점점 낮아지는 경향을 나타냄
- ○ 이는 일반차량의 V/C가 증가하여도 도로의 용량에는 한계가 있기 때문에 승객의 최대 수송용량의 변화에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단
- ○ 전용차로를 사용하고 승객의 수송용량이 큰 트램의 경우에는 일정 시간동안 통과교통량이 보장되므로 배차간격의 변화에 대한 최대 수송용량의 변화율이 크게 나타나는 것으로 분석됨
- ○ 신호제어 전략의 변화에 따른 수송용량의 변화를 살펴보면, 통합 신호제어 전략을 적용했을 때 V/C=0.6의 교통량에서 6.5% 최대 증가율을 나타내고, 트램의 우선신호 전략을 적용한 경우(S1~S4)에 일반차량 중심의 신호최적화

전략(S0)보다 최대 수송용량이 증가되는 결과를 나타냄

<표 2-120> 2019년 장래 교통량에 대한 시간당 최대 승객 수송용량

신호전략		최대 승객 수송용량(인/시)			
트램 배차 간격	구분	S0	S1	S2	S3
3분	평균	4083.25	4406.67	4407.94	4412.21
	표준편차	81.67	132.20	44.08	220.61
	변동계수	0.02	0.03	0.01	0.05
5분	평균	2440.75	2545.17	2546.44	2546.44
	표준편차	48.82	127.26	50.93	101.86
	변동계수	0.02	0.05	0.02	0.04
10분	평균	1236.25	1340.67	1341.94	1347.02
	표준편차	61.81	120.66	93.94	13.47
	변동계수	0.05	0.09	0.07	0.01

<표 2-121> V/C=0.3 교통량에 대한 시간당 최대 승객 수송용량

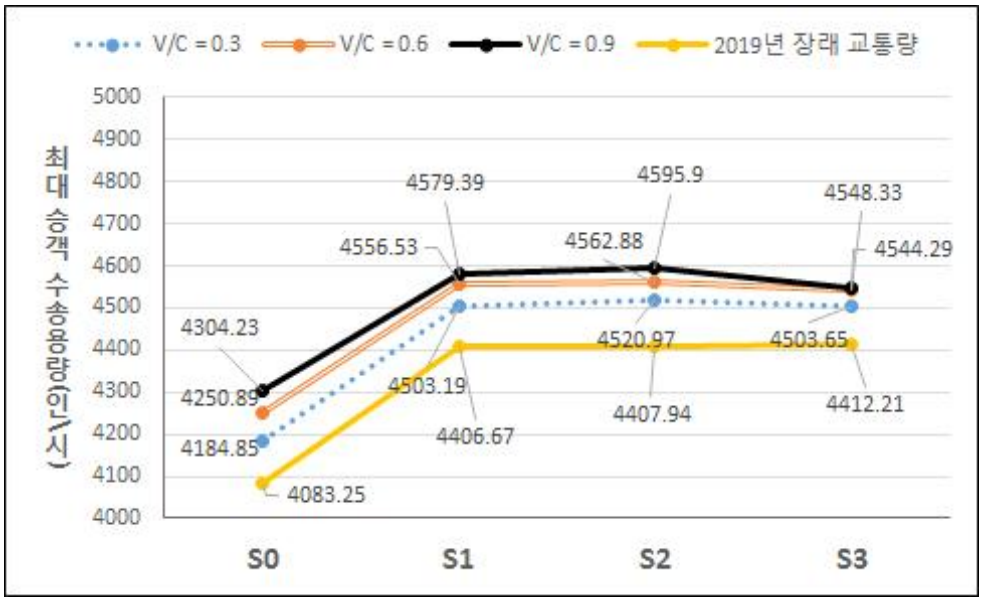
신호전략		최대 승객 수송용량(인/시)			
트램 배차 간격	구분	S0	S1	S2	S3
3분	평균	4184.85	4503.19	4520.97	4503.65
	표준편차	83.70	225.16	180.84	270.22
	변동계수	0.02	0.05	0.04	0.06
5분	평균	2541.08	2640.42	2658.20	2635.34
	표준편차	76.23	52.81	186.07	131.77
	변동계수	0.03	0.02	0.07	0.05
10분	평균	1336.58	1439.73	1453.70	1437.19
	표준편차	80.19	43.19	43.61	71.86
	변동계수	0.06	0.03	0.03	0.05

<표 2-122> V/C=0.6 교통량에 대한 시간당 최대 승객 수송용량

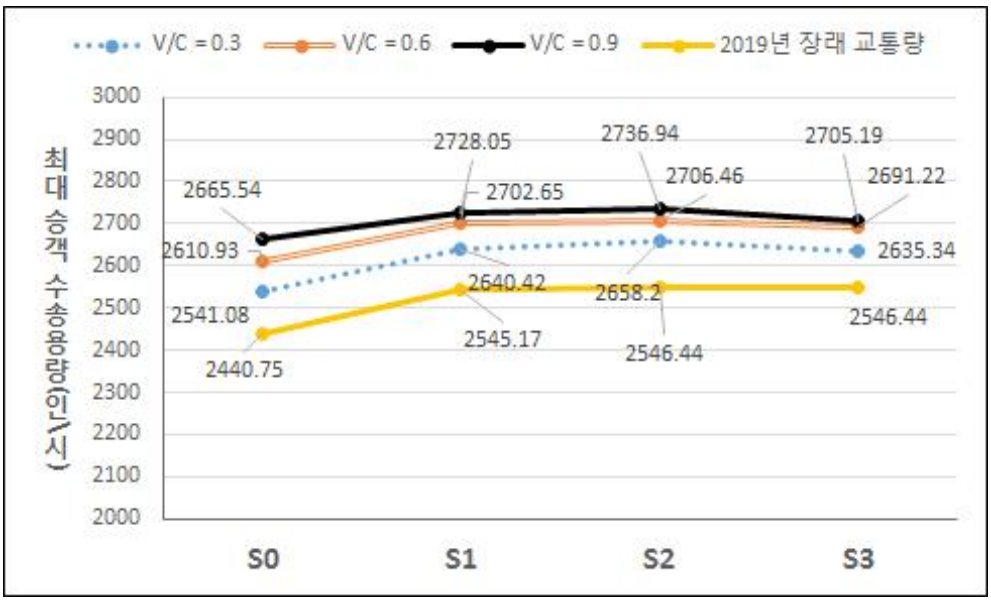
신호전략		최대 승객 수송용량(인/시)			
트램 배차 간격	구분	S0	S1	S2	S3
3분	평균	4250.89	4556.53	4562.88	4544.29
	표준편차	85.02	227.83	182.52	272.66
	변동계수	0.02	0.05	0.04	0.06
5분	평균	2610.93	2702.65	2706.46	2691.22
	표준편차	78.33	135.13	162.39	134.56
	변동계수	0.03	0.05	0.06	0.05
10분	평균	1392.46	1484.18	1509.58	1499.42
	표준편차	55.70	118.73	105.67	29.99
	변동계수	0.04	0.08	0.07	0.02

<표 2-123> V/C=0.9 교통량에 대한 시간당 최대 승객 수송용량

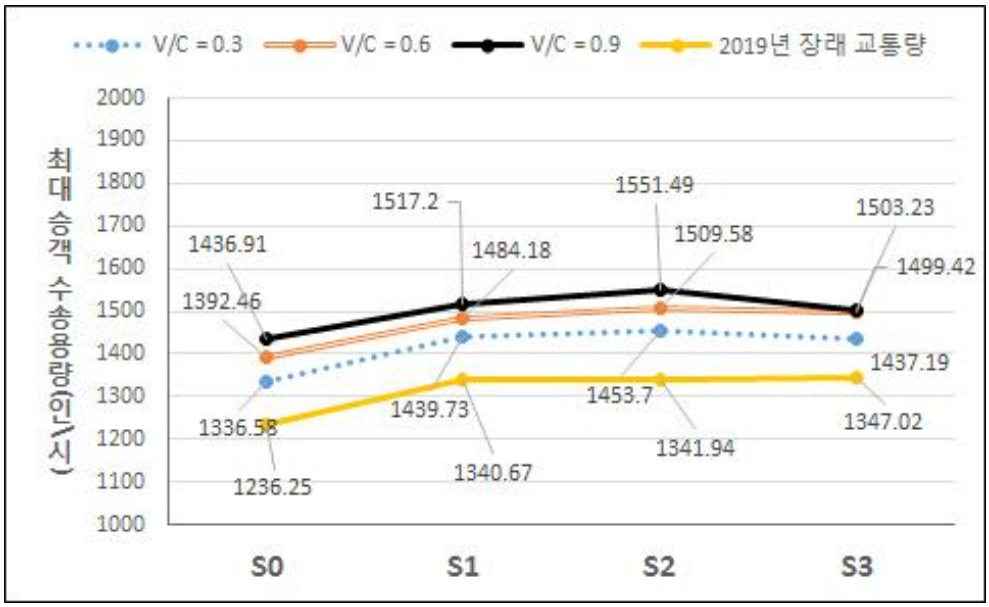
신호전략		최대 승객 수송용량(인/시)			
트램 배차 간격	구분	S0	S1	S2	S3
3분	평균	4304.23	4579.39	4595.90	4548.33
	표준편차	129.13	45.79	183.84	227.42
	변동계수	0.03	0.01	0.04	0.05
5분	평균	2665.54	2728.05	2736.94	2705.19
	표준편차	133.28	136.40	54.74	54.10
	변동계수	0.05	0.05	0.02	0.02
10분	평균	1436.91	1517.20	1551.49	1503.23
	표준편차	86.21	106.20	31.03	45.10
	변동계수	0.06	0.07	0.02	0.03



<그림 2-141> 트램 배차간격 3분 운영시, 최대 승객 수송용량 변화



<그림 2-142> 트램 배차간격 5분 운영시, 최대 승객 수송용량 변화



<그림 2-143> 트램 배차간격 10분 운영시, 최대 승객 수송용량 변화

5) 능동식 우선신호 제어횟수 분석

- ○ 통합 신호제어전략에서 트램의 교차로 무정차 통행과 정류장에서 정차시간을 줄이기 위해 수행된 양방향의 능동식 우선신호의 횟수를 분석
- ○ 능동식 우선신호 기법은 본 연구의 능동식 우선신호 제어 알고리즘으로 적용된 Early Green, Green Extension, Phase Insertion 기법이 적용됨
- ○ 능동식 우신신호 제어는 통합 신호제어전략(S3)에서만 적용되었으므로 S3 전략에 대해서 트램의 3분, 5분, 10분의 배차간격에 대한 우선신호 수행횟수를 분석함
- ○ 배차간격에 대한 우선신호 수행율의 변화를 살펴보면, 트램의 배차간격이 좁아져서 통행량이 늘어날수록 능동식 우선신호의 수행횟수는 증가하고, 전체 수행율은 82.4%로 분석됨
- ○ 이는 트램이 정류장에 정차했을 때, 트램의 정차시간을 최소화하거나 트램의 교차로 무정차 통과를 지원하기 위해 대부분 능동식 우선신호를 요청하여 이를 수행하였다는 것을 의미함

○ 제어기법 중 Early Green의 시행횟수가 가장 많은 빈도수를 나타냈고, Phase Insertion 기법의 경우에는 교차로에서 양방향의 트램이 교통하는 상황에서만 시행되는 제약과 교차로의 최소녹색시간에 대한 제약을 받는 이유로 대부분 수행되지 못함

- 이는 1시에 트램이 교차로에 도착할 확률이 낮기 때문에 Green Extension이 수행되는 것보다 Early Green 기법이 수행될 확률이 높아지는 것으로 판단됨

- Phase Insertion 기법은 타 이동류에 충격을 줄 수 있으므로 통합 신호제어 전략의 알고리즘에서 양방향에서 트램이 동시에 요청하는 경우를 제외하고, 적용을 제한하여 시행횟수가 가장 적게 나타남

○ 다만, 트램의 배차간격이 줄어들수록 양방향의 트램이 한 교차로에서 동시에 우선신호를 요청하는 상황이 발생되고, 그에 따른 Phase Insertion 기법의 수행빈도가 조금씩 증가하는 경향을 나타냄

- 배차간격이 3분에서 5분으로 증가 시, 약 38% 감소

- 배차간격이 5분에서 10분으로 증가 시, 약 51% 감소

○ 일반차량의 교통량 변화에 대한 능동식 우선신호의 수행율의 변화를 살펴보면, SA1과 SA2에 대한 총 수행횟수가 일반차량의 교통량이 변화하여도 평균 수행횟수에 변화가 없는 것으로 분석되어 교통량의 증가에도 교차로의 최소 정차시간의 변화가 없는 경우에는 트램 우선신호 제어에 대한 능동식 우선신호의 수행 영향이 없음을 확인

○ 주방향에 트램 전용차로만 존재하는 SA2구간은 계획된 최적현시 순서가 2현시로 구성되기 때문에 능동식 우선신호의 수행횟수가 줄어들고, 고정식 우선신호에 의해 대부분 신호제어가 수행되는 것으로 분석됨

<표 2-124> 2019년 장래 교통량에 대한 능동식 우신신호 제어횟수

능동식 우선신호 기법		Early Green		Green Extension		Phase Insertion		적용되지 않음		총 검지수 / 수행율	
트램 배차 간격	구분	SA1	SA2	SA1	SA2	SA1	SA2	SA1	SA2	SA1	SA2
3분	수행횟수(회)	22.6	38.2	7.1	11.1	2.4	3.6	5.5	46.1	37.6	99.0
	수행율(%)	60.1	38.6	18.9	11.2	6.4	3.6	14.6	46.6	85.4	53.4
5분	수행횟수(회)	14.1	28.2	4.1	7.2	1.6	1.2	4.5	33.5	24.3	70.1
	수행율(%)	58.0	40.2	16.9	10.3	6.6	1.7	18.5	47.8	81.5	52.2
10분	수행횟수(회)	6.9	12.6	2.5	3.6	0.6	0.0	3.5	18.3	13.5	34.5
	수행율(%)	51.1	36.5	18.5	10.4	4.4	0.0	25.9	53.0	74.1	47.0

<표 2-125> V/C=0.3 교통량에 대한 능동식 우신신호 제어횟수

능동식 우선신호 기법		Early Green		Green Extension		Phase Insertion		적용되지 않음		총 검지수 / 수율	
트램 배차 간격	구분	SA1	SA2	SA1	SA2	SA1	SA2	SA1	SA2	SA1	SA2
3분	수행횟수(회)	22.9	36.9	8.2	10.7	2.2	3.4	4.2	47.2	37.5	98.2
	수행율(%)	60.3	37.6	21.9	10.9	5.9	3.5	11.2	48.1	88.0	51.9
5분	수행횟수(회)	13.9	27.0	3.9	7.2	1.5	1.4	4.9	33.9	24.2	69.5
	수행율(%)	57.4	38.8	16.1	10.4	6.2	2.0	20.2	48.8	79.8	51.2
10분	수행횟수(회)	6.9	12.0	2.7	3.3	0.6	0.2	3.4	18.2	13.6	33.7
	수행율(%)	50.7	35.6	19.9	9.8	4.4	0.6	25.0	54.0	75.0	46.0

<표 2-126> V/C=0.6 교통량에 대한 능동식 우신신호 제어횟수

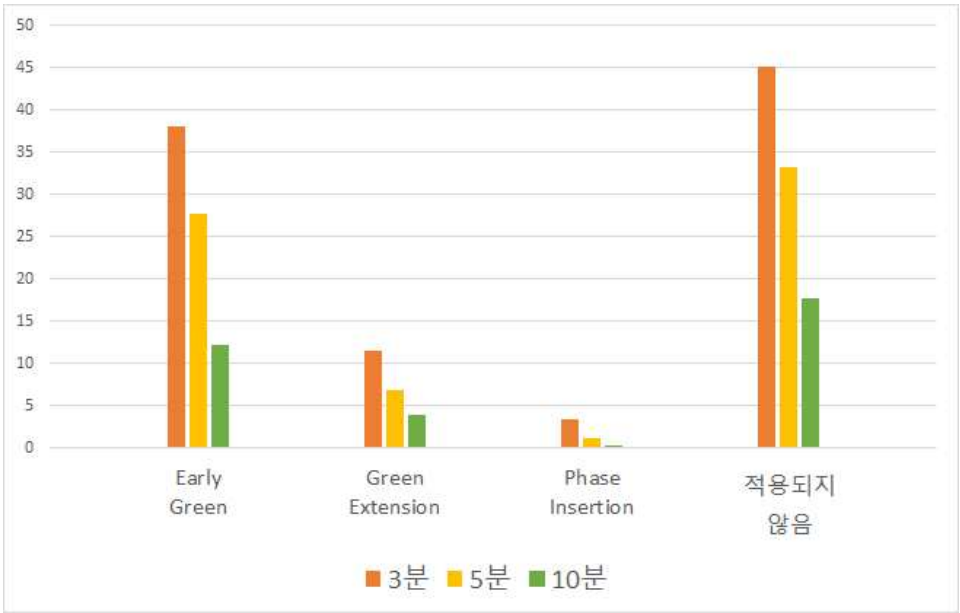
능동식 우선신호 기법		Early Green		Green Extension		Phase Insertion		적용되지 않음		총 검지수 / 수행율	
트램 배차 간격	구분	SA1	SA2	SA1	SA2	SA1	SA2	SA1	SA2	SA1	SA2
3분	수행횟수(회)	22.3	38.0	7.2	11.5	2.2	3.4	5.5	45.1	37.2	98.0
	수행율(%)	59.9	38.8	19.4	11.7	5.9	3.5	14.8	46.0	85.2	54.0
5분	수행횟수(회)	14.3	27.7	4.0	6.9	1.6	1.2	4.4	33.2	24.3	69.0
	수행율(%)	58.8	40.1	16.5	10.0	6.6	1.7	18.1	48.1	81.9	51.9
10분	수행횟수(회)	6.8	12.2	2.9	4.0	0.8	0.4	3.1	17.8	13.6	34.4
	수행율(%)	50.0	35.5	21.3	11.6	5.9	1.2	22.8	51.7	77.2	48.3

<표 2-127> V/C=0.9 교통량에 대한 능동식 우신신호 제어횟수

능동식 우선신호 기법		Early Green		Green Extension		Phase Insertion		적용되지 않음		총 검지수 / 수행율	
트램 배차 간격	구분	SA1	SA2	SA1	SA2	SA1	SA2	SA1	SA2	SA1	SA2
3분	수행횟수(회)	22.4	37.8	7.6	12.1	2.4	3.6	5.1	44.6	37.5	98.1
	수행율(%)	59.7	38.5	20.3	12.3	6.4	3.7	13.6	45.5	86.4	54.5
5분	수행횟수(회)	13.8	27.9	3.7	7.0	1.3	1.4	5.0	32.5	23.8	68.8
	수행율(%)	58.0	40.6	15.5	10.2	5.5	2.0	21.0	47.2	79.0	52.8
10분	수행횟수(회)	6.7	12.4	2.2	3.3	0.4	0.2	3.8	18.3	13.1	34.2
	수행율(%)	51.1	36.3	16.8	9.6	3.1	0.6	29.0	53.5	71.0	46.5



<그림 2-144> SA1의 능동식 우선신호 제어횟수 변화



<그림 2-145> SA2의 능동식 우선신호 제어횟수 변화

6) 배차간격과 교통량 변화에 대한 민감도 분석

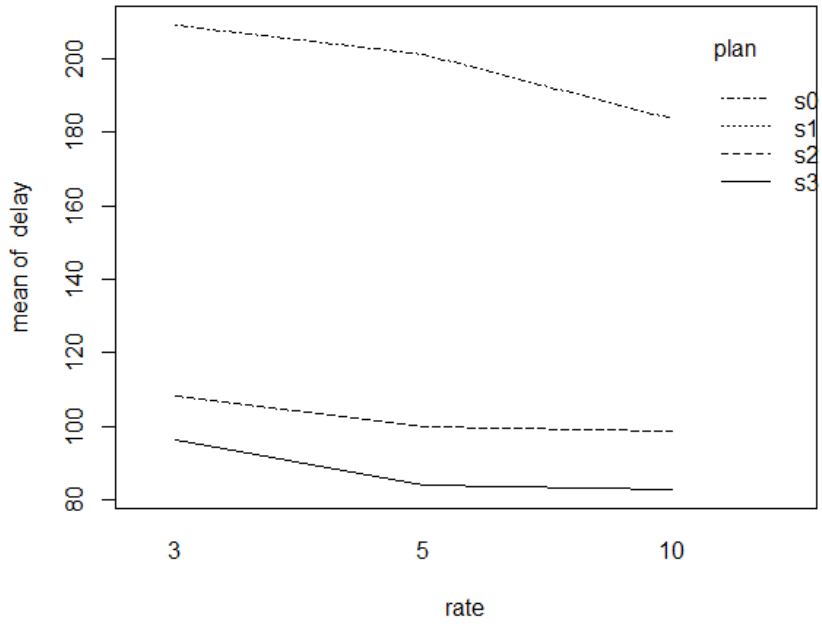
- ○ 각각의 신호제어전략에 대해서 트램의 배차간격과 일반차량의 교통량 변화에 따라 트램과 일반차량의 운영지체 및 사람당 지체의 변화를 살펴보기 위해 민감도 분석을 수행함
- ○ 트램은 전용차로를 이용하기 때문에, 트램의 지체변화는 교통량보다는 트램 배차간격에 영향을 받을 것으로 예상되고, 일반차량의 지체변화는 일반교통량 변화에 영향을 받을 것으로 예상되고, S3 전략의 경우에는 트램의 도착에 따라 실시간으로 신호시간이 변화되기 때문에 트램의 배차간격에도 영향을 받을 것으로 판단됨
- ○ 트램 배차간격과 신호제어전략, 교통량 변화와 신호제어전략 (2가지 요인)에 의한 민감도 분석을 수행하기 위해 이원분산분석(Two-way ANOVA)을 수행함
- ○ 트램의 배차간격과 신호전략에 따른 트램 지체 변화 민감도 통계 분석은 <표 2-129>와 같음
  (H_0: “시나리오 간 결과 값의 평균이 같다.”, H_0 기각 시 차이의 유의성이 있음, 유의수준 α=0.05)
- ○ 이원분산분석 결과, 트램의 배차간격과 신호제어전략의 각 인자와 배차간격과 신호제어전략 상호작용은 트램의 지체 변화에 통계적 유의성을 주는 것으로 나타남
- ○ 사후검증(Tukey)을 수행한 결과, 트램 배차간격은 5분과 10분 사이에는 트램의 지체에 통계적 의미가 있는 수준으로 차이를 발생시키지 않는 것으로 나타났으며, 이는 배차간격이 5분 이상이 되면 트램의 지체가 크게 증가하지 않는다는 것을 의미함
- ○ <그림 2-146>을 통해 트램의 지체에 대한 트램 배차간격과 신호제어전략의 상호작용이 있음을 확인할 수 있는데, S0는 트램이 아닌 일반차량을 기준으로 최적화한 것이기 때문에 다른 전략과 그래프 형태가 다르게 나타남

<표 2-128> 트램 배차간격과 신호전략에 따른 트램 운영지체 변화

신호전략		트램 전 구간 평균 운영지체(초/대)			
트램 배차 간격	구분	S0	S1	S2	S3
3분	평균	209.00	108.35	108.35	96.44
	표준편차	7.76	7.87	7.87	5.53
	변동계수	0.04	0.07	0.07	0.06
5분	평균	200.95	99.85	99.85	83.90
	표준편차	7.50	7.45	7.45	3.89
	변동계수	0.04	0.07	0.07	0.05
10분	평균	183.43	98.93	98.93	82.95
	표준편차	13.59	7.26	7.26	3.93
	변동계수	0.07	0.07	0.07	0.05

<표 2-129> 배차간격과 신호전략에 따른 트램 지체 민감도 통계 분석 결과

분석유형	트램 전 구간 평균 운영지체(초/대)					
사전검증	인자	F		기각F		검증결과
Two-way ANOVA	배차간격	11.05		0.0004		H_0 기각
Two-way ANOVA	신호전략	393.83		2e-16		H_0 기각
Two-way ANOVA	배차간격& 신호전략	1.124		0.38		H_0 기각
사후검증	인자	pair	평균차	유의확률 p	기각p	검증결과
Tukey	배차간격	3분-5분	9.40	0.02	0.05	H_0 기각
		3분-10분	14.47	0.00	0.05	H_0 기각
		5분-10분	5.07	0.26	0.05	H_0 채택
Tukey	신호전략	S0-S1	9.54	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	9.54	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	1.10	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	1.42	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.46	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.46	0.00	0.05	H_0 기각



<그림 2-146> 트램의 지체에 대한 트램 배차간격과 신호전략의 상호 작용

○ 일반 교통량과 신호전략, 트램의 배차간격과 신호전략에 따른 일반차량의 지체 변화 민감도 통계 분석은 <표 2-130>~<표 2-133>와 같음
(H_0: "시나리오 간 결과 값의 평균이 같다.", H_0 기각 시 차이의 유의성이 있음, 유의수준 α=0.05)

○ 이원분산분석 결과, 일반 교통량과 신호전략 각 인자와 교통량 & 신호전략 상호작용은 일반차량의 지체 변화 민감도에 통계적 유의성을 주는 것으로 나타남

○ 교통량에 대한 일반차량 지체 변화의 사후검증(Tukey)을 수행한 결과, V/C = 0.6과 V/C = 0.9 사이에 가장 큰 지체 변화가 발생하는데, 이는 V/C = 0.6~0.9 사이에 교통류가 와해되어 정체상태가 발생되기 때문임

○ <그림 2-147>을 통해 일반차량의 지체에 대한 교통량과 신호전략의 상호작용이 있음을 확인할 수 있는데, 교통량이 증가하면 신호제어전략에 따른 일반차량의 지체 증가 반응이 커지는 것을 알 수 있음

○ 이원분산분석 결과, 트램의 배차간격은 신호전략 별 일반차량 지체 변화 민감도에 통계적 유의성을 주는 것으로 나타남

○ <그림 2-148>을 통해 일반차량의 지체에 대한 트램 배차간격과 신호전략의 상호작용이 있음을 확인할 수 있는데, S3 전략은 트램 우선신호 요청 시점에 따라 실시간으로 신호시간을 갱신하기 때문에 타 전략과는 다르게 트램 배차간격이 작을수록 일반차량 지체를 증가시킴

<표 2-130> 일반 교통량과 신호전략에 따른 일반차량의 제어지체 변화

신호전략		일반차량 네트워크 평균 제어지체(초/대/교차로)			
교통량 변화	구분	S0	S1	S2	S3
① 2019년 예측 교통량	평균	8.13	10.40	10.31	9.77
	표준편차	0.58	0.06	0.16	0.59
	변동계수	0.07	0.01	0.02	0.05
② V/C = 0.3	평균	8.63	12.11	12.04	11.19
	표준편차	0.15	0.20	0.22	0.11
	변동계수	0.02	0.02	0.02	0.01
③ V/C = 0.6	평균	9.75	13.67	13.23	12.70
	표준편차	0.39	0.13	0.32	0.19
	변동계수	0.04	0.01	0.02	0.01
④ V/C = 0.9	평균	15.69	18.44	18.28	17.34
	표준편차	0.40	0.08	0.12	0.24
	변동계수	0.03	0.00	0.01	0.01

<표 2-131> 트램 배차간격과 신호전략에 따른 일반차량 제어지체 변화

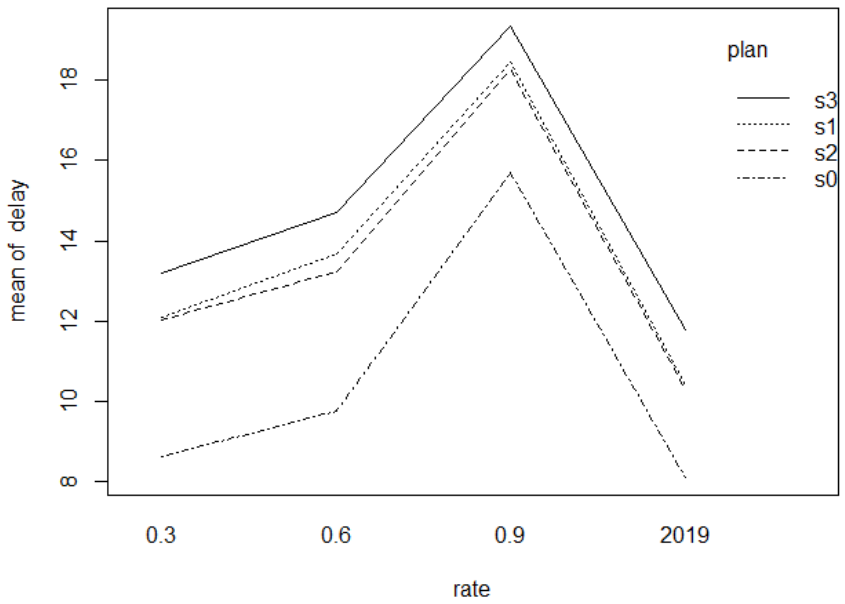
신호전략		일반차량 네트워크 평균 제어지체(초/대/교차로)			
트램 배차 간격	구분	S0	S1	S2	S3
3분	평균	8.13	10.40	10.31	9.42
	표준편차	0.59	0.06	0.16	0.64
	변동계수	0.07	0.01	0.02	0.05
5분	평균	8.13	10.40	10.31	9.77
	표준편차	0.58	0.06	0.16	0.59
	변동계수	0.07	0.01	0.02	0.05
10분	평균	8.13	10.40	10.31	9.33
	표준편차	0.58	0.05	0.16	0.12
	변동계수	0.07	0.01	0.02	0.01

<표 2-132> 교통량과 신호전략에 따른 일반차량 지체 민감도 통계분석 결과

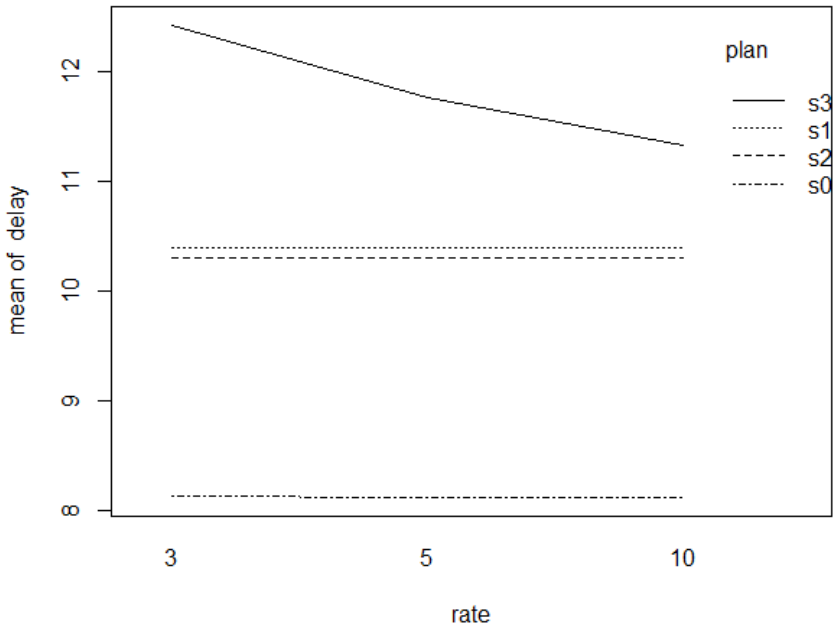
분석유형	일반차량 네트워크 평균 제어지체(초/대/교차로)					
사전검증	인자	F		기각F		검증결과
Two-way ANOVA	교통량	1624.126		2e-16		H_0 기각
Two-way ANOVA	신호전략	451.445		2e-16		H_0 기각
Two-way ANOVA	교통량 &신호전략	4.33		0.0009		H_0 기각
사후검증	인자	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
Tukey	교통량	①-②	-1.34	0.00	0.05	H_0 기각
		①-③	-2.69	0.00	0.05	H_0 기각
		①-④	-7.79	0.00	0.05	H_0 기각
		②-③	-1.34	0.00	0.05	H_0 기각
		②-④	-6.45	0.00	0.05	H_0 기각
		③-④	-5.10	0.00	0.05	H_0 기각
Tukey	신호전략	S0-S1	-3.10	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-2.92	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-4.20	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.19	0.39	0.05	H_0 채택
		S1-S3	-1.10	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	-1.29	0.00	0.05	H_0 기각

<표 2-133> 배차간격과 신호전략에 따른 일반차량 지체 민감도 통계분석 결과

분석유형	일반차량 네트워크 평균 운영지체(초/대/교차로)					
사전검증	인자	F		기각F		검증결과
Two-way ANOVA	배차간격	1.67		0.25		H_0 기각
Two-way ANOVA	신호전략	135.71		3.47e-15		H_0 기각
Two-way ANOVA	배차간격& 신호전략	1.44		0.24		H_0 기각
사후검증	인자	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
Tukey	배차간격	3분-5분	0.16	0.58	0.05	H_0 채택
		3분-10분	0.27	0.23	0.05	H_0 채택
		5분-10분	0.11	0.77	0.05	H_0 채택
Tukey	신호전략	S0-S1	-2.27	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	-2.18	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	-3.72	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.10	0.96	0.05	H_0 채택
		S1-S3	-1.44	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	-1.54	0.00	0.05	H_0 기각



<그림 2-147> 일반차량의 지체에 대한 교통량과 신호전략의 상호 작용



<그림 2-148> 일반차량의 지체에 대한 트램 배차간격과 신호전략의 상호 작용

○ 일반 교통량과 신호전략, 트램의 배차간격과 신호제어전략에 따른 사람당 총 지체 변화 민감도 통계 분석은 <표 2-134>~<표 2-137>와 같음 (H_0: "시나리오 간 결과 값의 평균이 같다.", H_0 기각 시 차이의 유의성이 있음, 유의수준 α=0.05)

○ 이원분산분석 결과, 일반 교통량과 신호전략 각 인자와 교통량 & 신호전략 상호작용은 사람당 총 지체 변화 민감도에 통계적 유의성을 주는 것으로 나타남

○ 교통량에 대한 사람당 총 지체 변화의 사후검증(Tukey)을 수행한 결과, V/C = 0.6과 V/C = 0.9 사이에 가장 큰 지체 변화가 발생했는데 이는 V/C = 0.6~0.9 사이에 교통류가 와해되어 정체상태가 되기 때문임

○ <그림 2-149>를 통해 사람당 총 지체에 대한 교통량과 신호제어전략의 상호작용이 있음을 확인할 수 있는데, 트램은 재차인원이 많기 때문에 일반차량보다 트램을 우선시하는 전략일수록 사람당 지체가 적게 나타남

○ 이원분산분석 결과, 트램의 배차간격은 신호제어전략 별 사람당 총 지체 변화 민감도에 통계적 유의성을 주는 것으로 나타남

○ <그림 2-150>을 통해 사람당 총 지체에 대한 트램 배차간격과 신호전략의 상호작용이 있음을 확인할 수 있는데, S0 전략은 일반차량을 기준으로 신호시간을 결정한 것이기 때문에 배차간격이 커지면 트램 재차인원의 영향을 적게 받아 지체가 감소함

<표 2-134> 일반 교통량과 신호전략에 따른 사람당 총 지체 변화

신호전략		네트워크 사람당 총 지체(초/인)			
교통량 변화	구분	S0	S1	S2	S3
① 2019년 예측 교통량	평균	15.86	8.91	8.89	7.04
	표준편차	0.06	0.47	0.5	0.16
	변동계수	0.00	0.05	0.06	0.02
② V/C = 0.3	평균	14.65	10.61	10.57	9.33
	표준편차	0.12	0.4	0.34	0.23
	변동계수	0.01	0.04	0.03	0.02
③ V/C = 0.6	평균	15.85	13.78	13.33	12.18
	표준편차	1.01	0.34	0.39	0.25
	변동계수	0.06	0.02	0.03	0.02
④ V/C = 0.9	평균	25.04	23.23	23.03	20.78
	표준편차	0.95	0.22	0.24	0.32
	변동계수	0.04	0.01	0.01	0.02

<표 2-135> 트램 배차간격과 신호전략에 따른 사람당 총 지체 변화

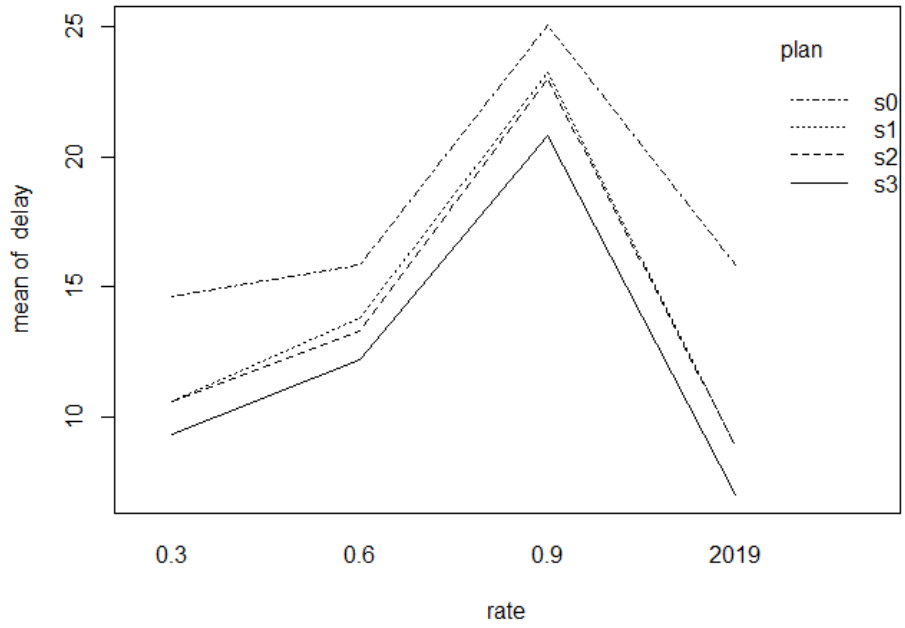
신호전략		네트워크 사람당 총 지체(초/인)			
트램 배차 간격	구분	S0	S1	S2	S3
3분	평균	15.63	8.9	8.88	7.26
	표준편차	0.47	0.25	0.26	0.9
	변동계수	0.03	0.03	0.03	0.12
5분	평균	15.86	8.91	8.89	7.04
	표준편차	0.06	0.47	0.5	0.16
	변동계수	0.00	0.05	0.06	0.02
10분	평균	14.03	9.2	9.16	7.16
	표준편차	0.99	0.39	0.41	0.13
	변동계수	0.07	0.04	0.04	0.02

<표 2-136> 교통량과 신호전략에 따른 사람당 총 지체 민감도 통계분석결과

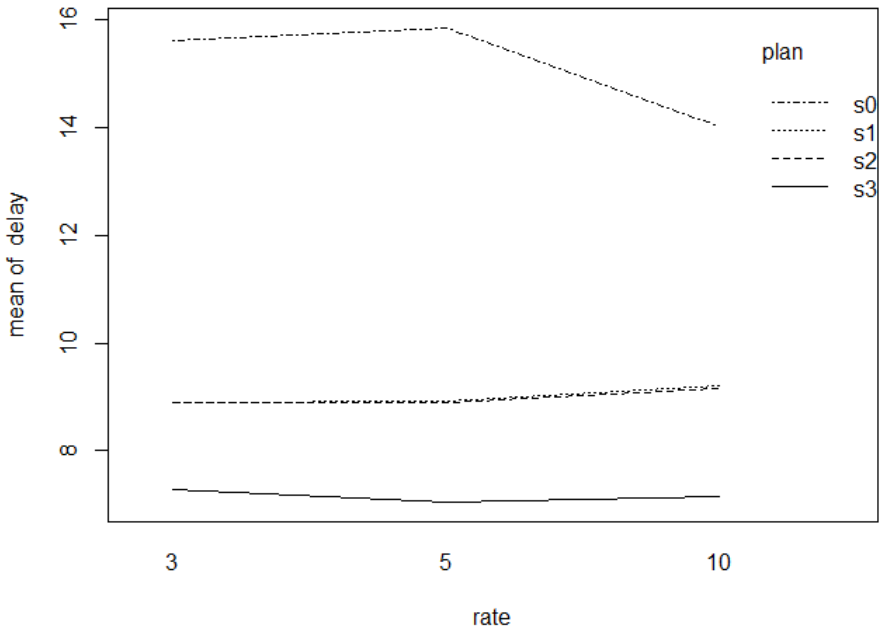
분석유형	네트워크 사람당 총 지체(초/인)					
사전검증	인자	F		기각F		검증결과
Two-way ANOVA	교통량	2025.0		2e-16		H_0 기각
Two-way ANOVA	신호전략	323.1		2e-16		H_0 기각
Two-way ANOVA	교통량 &신호전략	20.4		7.29e-11		H_0 기각
사후검증	인자	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
Tukey	교통량	①-②	-1.11	0.00	0.05	H_0 기각
		①-③	-3.61	0.00	0.05	H_0 기각
		①-④	-12.85	5.1e-06	0.05	H_0 기각
		②-③	-2.50	0.00	0.05	H_0 기각
		②-④	-11.74	0.00	0.05	H_0 기각
		③-④	-9.24	0.00	0.05	H_0 기각
Tukey	신호전략	S0-S1	3.72	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	3.90	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	5.52	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.18	0.77	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.79	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.62	0.00	0.05	H_0 기각

<표 2-137> 배차간격과 신호전략에 따른 사람당 지체 민감도 통계 분석 결과

분석유형	네트워크 사람당 총 지체(초/인)					
사전검증	인자	F		기각F		검증결과
Two-way ANOVA	배차간격	1.32		0.29		H_0 기각
Two-way ANOVA	신호전략	447.17		2e-16		H_0 기각
Two-way ANOVA	배차간격& 신호전략	3.86		0.01		H_0 기각
사후검증	인자	pair	평균차	유의확률p	기각p	검증결과
Tukey	배차간격	3분-5분	-0.01	1.00	0.05	H_0 채택
		3분-10분	0.28	0.36	0.05	H_0 채택
		5분-10분	0.29	0.34	0.05	H_0 채택
Tukey	신호전략	S0-S1	6.17	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S2	6.19	0.00	0.05	H_0 기각
		S0-S3	8.02	0.00	0.05	H_0 기각
		S1-S2	0.02	1.00	0.05	H_0 채택
		S1-S3	1.85	0.00	0.05	H_0 기각
		S2-S3	1.83	0.00	0.05	H_0 기각



<그림 2-149> 사람당 총 지체에 대한 교통량과 신호전략의 상호 작용



<그림 2-150> 사람당 총 지체에 대한 트램 배차간격과 신호전략의 상호 작용

제3장 최종 연구성과 및 실적

제 1 절 연구 개발 실적

제 2 절 주요 연구성과

제 3 절 기술 개발 성과의 국내·외 시장 전망

제3장 최종 연구성과 및 실적

제1절 연구 개발 실적

○ 본 연구에서는 트램과 같은 제2의 대중교통수단의 도입에 대비하여 대중교통과 기존 도로 이용자가 공존하는 도시부 복합도로의 신호운영기술 및 제반 운영기술 개발을 수행함으로서 궁극적으로 도시부의 대중교통 이용률 향상과 이동성 확보 및 온실가스 감축을 최종 목표로 함

○ 3차년도의 연구개발 기간에 걸쳐 다수단 복합도로의 통합 신호제어시스템 및 운영전략을 개발하고, 통합 신호운영을 위한 현장장비를 개발함

- 다수단 통합신호제어 전략의 개발
- 통합 신호제어 알고리즘 개발
- 다수단 통합 신호제어기 개발
- 실시간 통합 신호제어 시뮬레이터 개발
- 신호운영 전략 및 신호제어기의 평가

○ 당해연도의 주요 연구성과로는 자동차 트램 교통신호 통합운영기술 개발의 통합 신호제어 알고리즘의 수정 및 평가와 통합신호제어기 및 시작품을 개발하고, 실시간 통합 신호제어 시뮬레이터(HILS)를 통해 신호제어 전략 및 개발된 시작품을 평가하였음

1. 연구수행 내용 및 성과

○ 3개년도 주요 연구내용 및 성과는 다음과 같음

- 1차년도 : 신호운영기술의 개발 방향을 설정하고, 신호제어전략의 요구기능을 정의했으며, 트램 전용 신호등 및 관련 법제도의 현황을 분석하여 개선방안을 수립함
- 2차년도 : 통합 신호운영 알고리즘을 개발하고, 통합신호제어기 및 실시간 시뮬레이션 시스템(HILS)의 설계 수행
- 3차년도 통합 신호제어기의 S/W, HW를 개발하고, HILS 시스템을 제작하여 통합 신호제어 기술의 평가를 수행

<표 3-1> 연구개발 성과 요약

연 차	연구내용	주요 연구 성과
1차년도	▪ 다수단 통합신호제어 방향설정	▪ 국내외 통합신호제어 사례 조사 및 동향분석 ▪ 통합신호제어 요구기능 정립 ▪ 통합신호운영전략 알고리즘 개발
	▪ 대중교통 신호제어 평가방법론 검토 및 평가방법론 수립	▪ 관련 서적, 논문, 인터넷 등을 통하여 국내외 평가시스템에 대한 문헌조사를 통한 평가시스템 장단점 및 본 연구 평가방법론 수립 ▪ HILS기반의 신호제어 평가시스템 구축방향 정립
	▪ 신호제어서비스 세부 요구정의 및 제어기술 개발방향 정립	▪ 신호제어서비스 세부요구사항 분석 ▪ 수단별 정보연계 인터페이스 설계(H/W), 기능시험 및 제작
	▪ 트램 전용차로 신호등 국내/외 현황분석 ▪ 트램 신호등 운영전략 수립	▪ 노면전차를 도입하여 활성화 하고 있는 주요 국가(미국, 영국, 호주, 독일, 프랑스)의 노면전차 전용신호등 운영 현황을 분석 ▪ 일반 차량용 교통신호등의 표준화를 기초로 노면전차 신호등의 표준화 방안 및 운영 전략을 수립
	▪ 통합 신호운영을 위한 국내/외 법제도 현황 분석	▪ 국내 법제도 현황 및 노면전차 법률안 등을 검토하였으며, 외국 법체계를 검토하여 도로교통법·시행령의 개정 방안을 제시

2차년도	▪ 다수단 복합도로 통합신호운영 알고리즘 개발	▪ 통합 신호제어 알고리즘의 심화연구 및 시뮬레이션 평가 수행 ▪ 신호제어 알고리즘 프로세스 및 S/W 개발
	▪ 대중교통 신호제어 평가방법론 수립	▪ 시뮬레이터 연계모형 선정을 위한 모형별 비교/분석 ▪ 전문가 자문을 통한 시뮬레이션 모형 선정 ▪ 다수단 통합신호시스템에 대한 평가 시스템 구축 방안 정립
	▪ 다수단 통합신호제어기 개발	▪ 우선신호 알고리즘에 대한 S/W 구현 ▪ HILS 평가 시스템을 통한 S/W 기능 점검 ▪ 다수단 통합신호제어기(주제어부) 제작
	▪ 다수단 통합신호제어 시뮬레이터 개발	▪ HILS 평가 시스템 구축을 위한 시뮬레이터 구동 S/W 설계 및 제작 ▪ 시뮬레이터 인터페이스 H/W 제작
3차년도	▪ 다수단 복합도로 통합신호운영시스템의 시뮬레이션 효과평가	▪ API를 통한 신호제어알고리즘 구현 ▪ 통합신호운영의 시뮬레이션 분석 결과 및 HILS test 결과
	▪ 실시간 통합신호제어 시뮬레이터(HILS)의 평가	▪ 수단별 평가시나리오 및 평가 결과
	▪ 통합 신호제어기 및 시작품 제작	▪ 통합 신호제어기 시작품
	▪ HILS 기능 고도화 및 안정화	▪ 신호운영 알고리즘 개선 및 최적화 ▪ 미시적 교통시뮬레이터 연계개발(API)을 통한 실험 및 검증

○ 3개년도 연구의 질적 성과목표와 목표의 달성여부 판단은 다음과 같음

<표 3-2> 연구개발 목표 달성 여부

구분	성과목표	평가 지표	수행 내용	목표달성 여부
1차 년도	다수단 통합 신호제어 방향설정	동향 분석서	동향분석 보고서 작성	연구목표 달성
	다수단 통합신호제어기 개발	연계모듈 제작	시작품 1식 제작 달성	연구목표 달성
	통합신호등 표준화 설계안 및 법제도 개선안	현황분석 및 보고서	개선안 보고서 작성	연구목표 달성
2차 년도	- 통합 신호제어 알고리즘 심화 - 신호제어 프로세스 및 S/W개발	트램의 통행시간, 정지수	- 신호제어 알고리즘 수행도 및 시뮬레이션 평가결과 보고 - 미시적 시뮬레이션 평가를 통해 개발된 S/W의 적용 시, 트램의 통행시간 및 정지수가 10% 이상 향상	연구목표 달성
	연계 교통 시뮬레이터 모형 선정	전문가의 자문 의견서	- 연계모형 선정을 위한 모형별 분석자료 및 모형선정을 위한 과정, 모형선정 사유 첨부 - 자문회의를 통한 3인 이상의 전문가 적정성 평가	연구목표 달성
	신호제어 알고리즘 S/W 구현	우선신호 알고리즘의 응답속도	- 트램차량 검지 후 알고리즘에 의해 우선신호 제어가 결정되기까지의 처리시간 측정 - 우선신호 알고리즘 응답속도 ≦ 100 ms 달성	연구목표 달성
	통합신호제어기 개발	우선신호 수행율	- 시험결과보고서 작성 - 트램우선신호 요청정보 수집에 따른 실제 우선신호 수행율 측정 - 신호제어기 우선신호 수행율 90%이상 달성	연구목표 달성
	시뮬레이터 구동 S/W 설계 및 구현	체크리스트 기능정확도	- 시험절차서 및 체크리스트 작성 - 체크리스트 주요 항목 * 우선신호용 트램검지정보 생성 * 신호제어기 우선신호 수행상태정보 * 신호제어기 운영정보(상태, 현시 등) 수집	연구목표 달성
	시뮬레이터 인터페이스 H/W 설계 및 제작	정보연계 지연시간	- 시험절차서 및 체크리스트 작성 - 체크리스트 주요 항목 * 시뮬레이션 모형과 신호제어기간	연구목표 달성

			정보연계 지연시간 100ms 미만 달성	
3차 년도	HILS 평가 시스템을 기반의 신호제어 전략 평가	트램의 통행시간, 정지수 10% 향상	- 시뮬레이션 평가를 통해 정지수 10% 향상 달성	연구목표 달성
	신호제어 알고리즘 S/W 구현	알고리즘 구현 정확도 100%	시험결과 보고서 작성	연구목표 달성
	통합신호제어기 제작	우선신호 수행율 90% 이상	신호입력 및 수행률 확인 및 90%이상 달성	연구목표 달성
	시뮬레이션 분석실험수행	평가환경에 대한 기능 정확도 90%	- HILS 평가 시스템 기반의 시뮬레이션 분석실험(환경) * 검지기 신호 생성 정확도 90% * 신호등 출력 신호검출, 전달 정확도 90% * 우선신호 알고리즘 적용 여부 판단 등	연구목표 달성

2. 연구 산출물 요약

<표 3-3> 연구 양적 성과 내용

구분	양적성과		주관 (서울시립대)		공동 (세인)		합계	
			계획	실적	계획	실적	계획	실적
기술적 성과	특허	출원	2				2	2
		등록	1				1	2 (심사중)
	소프트웨어(S/W)			1	5		6	6
	시작품				3		3	4
학술적 성과	국내외 학술지 게재	일반학술지	5				5	3
		SCI(E)학술지					-	2 (1건 심사중)
	국내외 학술회의 발표		4		1		2	5

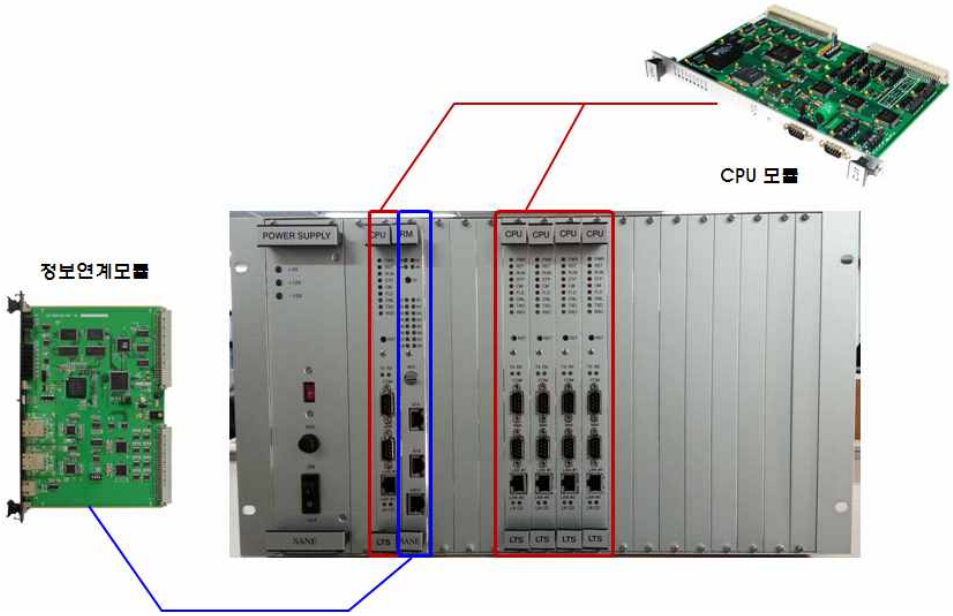
※현재 심사 중인 특허등록 1건과 학술지 게재 1건은 목표치를 보완하여 성과등록을 수행할 예정임

○ 연구의 주요 성과물 리스트는 다음과 같음

산출물명	다수단 복합도로의 통합신호운영을 위한 통합신호제어기 주제어부

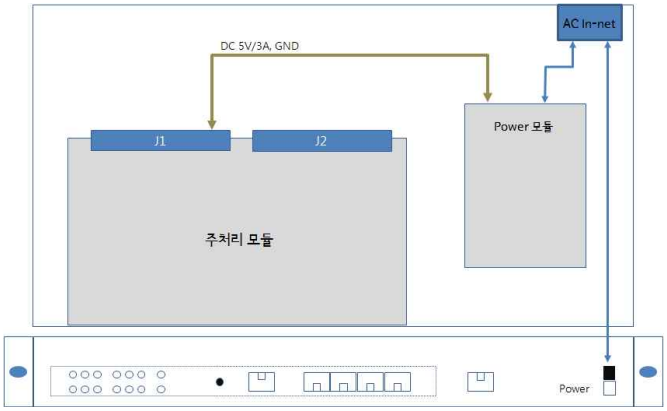


<통합신호제어기 주제어부>

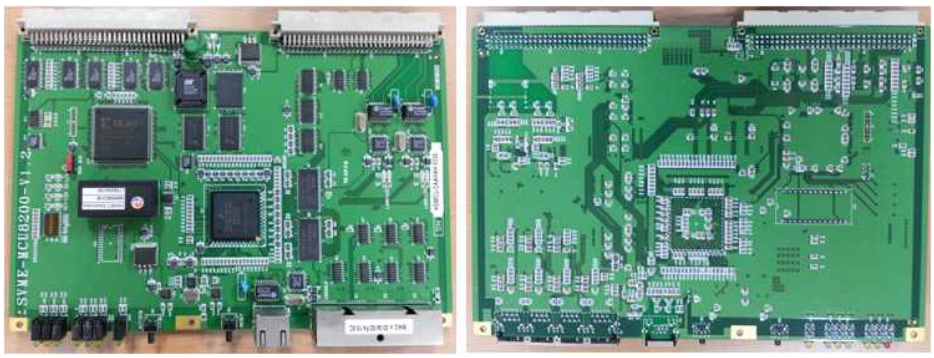


<통합신호제어기 주제어부 구성>

산출물명	다수단 복합도로의 통합신호운영을 위한 시뮬레이션 인터페이스 장치



<시뮬레이션 인터페이스 장치 내부 구성도>

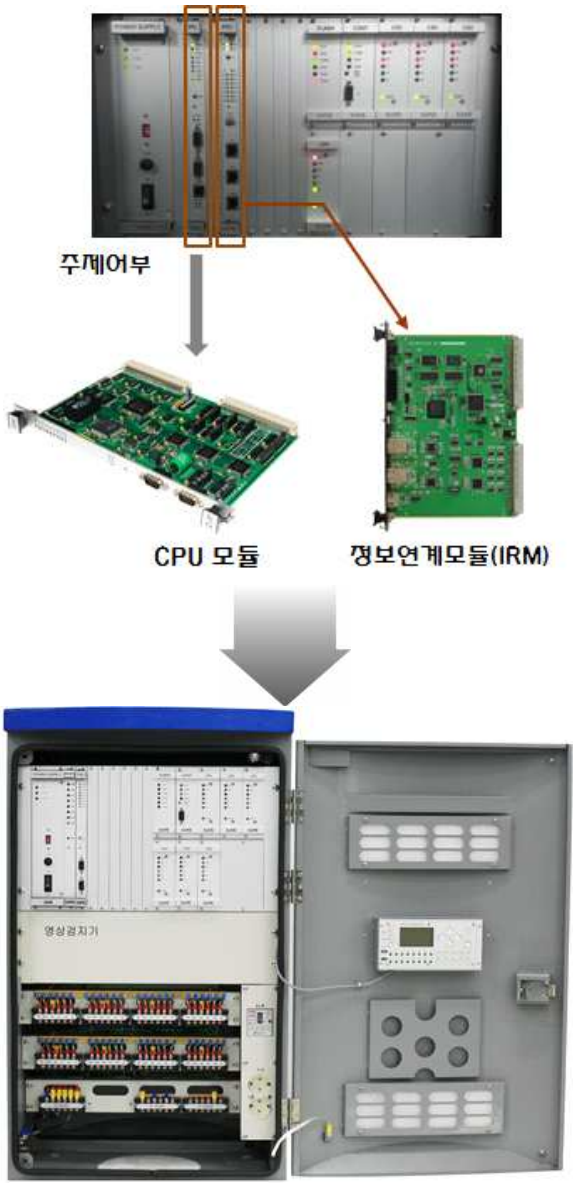


<시뮬레이터 인터페이스 H/W 모듈>



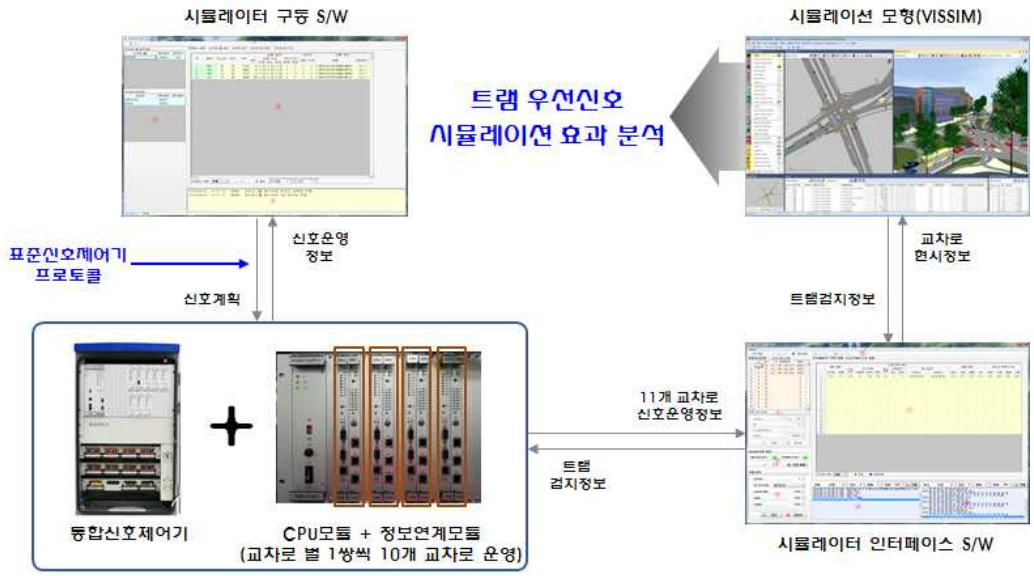
<시뮬레이터 인터페이스 장치>

산출물명	다수단 통합 신호제어기



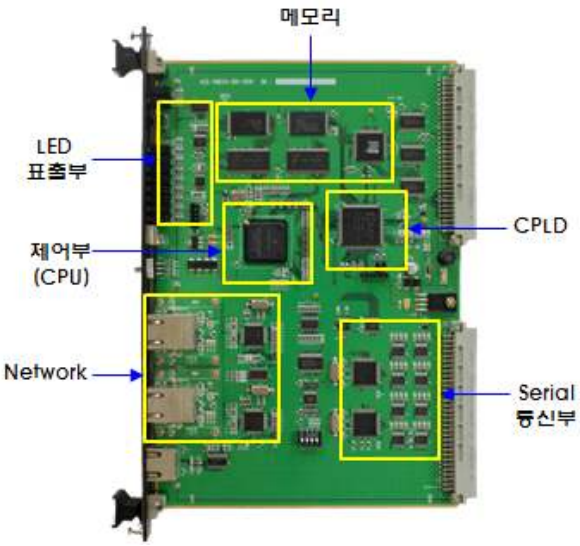
<표준신호제어기 규격을 준용한 통합 신호제어기 제작>

산출물명	HILS(Hardware_In-Loop Simulation) 기반의 통합 평가 시스템

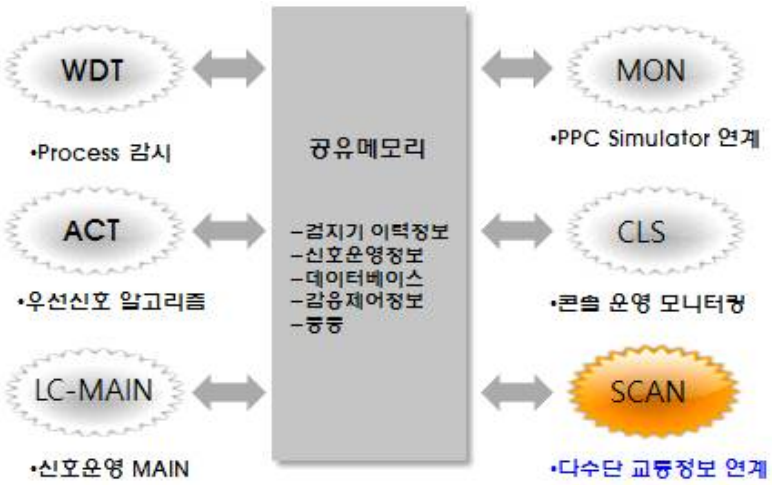


<트램 우선신호의 실시간 신호제어 시뮬레이션을 위한 평가 시스템 개발>

산출물명	트램 우선신호 제어 알고리즘 S/W

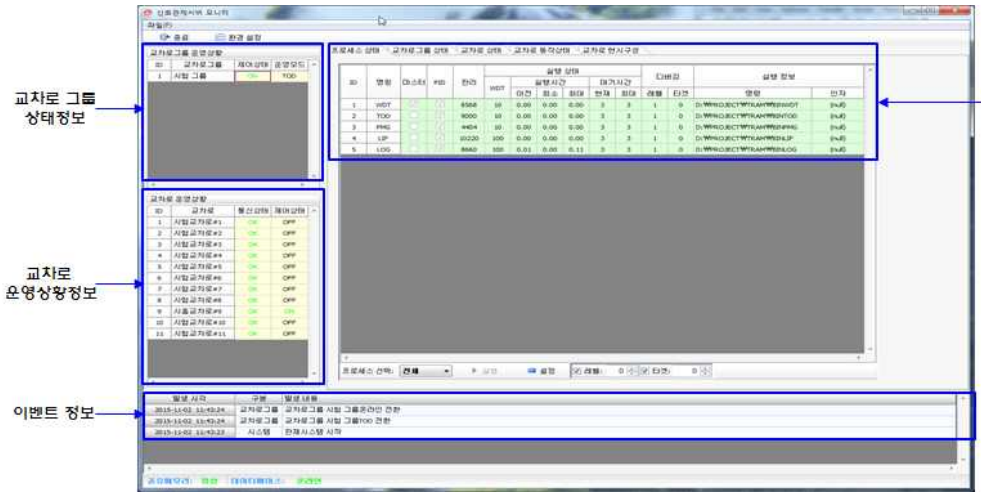


<정보연계 모듈 시제품 제작>

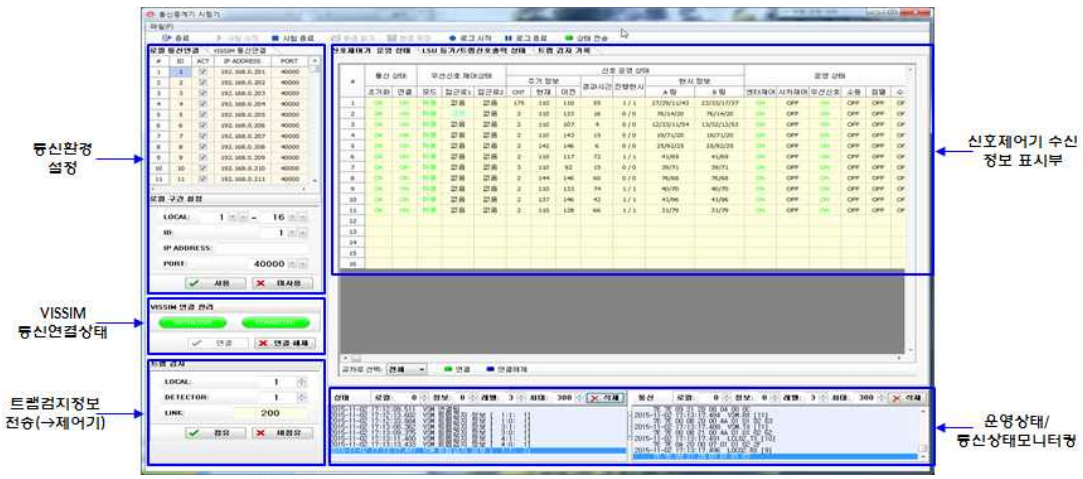


<Embedded Linux O/S 기반의 정보연계모듈 S/W 제작>

산출물명	실시간 신호제어 시뮬레이터 S/W



<교차로 별 감시/조회 기능 운영단말 프로그램 개발>



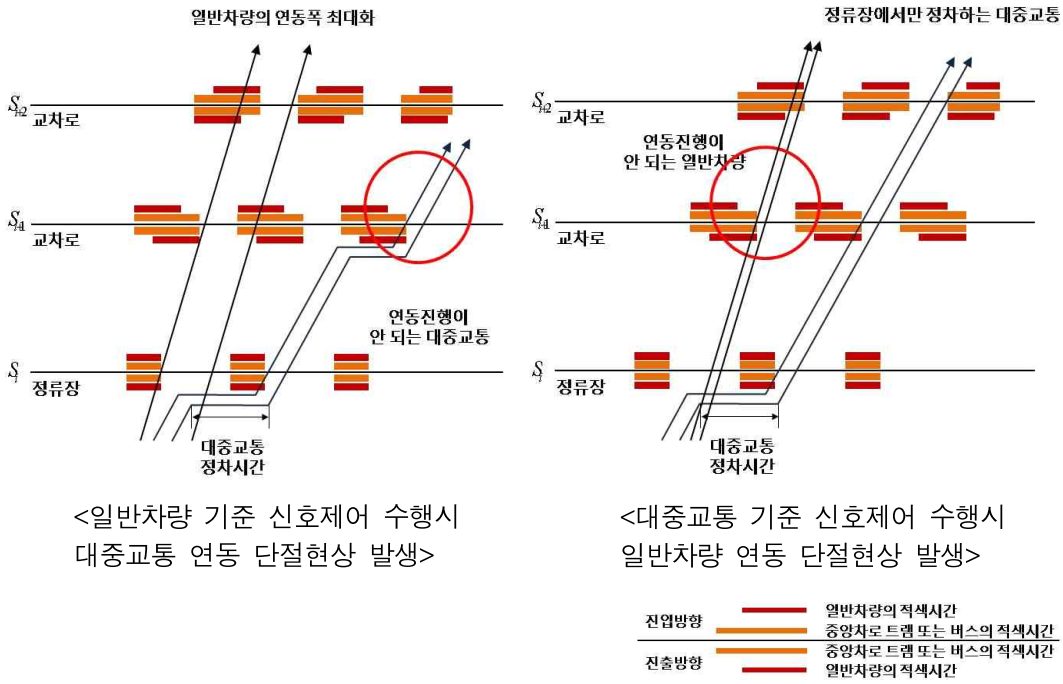
<시뮬레이터 인터페이스 S/W 프로그램 개발>

제2절 주요 연구성과

1. 연구성과의 우수성

○ 본 연구는 도시부 간선도로에서 대중교통 수단의 이동성을 우선시 하되, 모든 수단을 고려하여 효율적으로 신호제어를 수행하기 위한 제반기술을 개발하는 것으로, 국내에서는 개발된 바가 없으며 기존 개발된 단일수단을 대상으로 하는 알고리즘과는 상이함

○ 특히 고정식 우선신호를 수행함에 있어 기존 최적화 알고리즘과 달리 트램과 자동차의 효율성을 모두 확보할 수 있는 방안을 적용하였고, 능동식 우선신호에서 기존에 교차로 정지선 근처에서 우선신호제어를 수행하는 방법과 다르게 정류장의 정차시간을 활용함으로서 트램의 무정차 통행을 구현



<일반차량 기준 신호제어 수행시 대중교통 연동 단절현상 발생>

<대중교통 기준 신호제어 수행시 일반차량 연동 단절현상 발생>

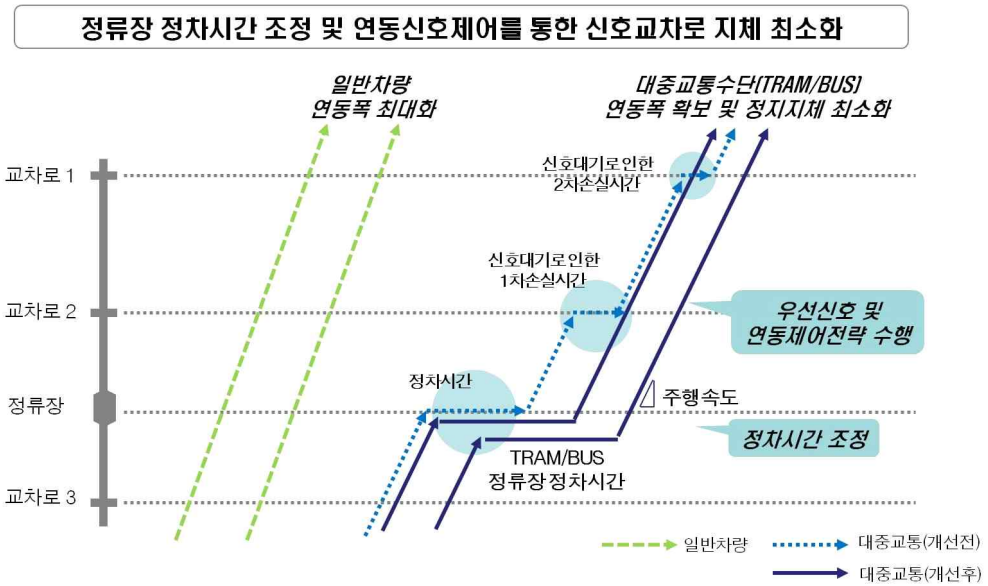
<그림 3-1> 기존 신호운영체계 및 버스우선신호 제어기법의 한계점

○ <그림 3-1>에서 기존의 대중교통 우선신호 전략이 대중교통수단의 이동성

만을 증진시키며 기타 교통수단은 고려하지 못하는 한계가 있는 반면, 본 연구의 통합신호제어시스템은 기존 교통제어체계에 미치는 반작용을 최소화할 수 있도록 모든 교통류를 고려한 신개념의 신호제어시스템임

- 신호제어 기술 측면에서 보면, <그림 3-2>과 같이 본 연구의 신호제어기법에서는 트램차량의 연동폭을 확보하면서 일반차량의 연동폭을 고려하여 두 이동류의 효율성을 확보하였고, 특히 트램 정류장의 정차시간을 최적화하여 활용함으로서 국내외 기존 신호제어 기법과의 차량성 및 신호제어 성능의 우수성을 나타냄

○ 특히 기존 BRT의 우선신호에서 Active와 Passeive 우선신호를 혼합해서 사용한 것과는 달리, 본 연구에서는 정류장 정차시간을 제어함으로서 교차로에서 트램의 정차가능성을 현저하게 낮췄고, 승객의 편의를 향상시켰음



<그림 3-2> 수단별 신호제어 최적화 개념

○ 본 연구에서는 기존의 철도신호시스템과 자동차 신호시스템과 같이 다수단 복합도로에서 신호운영 이원화에 따른 효율성과 안전성에 문제가 발생하는 점을 해결하기 위하여 궤도시스템과 도로시스템의 신호제어 H/W를 통합하고, 각 시스템의 S/W를 연계하여 트램과 자동차의 통합 신호운영을 구현함

○ 특히 상위 제어단계에서 하위 제어단계로 명령을 전달하는 3단계 계층적 신호제어 전략을 개발하여 적용함

○ <그림 3-3>에서와 같이 각 단계별로 제어 수준별 우선신호제어가 가능하고, 대중교통 우선신호가 설치되는 지역의 시스템 수준에 따라 1단계~3단계까지 적합한 우선신호 제어수준을 결정할 수 있음



<그림 3-3> 시스템 수준에 따른 3단계 신호제어 전략 적용

2. 기술성숙도 수준

○ 개발 시스템 정의

- 통합제어 센터 : 신호운영 센터에서 수행할 통합 신호제어 전략과 신호 최적화 알고리즘을 개발함. H/W는 포함하지 않음

- 통합 신호제어기 : 통합 신호제어에 필요한 신호제어 알고리즘(S/W)과 장비의 개발(H/W)을 모두 포함함

○ 통합 신호제어기의 기술성숙도 수준

- 통합제어기의 기술성숙도(TRL; Technology Readiness Level)의 수준은 Level 6으로 예상함

- NASA 기준 수준 6 : 적절한 환경에서 시스템/하부시스템 모형이나 시작

품 데모

- DoD 기준 수준 6 : 제작된 시스템이 실제와 연관있는 환경에서 시현되는 단계
- 본 연구의 최종 산출물인 통합신호제어기는 2011년 기준의 경찰청 표준 신호제어기를 기본으로 제작되며, 기존의 표준 제어기에 본 연구의 신호제어 기술을 업그레이드
- 표준 신호제어기에 슬롯을 추가하여 통합신호제어 기능을 수행함
- 통합 신호제어기를 제작한 후, 그 기능을 테스트하기 위하여 통합신호제어 시뮬레이터(HILS)를 제작하고, 알고리즘의 성능 평가와 제어기의 기능 수행 여부를 시험
- HILS 장치의 구현을 통해 통합신호제어기, PC, 시뮬레이션 모형 간의 데이터 연계를 완성하며, 실제 도로환경과 통합신호제어기 간을 연계하는 역할을 수행

제3절 기술개발 성과의 국내·외 시장 전망

1. 국내 트램 통합신호제어기 및 시스템 수요예측

가. 국내 신호제어 시장규모 예측

○ 국내 교통신호 제어체계는 1980년 서울 종로구에 50개소의 전자 신호기가 도입된 이래 도심의 교통혼잡 관리에 중요한 역할을 수행하여 왔으며, 그 기능도 교통공학, 컴퓨터공학 및 통신기술의 발달과 더불어 지속적으로 개선되어 왔음

○ 경찰청의 표준제어기 규격은 2004년 7월에 발효되어 2005년 3월부터 본격 시행되었으며, 현재 2010년형 표준제어기로 시스템을 교체 중

○ 국내에서 개발된 실시간 신호제어시스템은 선진 외국의 SCOOT이나 SCAT과 같은 동이한 수준의 신호제어 시스템

○ 국내 신호제어 시스템이 BRT와 트램, 자전거 도로의 도입 등과 같은 도시 가로망의 여건변화를 수용할 수 있는 시스템으로 발전하기 위해서는 통합 운영을 위한 신호제어 기술의 개발과 표준화 연구가 필요

○ 2012년말 기준으로 전자신호제어기 16,898대를 포함하여 총 33,992대의 신호제어기가 전국 16개 시/도의 국도/지방도 등에 설치되어 있음

○ 시/도별 신호제어기 설치현황을 보면 경기가 10,146대로 전체의 29.8%를 차지하여 가장 많고, 특히 경기를 비롯한 서울, 인천 등 수도권에 설치된 신호제어기가 전국의 44.6%해당하는 15,175대로 나타남

〈표 3-4〉 2010년 지방청별 교통신호기 설치현황 〔단위 : 대〕

서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경3기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	합계
3,492	1,926	1,375	1,537	846	1,006	749	10,146	1,342	1,561	1,839	1,773	1,488	2,059	2,334	519	33,992

※ 자료 : 경찰청 내부자료

○ 기 설치된 신호제어기중 트램 신호제어를 위해 교체가 필요한 일반제어기와 전자제어기, S/W 및 H/W의 업그레이드가 필요한 실시간신호제어기와

2004년 표준제어기 이상의 제어기를 분류

○ 트램 우선신호 및 BRT 신호제어의 시행이 가능할 것으로 예상되는 30개 전국 주요도시의 교통 신호제어기 설치 운영현황을 조사

- 일반 기계식 제어기는 1,455대, 일반 전자식 제어기는 4,306대, 실시간 신호제어기는 1,827대, '04년 표준제어기 8,741대, 감응식 신호제어를 포함한 '10년 표준제어기는 1,360대로 총 17,689대의 신호제어기가 운영되고 있는 것으로 조사됨

○ 이중 실시간 신호제어와 감응제어, 버스 우선신호제어, 트램 우선신호제어를 위해 교체해야할 일반 신호제어기와 전자식 신호제어기는 총 5,761대이고, 나머지 트램 우선신호를 위한 S/W와 H/W를 업그레이드해야 할 신호제어기의 대수는 11,928대로 조사되었음

<표 3-5> 도시별 교통신호제어기 설치 운영 현황

지역	일반	전자	COSMOS	'04년표준	'10년표준	계
서울	237	247	511	2046	550	3591
대구	-	-	65	1,322	-	1,387
인천	12	557	없음	1,067	-	1,636
광주	142	177	143	416	-	878
대전	0	242	356	42	403	1,043
경남	-	689	-	360	-	1049
포항	14	43	98	82	45	282
울산	-	-	287	129	-	416
천안	-	68	28	113	-	209
청주	29	290	38	498	0	855
충주	29	5	26	187	0	247
강원	-	135	-	115	-	250
여수	-	18	15	196	-	229
전주	-	12	46	420	-	478
군산	-	265	-	-	-	265
정읍	16	110	8	-	-	134
부산	814	1179	94	574	0	2661
제주	-	22	82	-	33	137
수원	43	27	21	445	102	638
과천	-	-	9	45	5	59
부천	-	-	-	55	-	55
광명	45	-	-	145	8	198
안산	-	-	-	141	37	178

시흥	-	-	-	56	-	56
화성	-	-	-	20	3	23
이천	0	81	0	52	29	81
의정부	-	-	-	98	-	98
양주	-	43	-	43	-	86
포천	-	-	-	-	49	49
동두천	74	96	-	74	96	340
합계	1455	4306	1827	8741	1360	17,689

※ 자료 : 2012. 03. 도시별 교통관제 시스템 사양 분석서. 경찰청

○ 제품개발이 완료되는 2015년을 기준으로 내구연한이 종료되는 일반제어기, 전자제어기, COSMOS제어기, ‘04 표준제어기는 교체대상으로 산정

○ ‘10년 표준제어기는 업그레이드 대상으로 산정

○ 따라서 본 연구의 최종개발 제품인 통합신호제어기는 기 설치된 신호제어기를 교체하고, 업그레이드 하는데 국내에서 약 1,700억원 정도의 시장규모를 가질 것으로 예상

<표 3-6> 통합 신호제어기 예상 시장규모 (2015년 기준) **[단위 : 백만원]**

구 분	제품단가	수량(대)	예상금액
S/W 업그레이드 및 부품교체	3	1,360	4,080
신호제어기 교체	10	16329	163,290
합계	-	16,989	167,370

나. 국내 통합 신호운영시스템 예상 시장규모

○ 트램 통합신호제어기는 트램 시스템 도입 예정인 수원시, 창원시, 성남시 등과 같이 기존 간선도로에 트램 시스템을 도입하거나, 위례신도시나 동탄신도시와 같이 신도시 개발 수행 시에 여러 가지 대중교통 수단의 구성에 따른 신호제어 시스템의 핵심기술로써 적용이 가능

○ 또한 기존 대규모 도심지역에서의 대중교통 정비 측면에서 버스전용차로를 계획할 경우는 물론, 기존 중앙버스전용차로의 BRT 구간에 대한 버스우선신호를 수행할 수 있는 신호제어 기술로써 활용이 가능

○ 본 연구를 통한 다수단 통합신호운영시스템의 개발은 교통신호제어 기술과 운영에 대한 기술력을 확보하여 타 경쟁사보다 기술적 우위 및 새로운 시장을 선점할 수 있는 경쟁력을 갖출 수 있음

○ 각 지방자치단체에서 추진하고 있는 트램 운영체계의 도입 시, 본 연구개발을 통해 개발하여 검증된 트램 통합신호제어기와 DSRC, UTIS, WAVE 등과 같은 무선통신 기반의 신호제어시스템을 트램과 BRT 관련 사업의 추진 시 적극적으로 사업에 제안 가능

○ 트램 및 노면전차와 BRT 시스템의 도입이 예정되어 있거나 검토 중인 창원, 성남, 울산, 전주, 수원 등의 11개 지자체의 사업계획을 검토하여 통합신호제어 시스템의 시장규모를 산정함

<표 3-7> 지자체 트램 도입 추진 현황

지자체	진행사항	사업 방식	노선길이 (km)	사업비 (억원)	착공 예정
성남시	PIMAC 적격성조사 시행 후 경기도 도시철도기본계획 수립 중	민자	13.7	3,948	2016
위례 경전철	서울시 도시철도 기본계획 수립 중	민자	5.5	3,600	2016
울산시	국토해양부 기본계획승인('08.10) 울산-양산 연장노선 '11.상반기 예타 시행중	재정	57.1	16,451	-
송도-주안	STX건설 민간제안 준비중 ('11.상반기 중)	민자	15.4	3,200	-
송도-영종지구	인천경제자유구역청에서 송도, 영종지구에 트램 도입 검토 중	미정	32.5	1,410	-
수원시	수원시 자체사업 타당성조사 후 경기도 도시철기본계획 수립	재정	6.05	1,539	2016
제주도	자체 사전타당성 조사 연구용역 (동서2-1안)	-	9.44	1,948	-
안산시	자체 사업타당성 조사 연구용역후 경기도 도시철도기본계획 수립	재정	15.1	3,996	2017
청주시	녹색수도 조성기본계획 수립 (3단계 총49.43km)	-	49.44	9,900	2017
파주선	경기도 도시철도기본계획에서 검토 (운정3지구 사업과 연계)	민자	9.64	4,519	-

경기도 (동탄 1호선)	경기도 도시철도기본계획 수립 광교-동탄(2011.12)	민자	22.6	11,416	2015
경기도 (동탄 2호선)	경기도 도시철도기본계획 수립 병점-동탄(2011.12)	민자	17.1	5,467	2015

○ 현재 사업이 진행 중이거나, 검토 중인 10개 지역에 트램(노면전차)이 도입된다면, 총 685여개의 교차로에 본 연구과제의 통합 신호제어시스템 수요가 발생할 것으로 예상됨

○ 연차별로 각 도시별 사업종료시점과 설치가 예상되는 교차로 개수를 예측하고, 통합 신호운영시스템 설치비용을 산정

<표 3-8> 트램 사업추진 대상 교차로 개수 **[단위 : 개소]**

구분	2015	2016	2017	2018 이후	합계
성남시	-	45	-	-	
위례신도시	-	40	-	-	
울산시	-	-	-	80	
송도-주안	-	-	-	60	
송도-영종	-	-	-	70	
수원시	-	40	-	-	
제주도	-	-	-	50	
안산시	-	-	60	-	
청주시	-	-	80	-	
파주시	-	-	-	60	
경기도 (동탄1호선)	50	-	-	-	
경기도 (동탄2호선)	50	-	-	-	
합계	190	125	140	320	775
예상비용 (백만원)	316,498	208,223	233,209	533,050	1,824,000

○ 연구개발 종료시점인 2015년부터 연차별로 총 1조 8천억원 가량의 시스템 설치비용이 발생할 것으로 예상

2. 해외 시장규모 예측

○ 1981년 미국의 전자신호기가 서울에 처음 도입된 이후로, 신호기는 꾸준히

국산화되어, 현재에는 전국의 신호기는 100% 국산화되어 있음. 특히, 최근에는 국내 신호기가 중국, 몽고, 동남아 등지에 수출되기 시작하고 있어, 국산 신호기는 H/W와 기초기능 측면에서는 세계적인 수준에 도달해 있음.

○ 하지만, 버스전용차로, 간선급행버스(BRT; Bus Rapid Transit), 트램의 도입 등 대중교통체계 우선정책이 적용에 따라 도로의 구성과 운영의 변화가 급격히 일어났으나, 국산 신호기는 도로의 변화에 대응하지 못하고 있음

○ 최근 유럽과 북미의 대부분의 도시에서는 주요 교통수단으로 트램이 도입되고 있고, 그에 따른 신호제어 기술도 발전되고 있음

○ 하지만, 외국의 경전철 운영특징을 보면, 아직 기존검지기와 신호제어기 사이에 무선통신 방식이 적용된 사례는 없는 것으로 조사됨. 무선통신기반 신호제어시스템 개발운영에 대한 외국의 사례는 주로 버스우선제어시스템의 요소기술로서 개별차량기반의 검지기술이 적용된 사례는 있음

○ 루프와 같은 기존검지기와 검지기 컨트롤러 간 무선통신에 의한 정보 수집 부문은 주로 고속도로관리시스템 등 주로 모니터링에 국한된 것으로 보임

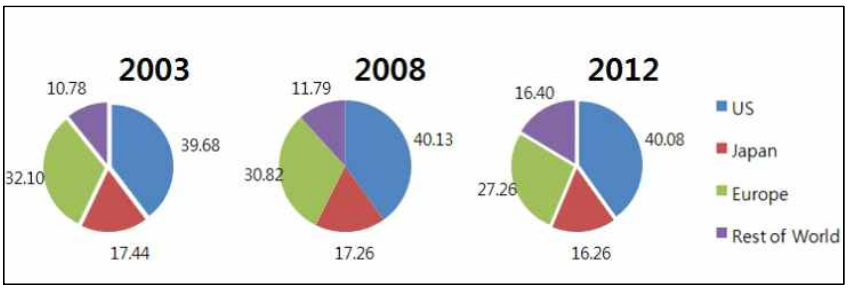
○ 미국은 1998년부터 ATC개발 평가 및 표준화 연구에 초점을 맞추어 신호제어시스템을 개발하고 있고, 일본은 통신기술을 이용한 신호운영전략을 도모하고 있지만 DSRC를 이용한 새로운 개념의 신호제어시스템 및 전략개발 부분은 연구 초기단계

○ 우리나라는 무선통신 신호제어시스템 기술을 개발·발전시켜 무선통신을 이용한 신호제어 시스템 개발 부분에 독보적인 기술력을 확보할 수 있으며, 무선통신기술의 급속한 발달로 교통분야에서 이를 이용한 실시간 교통류 제어 및 운영, 정보제공서비스가 가능케 되어 향후 수년 내에 전세계적으로 무선통신기반 신호제어 시스템의 개발이 가속화될 것으로 전망

○ 따라서 국내의 신호제어기 기술도 트램과 같은 새로운 시스템에 적용이 가능하도록 그에 따른 기술개발이 필요한 시점이고, 본 과제를 통해 우리나라의 세계적인 정보통신 기술 및 인프라를 활용하여 BRT와 트램의 우선신호 제어시스템을 개발할 경우, 국제적으로 이 분야의 기술을 선도할 뿐만 아니라 국제시장을 선점할 수 있을 것으로 기대

○ 세계 ITS 시장의 점유율을 살펴보면, 미국의 ITS 시장규모가 40.1%를 차지하고 있으나, 지금까지 ITS 시장을 주도했던 미국, 일본, 유럽시장의 정유율은 증가세가 둔화되고 있음

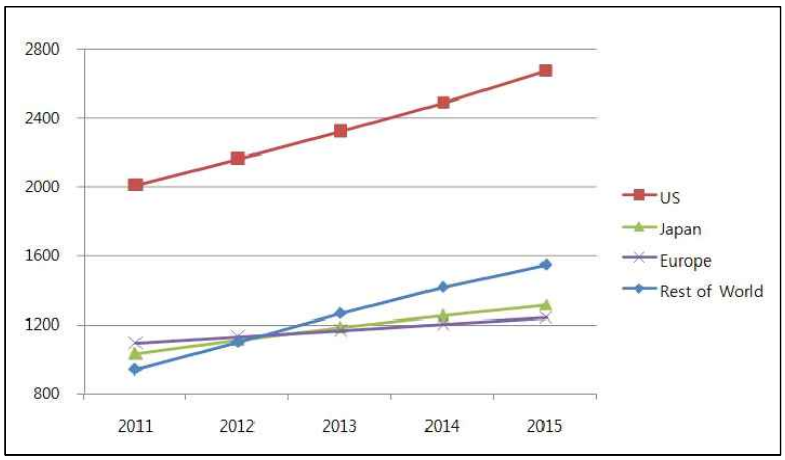
○ 그 외에 나머지 지역(아시아, 남미)의 시장규모는 점차 확대되고 있고, 이들 제3세계 국가들의 첨단교통관리시스템(ATMS : Advanced Traffic Management System)분야의 신호제어 부분도 시장의 확대가 예상됨



<그림 3-4> 세계 ITS 시장비율 (%)

자료 : ITS 요소기술 홍보 및 수출전략 연구, 2009.04, 한국교통연구원

○ ATMS 부문에서 현재 남미와 아시아 시장은 현재 미국과 일본 및 유럽시장보다 작지만, 남미 및 아시아 시장의 확대로 곧 미국, 유럽 시장과 비슷한 규모가 될 것으로 전망됨

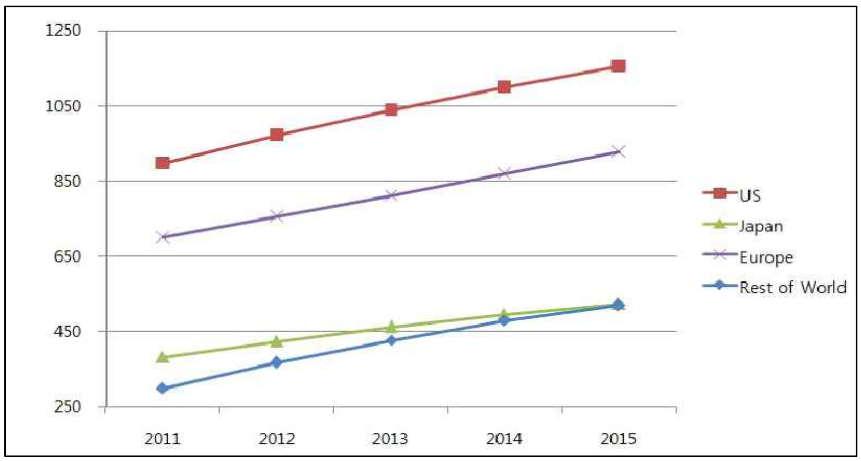


<그림 3-5> ATMS 부문 세계 ITS 시장예측 (단위 : 백만 $)

자료 : ITS 요소기술 홍보 및 수출전략 연구, 2009.04, 한국교통연구원

○ 특히, PVTMS(Public Vehticle Transportation Management System)분야는 전 세계 평균 14.46%의 증가율을 보이고 있으며, 2010년 이후에는 20억 달러 이상 규모의 시장을 형성할 것으로 예상

○ 따라서 본 과제의 BRT와 트램 신호제어기술을 이용하여 통합신호제어 기술을 개발한다면, 제 3세계 국가들의 ITS 시장에서, 특히 ATMS 분야와 PVTMS 분야의 제어기 수출에 기여할 수 있을 것으로 판단



<그림 3-6> PVMS 부문 세계 ITS 시장예측 (단위 : 백만 $)

자료 : ITS 요소기술 홍보 및 수출전략 연구, 2009.04, 한국교통연구원

○ 우리나라의 신호제어 기술은 세계적인 기술에 도달해 있으며, ITS 기술중 위치를 기반으로 한 실시간 교통정보 수집 및 제공 기술, 무선통신 기술은 세계 최고 수준의 기술력을 보유하고 있음

○ 특히 모바일, CNS(차량단말기) 등 ITS를 통한 실시간 정보의 수집과 제공을 용이하게 하는 기기개발과 보급률은 세계 최고 수준임에 따라, 본 연구를 통해 개발된 BRT, 트램의 신호제어 기술과의 통합을 통해 시스템을 개발한다면, 해외 시장의 수출전망은 매우 긍정적이라고 판단됨

제4장 연구목표 달성 및 효과

제 1 절 연구개발 최종목표 달성도

제 2 절 연구개발 성과 효과분석

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구개발 최종목표 달성도

핵심 성과목표 (level1)		단위 성과목표 (level2)		최종 성과점검기준					정량목표	
					질적목표	목표치	측정방법	검증 방법	목표	달성
1	다수단 복합도로의 통합신호제어시스템 및 운영전략 개발	1-1	다수단 통합신호제어 방향 설정	①	동향분석조사서	1건	보고서	보고서	논문게재: 1 건	논문게재: 1 건
				②	통합신호제어대상/목표/요구기능 정립 및 운영전략 알고리즘 개발	1건	보고서	보고서		
		1-2	다수단 복합도로 통합신호운영 알고리즘 개발	①	신호제어 프로세스 및 S/W개발	1건	보고서	보고서 및 S/W 설계서1)	특허출원: 1 건 논문게재: 2 건	특허출원: 1 건 논문게재: 2 건
		1-3	다수단 복합도로 통합신호운영 알고리즘의 구현 및 평가	①	시뮬레이션 평가	1건	수행횟수	실험평가 보고서	특허출원: 1 건 특허등록: 1 건 논문 게재: 2 건 S/W: 1 건	특허출원: 1 건 *특허등록: 1 건*[1] *논문 게재: 2 건*[2] S/W: 1 건
				②	지체도 개선	10%	시뮬레이션 결과	보고서		
				③	대중교통수단 정지횟수 저감	10%	시뮬레이션 결과	보고서		
2	다수단 복합도로의 통합신호운영을 위한	2-1	대중교통 신호제어 평가방법론 수립	①	신호제어 평가방법 조사서	1건	보고서	보고서	학술발표: 1 건	학술발표: 4 건
				②	신호제어 평가방법론 수립	1건	보고서	보고서		

				③	연계 교통 시뮬레이션 모형 선정	1건	보고서	보고서	
	현장장비 개발	2-2	다수단 통합신호제어기 개발	①	정보연계모듈제작	1건	보고서	시작품	시작품: 2 건 S/W: 2 건
				②	신호제어 알고리즘 구현 S/W 개발	설계서 1건, 시작품 1건	설계서	S/W 설계서 및 기능평가 결과보고서2)	시작품: 3 건 S/W: 2 건
				③	통합 신호제어기	1건	설계서	시작품	
		2-3	다수단 통합신호제어 시뮬레이터 개발	①	시뮬레이터 구동 S/W 설계 및 구현	1건	S/W기능 설계서	S/W 기능설계서	학술발표: 1 건 시작품: 1 건 S/W: 3 건
				②	시뮬레이터 인터페이스 H/W 설계 및 제작	1건	설계서 및 시작품	시작품	
				③	검지기 신호 생성 정확도	90% 이상	보고서	보고서	
				④	신호등 출력 신호 검출, 전달 정확도	90% 이상	보고서	보고서	
				⑤	시뮬레이션 분석실험수행	1건	시연 및 보고서	제어기 구동 시연 및 성능평가 결과보고서	
계									특허출원: 2 건 특허등록: 1 건 논문게재: 5 건 학술발표: 2 건 시작품: 3 건 S/W: 6 건	특허출원: 2 건 특허등록: (+1) 건 논문게재: 4(+1) 건 학술발표: 5 건 시작품: 4 건 S/W: 6 건

1) 특허등록 목표치 2건 현재 등록 심사 중 (성과등록 예정)

2) 논문게제 목표치 1건 현재 SCIE 논문지 게재 심사 중 (성과등록 예정)

제2절 연구개발 성과 효과분석

○ 본 연구 수행으로 인해 적게는 해당 축에 대한 대중교통 및 타 교통류의 이동성 증진은 물론, 크게는 국가적인 측면에서도 온실가스 저감, 대기오염 및 소음감소효과, 교차로 사고감소 등의 사회적 효과를 기대할 수 있을 것으로 예상됨

1. 기술적 측면의 기대효과

○ 개별적으로 실행되던 수단별 운영기술의 통합으로 인한 교통관리의 시너지 효과를 기대할 수 있음

○ 도심의 대중교통을 고려한 신호계획의 수립에서 효율적인 대중교통 우선신호를 위한 제반기술로 활용

2. 학술적 측면의 기대효과

○ 도시부 다수단 복합도로의 대중교통 우선신호제어 알고리즘 개발

○ 다수단 통합 신호제어시스템 설계

○ 트램 신호등 및 법제도 개정방안 분석

○ 다수단 통합신호제어 현장장비 및 시뮬레이터 개발

○ 대중교통에 우선신호 전략의 도입에 따른 일반차량에 대한 신호운영 전략 마련

3. 공공적 측면의 기대효과

○ 무가선 트램과 같은 친환경 대중교통수단의 도입에 대한 요구에 기술적 근거 마련

○ 현재 설치되어 운영 중인 중앙버스전용차로 구간에 대한 버스우선신호 제어기술로 활용 가능

4. 경제·산업적 측면의 기대효과

○ 대중교통 수단분담율 증진에 기여 가능

○ 도시교통 혼잡을 완화시키고, 대기오염 및 소음 감소효과

○ 도심재생 및 관광상품 개발에 기여가 가능함
○ 각 지방자차단체의 트램 운영시스템 및 일반 신호제어기 교체에 활용가능
○ 지속 가능한 대중교통 정책의 일환으로 미래형 도시부 도로에 대한 운영기준 및 기술기반 마련
○ 대중교통에 대한 인식 개선
○ 유무선 통신 및 IT 기술 발달에 따른 교통정보수집체계 변화, 녹색교통체계 구축을 위한 대중교통 중심의 새로운 교통체계의 변화에 부응하는 교통체계 운영의 솔루션으로 활용

<표 4-1> 기대성과 및 파급효과

구분	기대성과
기술적 측면	- 개별적으로 실행되던 수단별 운영기술의 통합으로 인한 교통관리의 시너지 효과 기대 - 트램, 바이모달 트램, BRT 등의 대중교통 우선신호를 위한 제반기술 마련
공공적 측면	- 무가선 트램, 바이모달 트램과 같은 친환경 대중교통수단 도입에 대한 기술적 근거 마련 - 현재 설치되어 운영 중인 중앙버스전용차로 구간에 대한 버스우선신호 제어기술로 활용 가능
학술적 측면	- 도시부 다수단 복합도로의 대중교통 우선신호제어 알고리즘 개발 - 트램 신호등 및 법제도 개정방안 분석 - 다수단 통합신호제어 현장장비 및 시뮬레이터 개발
경제 · 산업적 측면	- 대중교통 수단분담율 증진 - 도시교통 혼잡을 완화시키고 대기오염 및 소음 감소효과 - 도심재생 및 관광상품 개발
기타	- 대중교통에 대한 인식 개선 - 미래형 도시부 도로에 대한 운영기준 및 기술기반 마련

○ 유무선 통신 및 IT 기술 발달에 따른 교통정보수집체계 변화, 녹색교통체계 구축을 위한 대중교통 중심의 새로운 교통체계의 변화에 부응하는 교통체계 운영의 솔루션으로 적용될 수 있음
○ 기존 대규모 도심지역에서의 대중교통 정비 측면에서 버스전용차로를 계획할 경우는 물론, 현재 승용차 중심으로 운영 중인 중앙버스전용차로 구간

에 버스우선신호를 위한 신호제어기술로 활용이 가능

- ○ 인천경제자유구역, 위례신도시, 수원시 등의 도시에 트램 시스템의 도입이 예정되어 있는 시점에서 본 연구의 통합신호운영시스템이 핵심기술로서 사용 가능할 것으로 예상
- ○ 본 연구 성과물인 통합신호제어시스템을 표준화/실용화하여 ITS 분야의 사업에 활용
- ○ DSRC, BMS 등과 같은 무선통신 기반의 신호제어시스템 구축의 안정성 및 신뢰도에 대한 검증을 통해 지자체 및 관공서의 신호제어시스템 관련 사업 추진 시 적극적 사업 제안 가능
- ○ 사업 특성에 따른 알고리즘 개발과 자체 시뮬레이션 검증을 통해 신뢰도와 안정성이 보장된 시스템을 지자체별 신호제어시스템 구축 요구사항에 맞추어 제공할 수 있어 신호제어시스템 부문의 경쟁력이 보장됨

5. 선진 기술과의 격차 해소

- ○ 트램은 해외에서 도시부의 주요 대중교통수단의 하나로써 활용되고 있으며, 다양한 신호제어기법을 통해 운영기술의 노하우를 가지고 있음
- ○ 트램의 국내에서의 운영은 대한제국 시기인 1899년 서울에서 최초의 노면전차를 개통한 이래 1968년 운행이 폐지되어 신호운영에 대한 노하우가 전혀 없음
- ○ 국내에서 최근에 트램이 운영된 사례가 없으므로 트램의 운영기술이 부족하고, 각 지방자치단체에서 추진하고 있는 트램 운영체계의 도입 시, 일반교통수단과 트램의 교통이 혼재할 경우에 각각의 이동류의 효율성과 안전성에 문제가 발생할 것으로 예상됨
- ○ 본 연구에서 외국에서 개발된 바가 없는 자동차와 트램의 효율성을 모두 고려한 통합 신호제어전략을 개발함으로서 해외 선직국과의 기술격차를 줄였음
- ○ 실제 국내 지방자치단체에 트램 시스템이 도입되고, 본 연구의 기술이 사용되어 운영 노하우가 축적될 경우, 3년 이내에 100%에서 0%로 줄일 수 있을 것으로 예상됨

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구의 필요성

제 1 절 연구성과의 향후 활용방안

제 2 절 추가연구의 필요성

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구의 필요성

제1절 연구성과의 향후 활용방안

1. 연구성과의 활용계획

○ 본 연구는 대중교통을 중심으로 한 신호제어시스템 개발을 주요 내용으로 하여 다수단 통합연동신호제어시스템 개발, 수단별 전용신호표출/운영체계 설계, 다수단 통합신호제어 현장장비 및 시뮬레이터를 개발함으로써 변화하는 도로교통체계에 대응할 수 있는 신호운영시스템을 구축하고, 실용화된 최종 산출물을 현장에 적용하는 것을 목표로 하고 있음

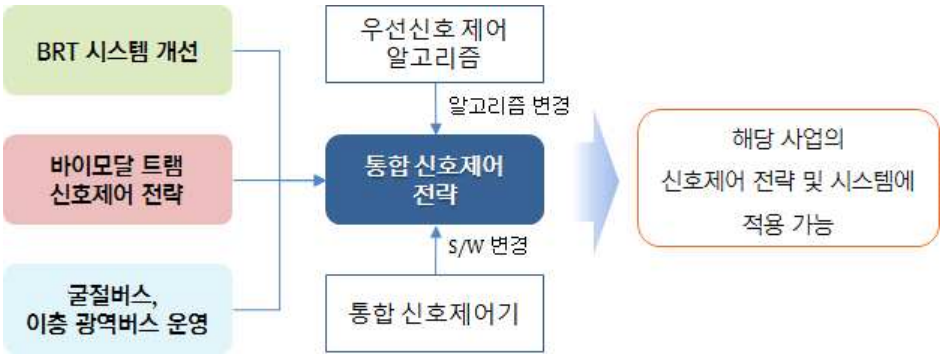
○ 자동차와 트램의 통합신호제어를 위해 개발된 현장장비는 향후 국내의 각 지방자치단체에서 계획 중인 트램 및 노면전차 시스템 도입에 핵심기술로써 사용이 가능할 것으로 예상되며, 관련 사업 추진 시 적극적으로 사업 제안이 가능함

- 자동차와 트램의 통합신호제어를 위해 개발된 현장장비는 향후 국내의 각 지방자치단체에서 계획 중인 트램 및 바이모달 시스템 도입에 핵심기술로써 사용이 가능하며, 관련 사업 추진 시 적극적으로 사업 제안이 가능함
- 최근 국내 다수의 지방자치단체에서 트램의 도입을 적극적으로 추진 중에 있고, 특히 위례 신도시, 판교 신도시, 수원시, 울산시, 인천경제자유구역 등의 도시에서는 트램 시스템의 도입계획이 구체적으로 진행되고 있음

- 이러한 사업이 본 궤도에 오를 경우, 사업 대상지의 특성에 따른 신호제어 알고리즘 개발과 자체 시뮬레이션 검증을 통해 시스템의 신뢰도와 안정성이 보장된 본 연구의 성과물을 지자체별 신호제어시스템 구축 요구사항에 맞추어 제공할 수 있어 신호제어 시스템 부문의 경쟁력이 보장됨
- 특히 서울시와 LH가 민자사업으로 추진 중인 위례신도시의 복정역~마천역까지 5.4km 구간과 2017년의 완공을 목표로 예비타당성 조사 중인 수원역~장안구청까지 6km 구간, 판교역~판교테크노밸리 1.5km 구간의 성남시 사업에 본 연구의 최종 성과물인 통합 신호제어 전략과 통합 신호제어기를 적용하여 현장테스트를 수행한다면, 연구의 실용화와 보급에 좋은 기회가 될 것으로 판단함

○ 본 연구에서 개발된 신호제어전략 및 우선신호 제어 알고리즘을 이용하여 기존에 설치된 BRT와 같은 대중교통 우선신호 시스템의 핵심기술로 적용 가능함
- 기존 대규모 도심지역에서 대중교통 정비 측면의 중앙 버스전용차로를 계획할 경우에 본 연구의 산출물을 핵심기술로 적용이 가능함
- 현재 승용차 중심으로 운영 중인 중앙버스전용차로 구간의 신호운영체계를 대중교통 중심으로 바꾸기 위한 신호제어 기술로 활용 가능
- 특히 기존에 설치되어 있는 중앙버스전용차로 구간에서 트램의 주행특성을 버스의 주행특성으로 대체하고 통합 신호제어 알고리즘에 반영한다면, 버스 우선신호의 신호제어 전략으로 대체가 가능함
- 또한 세종시에서 추진/운영하고 있는 바이모달 트램, 굴절버스, 수도권의 이층광역버스 등의 추진 시에 해당 전용차로의 신호제어 전략의 개선 시에 본 연구의 통합 신호제어 전략과 대중교통 우선신호 기법의 도입이 가능할 것으로 예상함
- 바이모달 트램과 굴절버스 등의 운영형태는 본 연구에서 다룬 트램의 운영특성과 유사한 형태를 나타낼 것으로 예상되므로 본 연구에서 개발한 우선신호 제어 알고리즘의 차량특성을 변경하여 적용하고, 통합 신호제어기의 S/W를 업그레이드하여 적용한다면 해당 사업에 적용하여 실용화를 앞

당길 수 있을 것으로 예상함



<그림 5-1> 연구결과의 기타 대중교통 시스템에 적용 방안

- ○ 본 연구 수행으로 인해 적게는 해당 축에 대한 대중교통 및 타 교통류의 이동성 증진은 물론, 크게는 국가적인 측면에서도 온실가스 저감, 대기오염 및 소음감소효과, 교차로 사고감소 등의 사회적 효과를 기대할 수 있을 것으로 예상함
- ○ 유무선 통신 및 IT 기술 발달에 따른 교통정보수집체계 변화, 녹색교통체계 구축을 위한 대중교통 중심의 새로운 교통체계의 변화에 부응하는 교통체계 운영의 솔루션으로 적용될 수 있음
- ○ 기존 대규모 도심지역에서의 대중교통 정비 측면에서 버스전용차로를 계획할 경우는 물론, 현재 승용차 중심으로 운영 중인 중앙버스전용차로 구간에 버스우선신호를 위한 신호제어기술로 활용이 가능함
- ○ 인천경제자유구역, 창원시, 수원시 등의 도시에 트램 시스템의 도입이 예정되어 있는 시점에서 본 연구의 통합신호운영시스템이 핵심기술로서 사용가능할 것으로 예상됨
- ○ 본 연구 성과물인 통합신호제어시스템을 표준화/실용화하여 ITS 분야의 사업에 활용함
- ○ DSRC, UTIS, BMS 등과 같은 무선통신 기반의 신호제어시스템 구축의 안정성 및 신뢰도에 대한 검증을 통해 지자체 및 관공서의 신호제어시스템 관련 사업 추진 시 적극적 사업 제안이 가능함

○ 사업 특성에 따른 알고리즘 개발과 자체 시뮬레이션 검증을 통해 신뢰도와 안정성이 보장된 시스템을 지자체별 신호제어시스템 구축 요구사항에 맞추어 제공할 수 있어 신호제어시스템 부문의 경쟁력이 보장됨

2. 연구성과의 실용화 계획

가. 연구의 실용화 전략

○ 통합신호제어기의 경찰청 표준화 작업

- 통합신호제어기가 실제 트램 시스템을 도입하는 지역에 납품될 수 있도록 관리주체인 도로교통공단과 협의하여 경찰청 표준화 상정 작업을 추진
- 통합신호제어기의 표준화 상정내용은 신호제어기에서 우선신호제어를 수행하기 위한 S/W 구조와 정보연계 인터페이스 세부내용 및 관련 기능시험 절차를 대상으로 함
- 본 과제에서 개발되는 신호제어기의 H/W구조는 기존 표준규격서의 내용을 기반으로 하여 제작됨으로 별도의 하드웨어 표준안을 제시할 필요는 없으나, 우선신호를 수행하기 위한 S/W 기능과 신호제어기 CPU와의 정보연계를 위한 인터페이스 내용은 현재 규격서 내 기술된 내용을 수정, 보완함

○ 통합 신호제어기의 표준화 항목 정의

- 옵션보드로서의 우선신호제어 장치에 대한 구체적인 표준 수립 제안
- 중앙장치 통신 규약 보완 및 추가 제안
  1) 운영 프로토콜에 트램 우선신호관련 상태를 추가
  2) 확장 프로토콜을 이용한 트램 우선신호 관련 상세 정보 수집
  3)데이터베이스 프로토콜을 이용한 트램 우선신호 관련 데이터베이스 관리 방안

○ 제어기능부에 우선신호제어 기법에 대한 표준 추가 제안

- 통합 신호제어기의 표준화 수행절차
  1) 신호제어기 내 표준화추진 항목에 대한 의견 제시
  2) 도로교통공단과 표준화 항목에 대한 세부 방안 수립

3) 신호제어기 관련업체(제조/납품)를 대상으로 표준화 채택과 관련한 의견 수렴

4) 표준화 채택관련 의견수렴 후 이견이 없는 경우 표준규격서 내 항목추가 및 배포

○ 성과물의 홍보 및 납품 계획

- 현재 트램시스템의 도입을 검토하고 있는 각 지방자치단체에 연구 성과품의 우수성을 홍보하고, 트램시스템 도입을 위한 관련사업 제안시에 적극적으로 참여

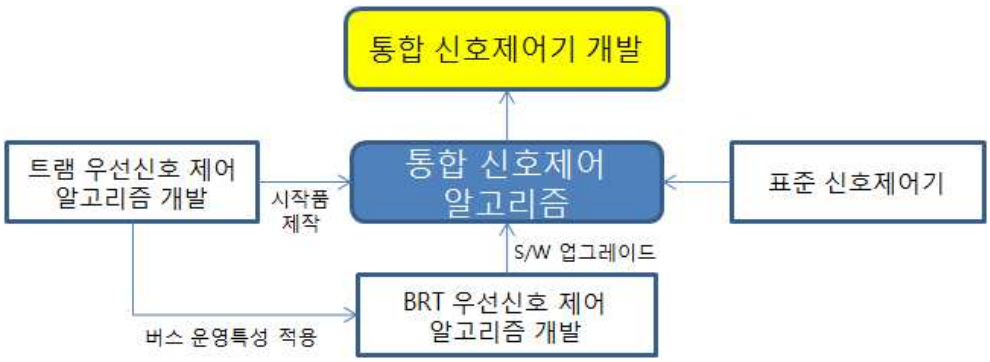
- 통합신호제어기의 기능 및 설치효과에 대한 팜플렛을 제작하여 국내 및 해외 홍보에 사용하고, 제작된 인쇄물을 통해 교통박람회, ITS World Congress 등의 각종 국내외 행사를 통해 연구 성과물의 우수성을 홍보함

○ 부가적 산출물 활용

- 연구 성과를 활용하여 산출할 수 있는 부가적인 산출물의 개발

- 본 연구의 산출물인 트램 신호제어 전략 및 통합신호제어기는 현재 각 지방자치 단체에서 도입 및 운영 중인 BRT 시스템에 적용이 가능하므로 BRT 시스템의 버스우선신호에 적용할 수 있는 신호제어 전략과 버스 우선신호 제어 알고리즘을 개발하고, 통합신호제어기에 적용함

- BRT의 버스 우선신호를 위한 통합신호제어기의 기능을 확장



<그림 5-2> 연구 산출물 활용방안

- 기존 경찰청 표준 신호제어기 기반으로 본 연구의 통합 신호제어기를 개발함으로서 추가적인 알고리즘 개발 및 수정으로 BRT 신호제어 알고리즘이 적용될 경우, 통합 신호제어기 시작품의 확장슬롯을 통해 해당 모듈을 추가할 수 있도록 하고, 해당 S/W의 업그레이드를 통해 BRT 신호제어 기능을 수행할 수 있도록 함

<표 5-1> 연구의 실용화 계획 일정

구분	수행기간	내용
1. 경찰청 표준화	2016.03 ~	도로교통공단과 협의를 통해 표준화 작업 수행
2. 통합신호제어기 홍보	2016.08~	성과품의 기능 및 시험결과서를 통해 홍보활동
3. 산출물의 추가기능 개발	2016.10~	통합신호제어기의 BRT 시스템 전략 개발

나. 연구의 사업화 계획

○ 통합제어기의 기술 성숙도 (TRL; Technology Readiness Level)를 현재의 수준에서 향상시키면서 사업화 추진
○ 현재의 연구 종료시점에서 연구의 실용화 수준은 TRL6의 시작품 단계에 있음
○ 실용화 단계의 성능 검증을 통해 시작품의 완성도 확보
○ 트램 설치 사업 예정지의 시범사업을 통해 시스템의 성능 보완 추진
○ 경찰청의 신호제어기 표준화 추진
○ 트램 시스템 도입 사업지에 대한 시스템 납품을 추진



<그림 5-3> 연구결과의 사업화 계획

3. 과제 간 성과물 연계 방안

○ 본 연구는 현재 무가선 트램 연구단에서 추진 중인 '무가선 저상트램 실용화' 연구와의 연계가 가능함

○ '무가선 저상트램 실용화' 과제는 무가선 저상트램의 시스템 기술과 차량개발 및 에너지인프라의 실용화를 위한 연구로 본 연구의 자동차와 트램의 통합운영기술 및 통합신호제어기 개발 내용과도 밀접한 관련이 있음

○ 이와 관련하여 본과제의 신호등 및 법제도 관련 연구를 1차년도로 종료하고, 연구결과를 무가선 저상트램 실용화 과제에 전달하여 실용화 측면에서 추가검토 및 심화연구가 이루어지도록 조정하였음

○ 특히 '무가선 저상트램 실용화' 연구 내용 중 무가선 저상트램 도입 활성화 방안 및 철도관련 법제정비 방향 고찰 연구는 본 과제의 '다수단 복합도로의 트램 신호등 설계 및 법제도 개정방안' 연구와 관련이 있으므로 본 과제의 연구결과를 활용할 수 있도록 하였음

○ 본 연구단의 최종 성과물인 통합 신호제어기와 실시간 신호제어 시뮬레이터(HILS) 장치는 경찰청 표준신호제어기 기반으로 제작되므로, 통합 신호제어기의 확장슬롯이나 S/W 업그레이드를 통해 무가선 트램 연구단의 개발

된 알고리즘 모듈을 추가할 수 있을 것으로 판단됨

○ 따라서 본 연구의 성과물을 무가선 저상트램 실용화 연구단에서 활용할 수 있도록 연구결과와 산출물을 활용하도록 하고, 지속적인 연구결과의 전달을 통해 본 연구과제의 성과물이 후속연구에 활용될 수 있도록 적극 협조하여 향후 연구결과를 실용화 과제에 적용하는데 수정·보완 사항이 최소화 될 수 있도록 함

○ 본 연구의 공동연구기관으로 참여하고 있는 ㈜ 세인은 '무가선 저상트램 실용화' 연구에 참여하고 있으므로 이러한 연계를 수행하는데 무리가 없을 것으로 판단됨



<그림 5-4> 연구 공조체제 구축 및 성과품 활용방안

제2절 추가연구의 필요성

○ 이 연구는 간선도로에서 기존의 대중교통 우선신호와 같이 트램차량에게 통행 우선권을 주는 것만을 고려하는 것이 아니라 일반차량의 지체를 고려한 신호제어 전략을 개발하였다는데 의의가 있으며, 향후 국내에 트램 시스템의 도입 시, 적용이 가능한 신호운영 기술과 그 성공가능성을 제시하였다는데 의미가 있고, 개발된 신호제어 전략을 수행하는 표준 신호제어기 기반의 통합 신호제어기 모듈을 개발함과 동시에 신호제어 전략을 평가하고 분석하기 위한 통합 신호제어 시뮬레이터(HILS)를 개발함으로써 수행된 연구의 실용화 기반을 마련하였음

○ 하지만 본 연구에서는 간선도로의 트램 전용차로를 가정한 연구를 수행하여 기하구조의 제약 때문에 전용차로의 설치가 불가능한 구간에 대해서는 별도의 추가적인 알고리즘 개발이 필요함

○ 또한 제어구간 (SA, Sub Area)이 교차하는 경우에 트램 간의 상충이 발생할 가능성이 높아지고, 우선신호의 효율이 저하될 가능성이 존재하므로 다수의 노선과 다양한 성능의 트램차량이 동시에 운영될 때의 추가적인 알고리즘 연구를 통해 신호최적화 모형 및 신호제어 전략을 개선하고, 이를 통합 신호제어기의 S/W에 반영하는 것이 요구됨

○ 이러한 예외적인 경우에는 개발된 신호제어전략과 시스템의 성능저하가 예상되므로 이에 대한 개선과 분석이 요구되므로 향후 연구과제에서 위에서 언급한 예외상황에 대한 추가적인 모형의 개선이 필요하고, 현재 TRL 7 단계에서 TRL 9의 사업화 단계로 나아가기 위해서 현장상황의 모사를 위한 테스트 베드의 설치와 현장적용에 따른 지속적인 개선이 이루어져야 하며, 현장에서 실제 사용할 수 있는 수준으로 S/W 및 H/W의 완성도를 높여야 할 것으로 판단됨

○ 본 연구의 목표는 TRL 6의 시작품 단계 개발에 있으므로 시범설치 및 보급을 위한 현장 테스트가 수행되어야 할 것으로 예상되므로 연구의 실용화를 위해 향후 트램 시스템의 도입이 검토되는 지자체에 현장적용 시험 및 테스트 계획에 참여하여 본 연구의 결과를 테스트 베드에 직접 적용하는 방안을 모색하겠음

참고문헌

[국내 문헌]

1. 김영찬, 최태섭, “KS-Signal의 신호연동화기법을 이용한 네트워크형 간선도로 신호시간최적화 모형의 개발”, 대한토목학회논문집, 제21권, 제2-D호, pp165~173, 2001.
2. 서준석, “버스 및 버스정류장 용량산정에 관한 연구“, 명지대학교 박사학위 논문, 2003.
3. 신종현, “신도시건설에 따른 신교통수단 시스템 선정방안“, 서울과학기술대학교 석사학위 논문, 2005.
4. 이호원, “단거리 무선통신기반 교통정보서비스 적용 평가를 위한 시뮬레이션 기법 개발”, 아주대학교 박사학위 논문, 2009.
5. 정영제, 김영찬, 김대호, “도시부 간선도로의 고정식 트램 우선신호를 위한 교통신호운영 전략”, 한국ITS학회논문집, 제10권, 제1호, pp.27~41, 2011.
6. 한여희, 김영찬, “버스 연동중심제어를 이용한 버스우선신호 최적화 방법론”, 대한교통학회 학술대회지, 제61권, pp.761~765, 2009.
7. 경찰청, 「교통신호기 설치・관리 매뉴얼」, 2012.
8. 경찰청, 「도시별 교통관제 시스템 사양 분석서」, 2012

9. 국토교통부(광역도시철도과), 도시철도 건설규칙, 2013.3.23(국토교통부령 제1호)

10. 국토교통부(광역도시철도과), 도시철도 운전규칙, 시행 2010.8.9(국토해양부령 제272호)

11. 국토교통부(철도기술안전과), 도시철도차량 관리에 관한 규칙, 시행 2013.3.23 (국토교통부령 제1호)

12. 국토교통부(철도기술안전과), 도시철도차량 안전기준에 관한 규칙, 시행 2013.3.23(국토교통부령 제1호)

13. 국토교통부, 「간선도로 교통신호제어 최적화 및 평가 소프트웨어 개발」, 1997.

14. 국토교통부, 한국교통연구원,「철도 관련 법제 개선 연구」, 2009.8

15. 서울시정개발연구원, 「남산1호터널 교통정보시스템 모니터링」, 2001.

16. 서울시정개발연구원, 「도로교통망의 이동성 분석지표 개발」, 2003

17. 서울시정개발연구원, 「서울시 간선도로 교통종합개선시범사업 모니터링 및 평가방법 개발」, 2000.

18. 서울특별시,「서울특별시 10개년 도시철도 기본계획에 대한 종합발전방안」, 2013.

19. 정두언 외, 노면전차의 건설 및 운영에 관한 법률안, 2012.12.3.

20. 한국교통연구원, 「궤도시설 관련 법령정비를 위한 기초연구」, 2007.

21. 한국교통연구원, 「ITS 요소기술 홍보 및 수출전략 연구」, 2009.

22. 한국개발연구원 공공투자관리센터,「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」, 2008.

23. 한국철도기술연구원, 「노면전차 관련 도로교통법 시행령·시행규칙 개정을 위한 자료조사」, 2012.

24. 한국철도기술연구원, 「무가선 저상트램 시스템 개발 연구」, 2010~2012.

[국외 문헌]

1. Abebe Y., Conte R., Gordon S. and Mustafa K., "Planning Methods for Integrating LRT Operations into an Urban Street Traffic Control System", Presented at 66th ITE Annual Meeting, Institute of Transportation Engineers, Washington D.C., USA, 1996.

2. Al-Mudhaffar A., Bang K-L., "Impacts of Coordinated Traffic Signal Control Strategies and Bus Priority", The conference of the TRB 85th Annual Meeting, Washington D.C., USA, 2006.

3. David Cohen, Larry Head and Steven G. Shelby, "Performance Analysis of Coordinated Traffic Signals During Transition", The 85th TRB Annual Meeting CD-ROM, pp 19~31, 2007.

4. Dion Francois, Ghanim Mohammad, "Impact of Dwell Time Variability on Transit Signal Priority Performance at Intersections with Nearside Bus Stop", In Proceedings of the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2007.

5. Eleni M., Skabardonis A., "Traffic Signal Optimization with Conditional Transit Signal Priority for Conflicting Transit Routes", 12th World Conference on Transport Research(WCTR), Lisbon, Portugal, 2010.

6. Frank Dreher, Sonal Ahuja, Tom van Vuren, Jason Smith and Mott MacDonald, "Innovative Modeling and Design of Integrated Light Rail Transit Priority Systems Case Study LRT Nottingham", Association for European Transport, 2007.

7. Garrow M. and R. Machemehl, "Development and Evaluation of Transit Signal Priority Strategies", Presented at 77th Annual Meeting of the Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA, 1998.

8. Hanseon Cho, "Preemption Strategy for Traffic Signals at Intersections near Highway-Railroad Grade Crossings", Doctor of Philosophy, Texas A&M University, 2003.

9. Hongchao Liu, Alexander Skabardonis and Meng Li, "Simulation of Transit Signal Priority Using the NTCIP Architecture", Journal of Public Transportation, 2006 BRT Special Edition, pp.117~136, 2006.

10. Ilsoo Yun, Matthew Best and Byungkyu Brian Park, "Evaluation of Emergency Vehicle Preemption Strategies on a Coordinated Actuated Signal System Using Hardware-in-the-Loop Simulation", The 85th TRB Annual Meeting CD-ROM, 2007.

11. Jie Zhang, "Evaluation of transit signal priority using analytical method", Master of science in civil engineering, Texas Tech University, 2007.

12. Levinson H., Zimmerman S., Clinger J. et al, "Bus Rapid Transit Volume 2: Implementation Guidelines", Transit Cooperative Research Program Report, No. 90, Transportation Research Board, Washington D.C., USA, 2003.

13. Liao C.-F. and Davis G., "Bus Signal priority Based on GPS and Wireless Communications - Phase I Simulation Study", Final Report, Intelligent Transportation Systems Institute, Center for Transportation Studies (CTS 06-07), University of Minnesota, 2006.7.

14. McGinley F. J. and Stolz D. R, "The design of traffic signals.", Journal of Advanced Transportation, pp. 133~151, 1985.

15. Meenakshy Vasudevan, "Robust Optimization Model for Bus Priority under Arterial Progression", Doctor of Philosophy, University of Maryland, 2005.

16. Meng Li, Guoyuan Wu, Scott Johnson and Wei-bin Zhang, "Analysis Toward Mitigation of Congestion and Conflicts at Light Rail Grade

Crossings and Intersections", California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2009-9, pp.43, 2009.

17. Meng Li, Guoyuan Wu, Yue Li, Fanping Bu and Wei-bin Zhang, "Active Signal Priority for Light Rail Transit at Grade Crossings", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board NO. 2035, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C, USA, pp.141~149, 2007.
18. Michael Barton, "Evaluation of transit signal priority options for rapid transit and light rail transit in the city of Richmond", Master of Applied Science, University of Waterloo, 2003.
19. Pitu Mirchandani, Larry Head, "RHODES: A REAL-TIME TRAFFIC SIGNAL CONTROL SYSTEM: ARCHITECTURE, ALGORITHMS, AND ANALYSIS", Transportation Research Part C Emerging Technologies, 2001.
20. Skabardonis Alexanders., "Comparative Analysis of Computer Models for Arterial Signal Timing", Transportation Research Record, vol. 1021, Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C., 1985.
21. Skabardonis Alexanders, "Control Strategies for Transit Priority", Transportation Research Record, vol. 1727, Transport Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA, pp.20~26, 2000.
22. Steven M. Click, "Evaluation of Variable Maximum Green Time to Improve Rural Traffic Signal Operations", Transportation Research Record, vol. 2080, pp. 75~83, 2008.
23. Susan M., "Simulation of Houston light rail transit predictive priority operation", Institute of Transportation Engineers. ITE Journal, Lisbon, Portugal, 2002.

24. Wonho Kim, "An Improved Bus Signal Priority System for Networks with Nearside Bus Stops", Doctor of Philosophy, Texas A&M University, 2004.

25. Zong Tian, Thomas Urbanik, Carroll Messer, Kevin Balke and Peter Koonce, "A System Partition Approach to Improve Signal Timing", The conference of the TRB 82th Annual Meeting, Washington D.C., USA, 2003.

26. Zou X., "Simulation and Analysis of Mixed Adaptive Cruise Control/Manual Traffic," Master's Thesis, University of Minnesota, 2001.

27. CIE 48, Light Signals for Road Traffic Control, 1980.

28. Legislation.gov.UK, Road Traffic The Traffic Signs Regulations and General Directions, 2002.

29. Transportation Research Board, 「Highway Capacity Manual」, Special Report 209, Washington D.C., USA, 2000.

30. Transportation Research Board, 「Traffic Flow Theory(Special Report 165)」, pp.4~42, 1997.

31. US Department of Transportation, 「Manual of Uniform Traffic Control Devices」, 2009.