

BRT 구간 딥 러닝을 활용한 버스우선 신호도입 방안에 관한 연구

임창식* · 최양원**

Lim, Chang-Sik* · Choi, Yang-Won**

A Study on the Introduction of Bus Priority Signal using Deep Learning in BRT Section

ABSTRACT

In this study, a suitable algorithm for each BRT stop type is presented through the network construction and algorithm design effect analysis through the LISA, a traffic signal program, for the BRT stop type in the BRT Design Guidelines, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010.6. It was. The phase insert technique is the most effective method for the stop before passing the intersection, the early green technique for the stop after the intersection, and the extend green technique for the mid-block type stop. The extension green technique is used only because it consists of BRT vehicles, general vehicles and pedestrians. Analyzed. After passing through the intersection, the stop was analyzed as 56.4 seconds for the total crossing time and 29.8 seconds for the delay time. In the mid-block type stop, the total travel time of the intersection was 40.5 seconds, the delay time was 9.6 seconds, the average travel time of up and down BRT was 70.2 seconds, the delay time was 14.0 seconds, and the number of passages was 29.

Key words : Deep learning, Smart intersection, BRT (Bus Rapid Transit), Bus priority signal

초 록

본 연구는 딥러닝 기술을 적용한 스마트교차로의 부산 해운대로 BRT 구간 버스정류장 유형을 대상으로 교통신호 프로그램인 LISA를 통해 네트워크 구축 및 알고리즘 설계 효과분석을 통해 버스정류장 유형별로 적합한 알고리즘을 제시하였다. 교차로 통과 전 정류장은 Phase insert 기법, 교차로 통과 후 정류장은 Early green 기법, 미드블럭형 정류장은 Extend green 기법이 가장 효과적인 것으로 분석되었고, 버스 및 일반차량과 보행자 현시로 구성하였기 때문에 Extend green 기법으로만 분석하였다. 교차로 통과 전 정류장은 교차로의 전체 통행시간은 57.8초, 지체시간은 33.2초, BRT 상·하행 평균 통행시간 85.3초, 지체시간 31.1초, 통과대수는 28대로 분석되었고, 교차로 통과 후 정류장은 교차로의 전체 통행시간은 58.2초, 지체시간은 31.8초, BRT 상·하행 평균 통행시간 102.2초, 지체시간 42.5초, 통과대수 26대로 분석되었다. 미드블럭형 정류장은 교차로의 전체 통행시간은 42.5초, 지체시간은 11.2초, BRT 상·하행 평균 통행시간 74.2초, 지체시간 17.0초, 통과대수 28대로 분석되었다. 분석결과를 토대로 버스우선 신호시범도입, 보행자 시거확보를 위한 계단식정지선, 속도감속을 위한 고원식횡단보도, 딥러닝 기술을 활용한 무단횡단금지 경고 벨 및 VMS 설치 등으로 BRT 구간에서의 교통사고 감소 효과가 기대되며, 이를 확대 도입할 필요가 있다.

검색어 : 딥러닝, 스마트교차로, 간선급행버스체계, 버스우선신호

* 교신저자·도로교통공단 부산지부 차장대우 (Corresponding Author·Busan Branch of Road Traffic Authority·cslim@koroad.or.kr)

** 종신회원·영산대학교 드론교통공학과 교수 (Yeongsan University·ywchoi@ysu.ac.kr)

Received October 28, 2019/ revised November 11, 2019/ accepted November 12, 2019

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국토교통부의 발표에 따르면 우리나라의 자동차대수는 2018년말 기준 2,300만대를 돌파했다. 이로 인해 도로의 지·정체 확산 및 교통사고, 교통혼잡비용 증가 등에 따른 사회·경제적 비용의 증가도 불가피한 실정이다. 손실비용을 감소하기 위해 차량 10부제, 혼잡통행료 등이 있지만 현실적인 한계가 있는 실정이다.

이와 같은 문제를 완화하기 위해 대중교통 이용 전환을 유도하기 위해 대중교통인프라 확대 및 효과적인 운영이 필요하다. 하지만 인프라의 확충만으로는 대중교통 서비스 향상을 기대하기가 어려운 실정이다. 특히 대중교통 이용유도 및 대중교통 서비스의 향상을 위해 버스의 정시성 및 신속성을 증가할 수 있는 버스우선 신호의 국내 연구 중 도로구간, 교차로 등과 관련된 연구는 진행되고 있지만 부산의 경우 BRT 정류장 유형에 따른 버스우선 신호 연구는 미흡한 실정이다. BRT 차량 이용 편의의 향상을 위해 버스의 통행권을 우선적으로 확보할 수 있는 BRT 정류장 유형별을 고려한 버스우선 신호체계 연구가 필요하다.

본 연구에서는 부산 해운대로 구간 BRT 정류장의 유형 중 정류장의 설치 및 기하구조 유형을 검토하고 각 정류장 유형별에 따른 적정 능동형 우선 신호 알고리즘 설계 및 분석을 통해 BRT 정류장의 유형별 적정 버스우선 신호 알고리즘을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 수행과정

본 연구에서는 정류장의 유형에 따른 버스우선 신호 선행연구 검토를 통해 BRT 정류장별 우선 신호도입기법 선정 및 감응식 알고리즘을 설계한다. 그에 따른 시나리오 유형별 효과분석을 통해

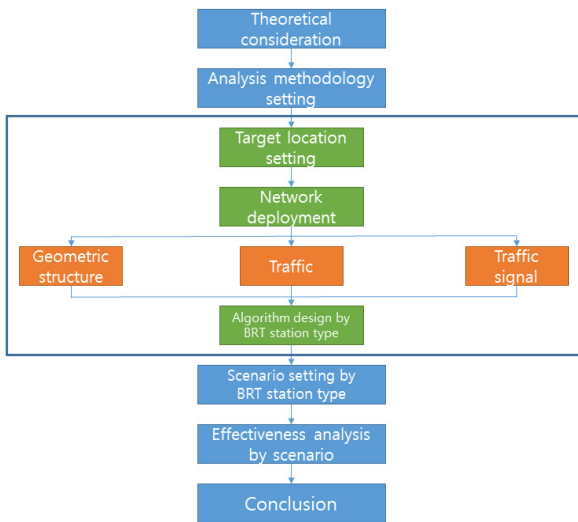


Fig. 1. Research Flow

시나리오 유형별 적정 알고리즘 도출하고, BRT 설치 전·후 교통사고 분석 및 시민의식조사를 하며, 유형별 최적 알고리즘 분석결과를 바탕으로 향후 연구 과제를 제시하고자 한다(Fig. 1).

2. 이론적 고찰

2.1 이론적 고찰

Han and Lee(2006)은 실시간 신호제어시스템에서의 버스우선 신호 알고리즘 정립에 대한 연구를 하였는데 실시간 신호제어시스템의 버스우선 신호를 실행 및 미 실행에 비교한 결과 총 지체는 증가하나 이는 기존 버스우선 신호보다는 비교적 총 지체를 감소시킨 것으로 나타났다.

Hong et al.(2011)은 UTIS를 활용한 수요 기반의 능동형 버스우선 신호제어 알고리즘에 관한 연구를 진행하였는데 CORSIM RTE를 활용한 HILS 기반의 평가시스템을 통해 효과 분석하여 현장의 적용 가능성을 검증하였고, 시뮬레이션 결과 버스의 통행시간은 10%정도 개선효과가 있었으며 전체 차량 제어지체는 큰 영향을 받지 않는 것으로 밝혔다.

Lee et al.(2012)는 도시교통정보시스템 기반 버스우선 신호 알고리즘 개발에 대해 연구하였는데, 1현시 조기종결, 2현시 조기종결, 3현시 현시연장에 대한 모든 알고리즘이 정상적으로 운영되는 것을 확인하였고, 기 정의된 UITS 통신 규격을 준용하면서 실시간 우선 신호적용에 필요한 1초 단위 버스위치 정보수신 기능과 1초단위의 신호운영 정보제공이 원활히 수행되는 것으로 나타났다.

간접급행버스체계(BRT)란 『대중교통이 육성 및 이용촉진에 관한 법률, 2013.3.23. 시행』에 의거하여 BRT 전용차로, 편리한 환승시설, 교차로에서의 버스 우선통행 그 밖의 국토해양부령이 정하는 사항을 갖추어 급행으로 버스를 운행하는 교통체계를 말한다. 지침에 따르면 BRT 정류장은 BRT 전용주행로나 혼용주행로 상에 설치된 정류장을 말한다.

2.1.1 교차로 통과 전 정류장

교차로의 교통상태가 심각하지 않은 수준에서 대중교통 교통량이 많을 때 적용하며(Fig. 2), 좌회전 교통류의 방해 단점이 상존한다.



Fig. 2. Near-Side Station

2.1.2 교차로 통과 후 정류장

버스 우선신호가 적용되고, 중앙 버스전용차로 시행시 사용되는 데 교차로의 각도가 90도가 되지 않을 경우 교차로 입구가 복잡하게 될 때 교차로 입구의 교통흐름에 대한 방해로 감소시키기 위해 설치된다(Fig. 3). 앞막힘현상(Spill-back)의 우려가 큰 단점이다.



Fig. 3. Far-Side Station

2.1.3 미드블럭형 정류장

버스전용도로 및 전용차로 상에서 교차로와 일정거리 이상 이격된 지점에 설치하는 방식이다(Fig. 4). 도심에 주로 적용하며 많은 버스운행노선이 중복될 때 환승이 편리하며 교통량 또는 기타상황으로 버스의 정차가 쉽지 않을 때 사용한다. 도로구간 내 정류장을 설치할 경우 승강장과 횡단보도 설치형태에 따라 통합형과 분리형으로 구분할 수도 있다.



Fig. 4. Mid-Block Station

2.2 딥러닝 이론

딥러닝은 인공신경망 이론이 발전된 형태의 인공지능이다. 다중 퍼셉트론을 통한 비선형 문제의 해결, 역전파 알고리즘을 통한 학습, 복잡한 문제 해결을 위한 신경망의 층수확대, 최적화 과정에서 학습 효율성을 개선한 경사하강법의 고도화, 경사감소소멸, 문제에 대한 활성화 함수의 개선, 과적합을 막기 위한 규제화, 기법 개발 등 신경망 학습알고리즘의 발전이 이루어지고 있다. 딥러닝 이론은 인간의 뇌를 모델로 하여 여러 정보를 처리하는 알고리즘을 일컫는 인공신경망에 기반을 둔다. 기존 인공신경망 이론의 다층 퍼셉트론 구조가 적용되고 피드포워드를 통한 예측과 역전파 알고리즘을 통해 가중치를 업데이트하는 학습이 수행된다. 이때 예측치와 실제 값의 오차를 최소화하는 가중치를 찾는 최적화 알고리즘은 경사하강법이 주로 적용되며, 경사하강 법으로는 등이 있다. 활성화 함수는 은닉 층의 노드에서 데이터와 가중치를 선형적으로 곱하여 모두 합산한 값에 임계치를 적용해 활성화 정도를 부여함으로써 실질적으로 의미 있는 데이터와 의미 없는 데이터를 필터링하는 역할을 수행하는데, 주요 활성화 함수에는 Sigmoid, tanh, ReLU 등이 있다.

기존의 신호교차로는 루프검지기를 통하여 수집된 자료를 토대로 신호현시 스케줄을 계획하고 현장에 적용되는 구조였으나, 스마트교차로는 루프검지기의 파손에 따른 자료 수집 부재의 문제를 해결하고, 4차 산업혁명 기술의 핵심기술 중 하나인 딥러닝 기술을 활용하여 전국 최초로 신호교차로의 교통류 흐름을 진단하기 위한 시스템이다.

스마트교차로는 크게 네 가지로 구분된다. 먼저 신호교차로의 교통흐름을 진단하기 위해 각 접근로별 고화질(2M)의 영상수집 장치를 설치하고 이를 센터로 전송한다. 전송된 영상자료는 센터 내 딥러닝 알고리즘에 의해 실시간으로 객체를 검출하며, 실시간으로 객체를 분류한다. 이어 집계된 자료는 국토교통부 도로용량평판(KHCM)에 따라 자동으로 교차로 혼잡 수준(서비스수준, LOS)를 산출하며, 이를 토대로 시뮬레이션 하는 구성으로 되어 있다.

2.3 차량대기길이 모형

2.3.1 로지스틱 회귀분석 고찰

로지스틱 회귀는 Cox(1958)이 제안한 확률 모델로서 독립변수의 선형결합을 이용하여 사건의 발생 가능성을 예측하는데 사용되는 통계기법이다. 로지스틱 회귀는 선형회귀 분석과는 다르게 종속 변수가 범주형 데이터를 대상으로 하며 입력 데이터가 주어졌을 때 해당 데이터의 결과가 특정 분류로 나뉘기 때문에 일종의 분류(Classification) 기법으로도 볼 수 있다. 독립 변수가 $[-\infty, \infty]$ 의 어느 숫자이든 상관없이 종속 변수가 항상 범위 $[0, 1]$ 사이에 있도록 한다. 이는 오즈비(Odds Ratio) 변환을 수행함으로써 얻어진다. 오즈비는 성공 확률이 실패 확률에 비해 몇 배 더 높은가를 나타내며, 여기에 로그를 취하면 입력 값의 범위가 $[-\infty, +\infty]$ 일 때 출력 값의 범위를 $[0, 1]$ 로 조정한다.

$$odds = \frac{p(y = 1/x)}{1 - p(y = 1/x)} \tag{1}$$

$$\text{logit}(p) = \log \frac{p}{1 - p} \tag{2}$$

$$y_i = \ln \left(\frac{p_i}{1 - p_i} \right) = \alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi} + e_i, e_i \sim \text{Normal}(0, \sigma^2) \tag{3}$$

$$p_i = \Pr(Y = 1/x) = \frac{e^{(\alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi})}}{1 + e^{(\alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi})}} + e_i^* = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi})}} + e_i^* \tag{4}$$

2.3.2 딥러닝 기반 로지스틱 회귀구현 기법

로지스틱 회귀의 가설함수를 선형회귀의 비용함수에 바로 대입하는 경우에는 울퉁불퉁하여 기울기가 0이 되는 지점이 다수 발생하는 non-convex 함수가 되고, 이로 인해 전역최솟값(global minima)이 아닌 지역최솟값(local minima)에 수렴하는 문제가 발생하게 된다. 이에 신경망 이론에서는 딥러닝 모형을 통한 추정값과 실제 값의 차이 즉 오차를 나타내는 함수인 비용함수를 convex 함수가 되도록 조정하여 경사하강법(Gradient Descent Algorithm)이 원활히 작동될 수 있도록 이 문제를 해결한다. 실제 값이 1인 경우와 0인 경우 각각에 로그를 취함으로써 convex 함수 형태를 만들어 비용을 최소화 할 수 있도록 만든 것이다.

$$H(x) = \frac{1}{1 + e^{-(Wx+b)}} \quad (5)$$

$$\text{cost}(W) = \frac{1}{m} \sum c(H(x), y) \quad (6)$$

$$c(H(x), y) = \begin{cases} -\log(H(x)) & : y = 1 \\ -\log(1 - H(x)) & : y = 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$c(H(x), y) = -y \log(H(x)) - (1 - y) \log(1 - H(x)) \quad (8)$$

여기서, $H(x)$: Hypothesis of Logistic Function

2.4 딥러닝 기술 적용사례

부산광역시 교통정보서비스센터에서는(Busan Metropolitan City, 2018; Busan Metropolitan City, 2019) 2018년도 스마트교차로 고도화 사업에서 기존 YOLO 알고리즘 대신 DetectNetREX 알고리즘을 적용하여 여러 문제점들을 개선하였다(Fig. 5).

Jung(2018)은 먼저 큰 객체 검출 성능이 낮은 단점을 보완하기 위해 버스, 화물차 등 대형차량에 대해서는 전면을 기준으로 메타 데이터를 생성하였고, 객체의 검출 수집영상을 1/4로 줄인 직사각형의 영상을 16간격으로 Grid를 생성하여 기존 YOLO 알고리즘 보다 객체의 검출 성능을 한 단계 더 높였다.

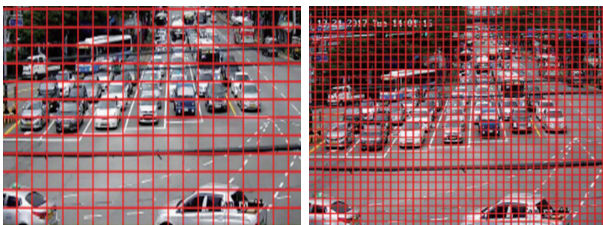


Fig. 5. YOLO & DetectNetREX Grid Compare

또한 공용차로의 문제점을 해결하고자 검출 영역의 겹침 비율 (IoU) 정보를 이용하여 동일 객체의 판단과 추적을 통해 기존

공용차로에서 직우·직좌의 회전교통량을 수집하기 위한 검지박스가 사라지고 더욱 정확한 회전교통량을 검출하였다. 이러한 기술의 발전은 BRT 구간 버스 우선신호 도입을 위한 차량의 대기길이 추정에도 매우 도움이 될 것으로 판단하다.

2.5 버스 우선신호 알고리즘

버스 우선신호는 도로의 지·정체 구간 및 교차로에서 지체감소와 통행시간 단축을 위한 물리적, 운영적 측면에서 버스통행우선권을 제공하는 것으로 버스 통행속도 증가, 정시성 확보를 통하여 서비스를 개선하기 위한 시스템을 말한다. 버스 우선신호 시스템을 도입하는 경우에는 교차로의 특성을 고려하여 지체가 최소화 될 수 있도록 우선신호의 도입이 필요하며, 버스 우선신호는 수동형 우선신호(Passive priority), 능동형 우선신호(Active priority)로 구분한다(Fig. 6).

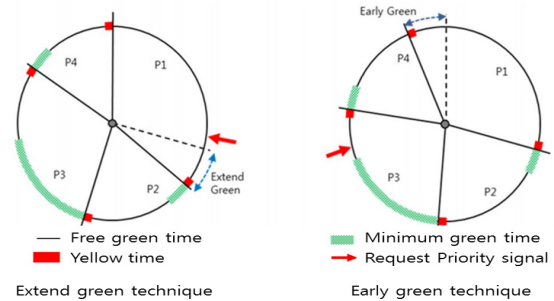


Fig. 6. Concept of Active Priority Signal Control Method

3. BRT 구간 교통사고분석 및 주민의식조사

3.1 BRT 설치 전·후 교통사고 분석

부산 해운대로 구간 BRT 설치 전 3년 평균과 BRT 설치 후 1년간의 교통사고 건수와 사상자수는 각각 29.9 %와 31.8 %가 감소한 것으로 나타났다(Fig. 7).

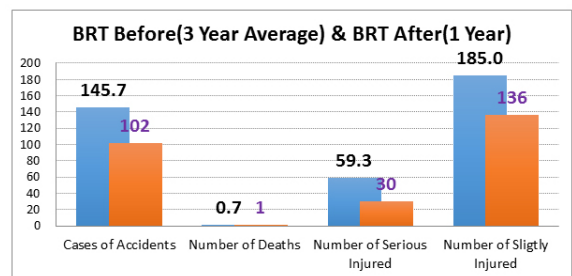


Fig. 7. BRT Before and After Cases of Accidents

교통사고 유형별로 살펴보면, 차대차사고는 33.9 %, 차대사람사고 5.1 %가 감소하였고, 단독사고는 21.2 %가 증가로 나타났다

(Fig. 8). 도로의 중앙에 설치되는 BRT 특성 상 보행자의 횡단이 많아져 보행자사고 감소율이 매우 낮고, 구조물 설치가 많아 단독사고가 증가된 것으로 예측된다.

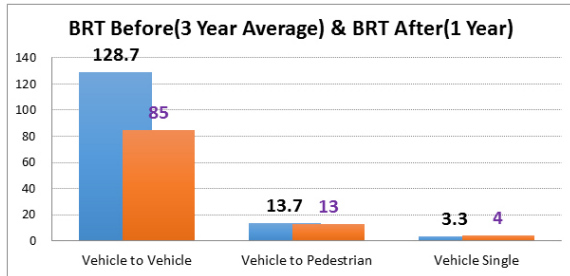


Fig. 8. BRT Before and After Type of Accidents

3.2 BRT 설치 전·후 정보제공방식 인식조사

‘중앙버스전용차로구간 내 주요 교차로들을 대상으로 교차로 접근로별 소통정보 및 영상정보가 서비스된다면 도움이 되시겠습니까?’라는 질문에 ‘매우 도움이 된다’라고 응답한 응답자는 86명(42.4%), ‘도움이 된다’라고 응답한 응답자는 51명(25.1%)으로 긍정적인 인식을 가진 응답자가 전체의 67.5%를 차지했다(Fig. 9)

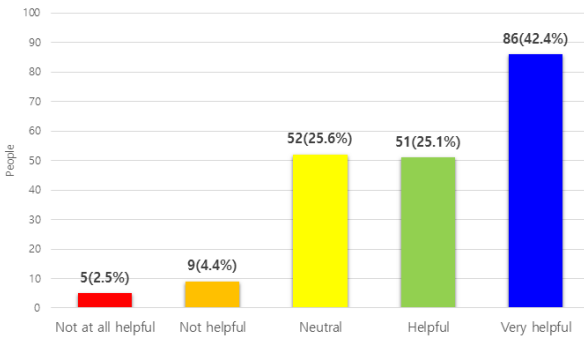


Fig. 9. Whether BRT Can Help Citizen Services

또한, 설문대상자에게 향후 시스템 발전을 통해 제공될 수 있는 소통정보 중 선호정보 유형으로는 지체시간, 통행속도, 신호대기횟수, 대기행렬길이 순으로 나타났다(Table 1).

Table 1. Preferred Information Type

Division	Cumulative Weights	
Types 1	Queuing time standard	629
Types 2	Passing speed standard	474
Types 3	Signal waiting count standard	563
Types 4	Vehicle queue length standard	364

4. 분석방법론

4.1 분석방법

딥러닝 기술이 적용된 스마트교차로 구간인 해운대로에 간선급행버스체계(BRT) 설계지침에서 제시한 BRT 구간 정류장 유형별 중 교통신호 프로그램인 LISA를 사용하여 버스우선신호 알고리즘 설계 및 분석을 실시하고 각 버스정류장 유형별 알고리즘 분석에 따른 효과가 가장 좋은 알고리즘을 선정한다(Fig. 10).

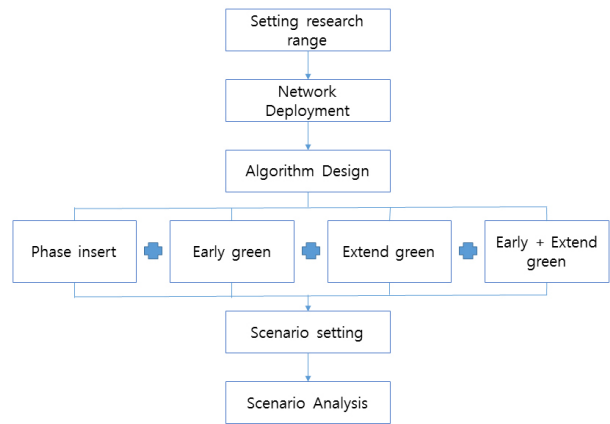


Fig. 10. Analysis Flow of Research

- 버스정류장 유형에 적합한 교통신호프로그램 및 대상지를 선정한다.
- 교차로 통과 전, 통과 후, 미드블럭형 정류장(횡단보도 통합형)에 대해 네트워크를 구축한다.
- Phase insert, Early green, Extend green 외에 Early green, Extend green 기법을 혼용한 Early green + Extend green을 포함한 총 4가지에 대해 알고리즘을 설계한다.
- 설계된 알고리즘으로 버스정류장 유형별에 따른 시나리오를 설정한다.
- 시나리오별 분석을 통해 버스정류장 유형별 효과분석을 실시하고 그에 따른 버스정류장별 알고리즘 도출

4.2 시나리오

Kang(2014)과 같은 방법으로 시나리오별 일반차량 및 버스 주행속도, 교통량, 신호주기 및 현시자료를 동일하게 설정하고 버스 및 일반차량의 지체시간 및 통행시간을 효과적으로 정립하여 분석한다(Table 2).

Table 2. Scenario Preferences

Division	Setting contents
Geometry, Speed	<ul style="list-style-type: none"> ○ BRT bus stop type - Near-side/Far-side & Mid-block type ○ Set general vehicle & BRT speed to 50 km/h
Traffic volume	<ul style="list-style-type: none"> ○ BRT vehicle - 30 veh/hr ○ General vehicles: major road - 1,200 veh/hr, minor road - 400 veh/hr (including heavy vehicle)
Cycle, Phase	<ul style="list-style-type: none"> ○ Set to 120 sec of cycle ○ Near-side/Far-side station - Set to 40 sec per phase ○ Mid-block type - Set to 80 sec for general vehicle, 80 sec for pedestrian phase

Phase insert, Early green, Extend green, Early + Extend green 기법은 보행자의 안전성 측면을 보장하지 못하므로 교차로 통과 전·후 정류장은 보행자를 고려하지 않고 시나리오를 설정한다. 미드블럭형 정류장의 경우는 BRT 차량과 일반차량, 보행자현시로 구성되어 보행자 현시 단축으로 안전사고 발생위험으로 인해 Phase insert, Early green, Early + Extend green 기법을 제외하고 시나리오를 설정한다(Table 3).

Table 3. Scenario Specific Settings

Division	Setting contents
Near-side station	<ul style="list-style-type: none"> ○ Phase insert, ○ Early green,
Far-side station	<ul style="list-style-type: none"> ○ Extend green, ○ Early green + Extend green
Mid-block station	<ul style="list-style-type: none"> ○ Extend green

4.3 딥러닝 기반의 차량대기길이 추정모형 개발

Lee et al.(2018a; 2018b)에 차량대기길이 추정모형은 크게 3가지 인공지능 모형으로 구성된다. 차량대기길이의 링크 초과 여부를 추정하는 로지스틱 모형과 링크 미초과 차량대기길이 추정

모형, 링크초과 차량대기길이 추정모형이다. 각 딥러닝 모형에는 데이터 분석결과에서 제시한 바와 같이 각각의 모형에 적합한 회귀 및 분류 용도의 데이터가 입력변수로 설정되어 있다고 분석하였다(Fig. 11).

4.4 알고리즘 설계

4.4.1 Phase Insert

도로용량편람(The Minister of Land, Transport and Maritime Affairs, 2013)을 참조하여 1현시에서는 버스의 위치 파악을 위해 전·후방에 있는 검지기의 검지여부를 판단하여 버스의 위치 및 검지여부를 판단하고 정지선에 있는 전방검지기에서 검지기 점유 시간이 2초 이상 될 경우는 정차로 판단하여 승·하차시간(20초)을 고려하여 1현시를 운영한다(Table 4).

2현시에서는 버스 검지가 될 경우 버스만 통과할 수 있는 4현시로 전환되어 운영한다. 4현시 녹색시간을 우식으로 정리하면 Eq. (9)와 같다.

$$\frac{\text{지점검지기} \sim \text{횡단보도까지 거리}(160m)}{\text{BRT주행속도}(60km/h)} \quad (9)$$

교차로 통과 후 정류장은 BRT 정류장이 교차로를 통과한 후에 위치하기 때문에 전방검지기는 신호현시를 BRT 현시로 전환시켜 주는 기능이다.

2현시에 BRT 구간 내에 버스가 검지가 될 경우 BRT만 통과할 수 있는 4현시로 전환되며, BRT 구간에 버스가 미 검지될 경우 기존 2현시를 운영하고 3현시로 전환된다(Table 5).

3현시에 BRT 구간 내에 버스가 검지가 될 경우 BRT 차량 및 일반차량이 통과할 수 있는 1현시로 전환된다(Table 6).

4현시에 BRT 구간 내에 버스가 검지가 될 경우 BRT 차량 및 일반차량이 통과할 수 있는 3현시로 전환된다(Table 7).

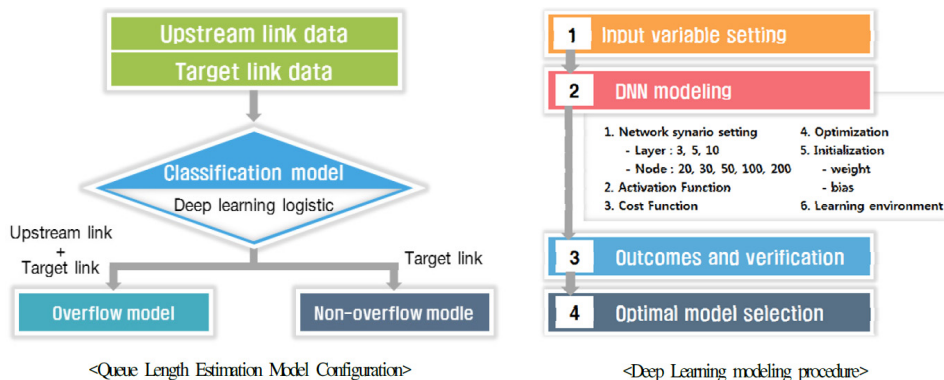
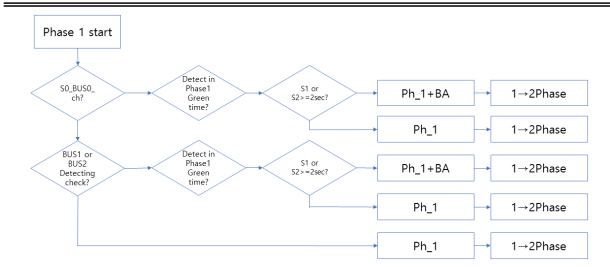


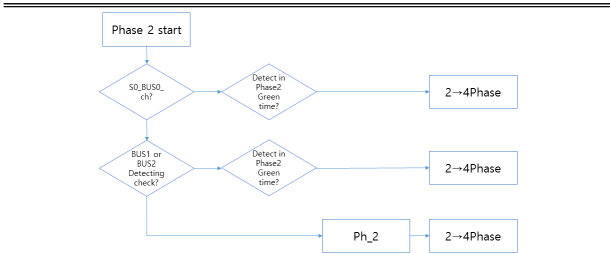
Fig. 11. Vehicle Queue Length Estimation Model Configuration and Modeling Procedure

Table 4. 1-Phase Insert Operation Method



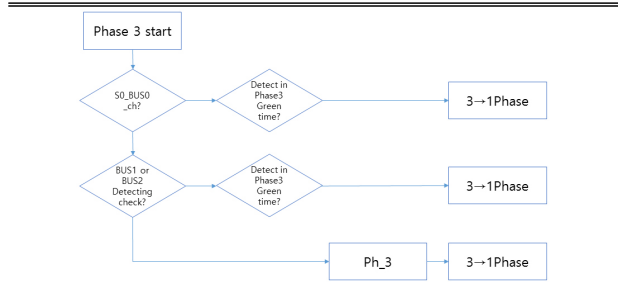
- S0_BUS0_ch : Judge buses between stop line detector and bus detector
- S1, S2 : Detector which judges stop-status
- BUS1, BUS2 : Bus detector
- BA : Bus ascending/descending time (20 sec)
- Ph_1 : Phase1 operating time,
- Ph_Min1 : Phase1 minimum operating time

Table 5. 2-Phase Insert Operation Method



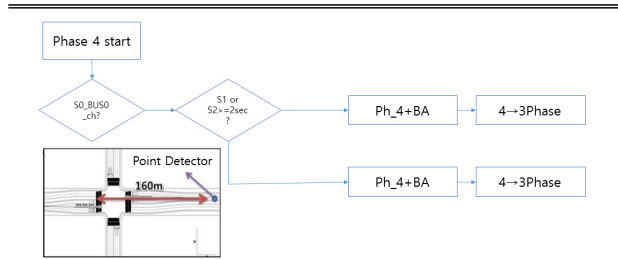
- S0_BUS0_ch : Judge buses between stop line detector and bus detector
- BUS1, BUS2 : Bus detector
- Phase 4 : Bus-only phase
- Ph_2 : Phase2 operating time

Table 6. 3-Phase Insert Operation Method



- S0_BUS0_ch : Judge buses between stop line detector and bus detector
- BUS1, BUS2 : Bus detector
- Ph_3 : Phase3 operating time

Table 7. 4-Phase Insert Operation Method



- S0_BUS0_ch : Judge buses between stop line detector and bus detector
- BUS1, BUS2 : Bus detector
- Phase 4 : Bus-only phase,
- BA : Bus ascending/descending time (20 sec)
- Ph_4 : Phase4 operating time (green time 10 sec)

Table 8. Priority Signal Analysis Result

Division		Phase insert	Early green	Extend green	Early green+ Extend green
Near-side station	Total	Travel time (S)	57.8	65.8	79.2
		Delay time (S)	33.2	40.4	56.3
	BRT	Travel time (S)	85.3	62.7	96.8
		Ascending	31.1	24.3	83.4
		Descending	28	27	24
Far-side station	Total	Travel time (S)	62.4	58.2	65.9
		Delay time (S)	35.3	31.8	38.3
	BRT	Travel time (S)	97.9	102.2	97.5
		Ascending	41.4	42.5	38.8
		Descending	23	26	25
Mid-block station	Total	Travel time (S)	-	-	42.5
		Delay time (S)	-	-	11.2
	BRT	Travel time (S)	-	-	74.2
		Ascending	-	-	17.0
		Descending	-	-	28

5. 분석결과

간선급행버스체계(BRT) 설계지침 상에서 BRT 정류장 유형별에 따라 구축한 알고리즘을 바탕으로 해운대로 구간 BRT 정류장 유형별로 적용 및 현실적인 분석을 위해 LISA에서 Random Seed 설정하고 분석 값은 시뮬레이션 분석 횟수 30번의 평균값으로 도출하였다(Table 8).

교차로 통과 전·후 정류장은 Phase insert, Early green, Extend green, Early green + Extend green에 대해 비교분석을 하였고, 미드블럭형 정류장의 경우 보행자의 안전을 고려하여 Extend green 기법을 적용하고 분석하였다.

교차로 통과 전 정류장 분석결과 개선효과가 가장 저조한 것은 Extend green 기법 이었고, 가장 좋은 기법은 Phase insert 기법으로 분석되었으며, 교차로의 전체 통행시간은 57.8초, 지체시간은 33.2초, BRT 상·하행 평균 통행시간 85.3초, 지체시간 31.1초, 통과대수 28대로 분석되었는데 이는 Phase insert 기법이 정류장에 승하차 시간을 고려하여 버스가 통과하도록 운영하기 때문에 가장 좋은 것으로 분석되었다. 교차로 통과 후 정류장은 일반차량의 효과가 가장 좋은 것으로 분석하였지만 BRT 상·하행 효과는 Phase insert 기법이 가장 좋은 것으로 분석되었다. 하지만 버스의 통과대수가 Extend green 기법이 가장 많기 때문에 BRT 측면에서 고려할 때 가장 좋은 것으로 분석되었으며 교차로의 전체 통행시간은 58.2초, 지체시간은 31.8초, BRT 상·하행 평균 통행시간 102.2초, 지체시간 42.5초, 통과대수 26대로 분석되었다.

미드블럭형 정류장은 보행자 고려로 인해 Extend green 기법만 분석하였으며, 교차로의 전체 통행시간은 42.5초, 지체시간은 11.2초, BRT 상·하행 평균 통행시간 74.2초, 지체시간 17.0초, 통과대수 28대로 분석되었다.

6. 결론

6.1 결론 및 연구요약

본 연구는 딥러닝 기술을 적용한 스마트교차로의 부산 해운대로 BRT 구간 버스정류장 유형을 대상으로 교통신호 프로그램인 LISA를 통해 네트워크 구축 및 알고리즘 설계 효과분석을 통해 버스정류장 유형별로 적합한 알고리즘을 제시하였다. 교차로 통과 전 정류장은 Phase insert 기법, 교차로 통과 후 정류장은 Early green 기법, 미드블럭형 정류장은 Extend green 기법이 가장 효과적인 것으로 분석되었고, BRT 구간 내 버스 및 일반차량과 보행자 현시로 구성하였기 때문에 Extend green 기법으로만 분석하였다.

첫째, 교차로 통과 전 정류장은 교차로의 전체 통행시간은 57.8초, 지체시간은 33.2초 BRT 상·하행 평균 통행시간 85.3초,

지체시간 31.1초, 통과대수 28대로 분석되었다. 둘째, 교차로 통과 후 정류장은 교차로의 전체 통행시간은 58.2초, 지체시간은 31.8초 BRT 상·하행 평균 통행시간 102.2초, 지체시간 42.5초, 통과대수 26대로 분석되었다. 셋째, 미드블럭형 정류장은 교차로의 전체 통행시간은 42.5초, 지체시간은 11.2초, BRT 상·하행 평균 통행시간 74.2초, 지체시간 17.0초, 통과대수 28대로 분석되었다. 넷째, 분석결과를 토대로 버스우선 신호시범도입, 보행자 시거확보를 위한 계단식정지선, 속도감속을 위한 고원식횡단보도, 딥러닝 기술을 활용한 무단횡단금지 경고 벨 및 VMS 설치 등으로 BRT 구간에서의 교통사고 감소 효과가 기대되며, 이를 확대 도입할 필요가 있다.

6.2 연구의 한계점 및 향후 연구방향

본 연구에서는 능동형 우선 신호 중 Phase insert, Early green, Extend green의 기법 등을 적용하였지만 향후 다각화된 능동형 우선 신호 알고리즘 설계 및 효과 분석이 필요하고, 부산광역시 해운대로 구간에서의 교차로 특성 및 BRT 차량의 정류장별 도착특성 등 대상지 특성에 맞는 자료의 입력 및 반영이 미흡하였으나 향후 2~3개 BRT 정류장에 대해 버스우선 신호를 시범 도입하여 현장에 맞는 맞춤형 자료입력과 분석이 필요하다. 또한, BRT 구간 내 횡단보도를 고원식횡단보도로 설치하는 방안과 스마트교차로 상에 설치된 딥러닝 기술을 횡단보도 내 보행자인식과 행동 등에 접목시키면 BRT 구간 내에서의 무단횡단 교통사고를 줄일 수 있을 것이라 기대되므로 향후 연구가 필요하다.

감사의글

본 연구는 영산대학교 연구비 지원을 받아 수행된 연구입니다.

References

- Busan Metropolitan City (2018). *Final report on service quality evaluation for smart intersection traffic management system in Busan metropolitan city* (in Korean).
- Busan Metropolitan City (2019). *Final report on service quality evaluation for smart intersection traffic management system in Busan metropolitan city* (in Korean).
- Cox, D. R. (1958). "The regression analysis of binary sequences whit discussion." *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, Vol. 20, No. 2, pp. 215-242.
- Han, M. J. and Lee, Y. I. (2006). "Establishment of bus priority signal in real-time traffic signal control." *Korean Society of Transportation*, Vol. 24, No. 7, pp. 101-114 (in Korean).
- Hong, K. S., Jung, J. H., An, K. H. and Lee, Y. I. (2011). "A study on the active transit signal control algorithm based on bus

- demand using UTIS.” *Korean Society of Transportation*, Vol. 29, No. 6, pp. 107-116 (in Korean).
- Jung, Y. T. (2018). “A study on traffic management system by smart intersection using deep learning technology.” *Korea Local Information Research & Development Institute*, Vol. 113, pp. 15-18 (in Korean).
- Kang, Y. S. (2014). *A study on the BRT priority signal operation considering bus stop characteristics*. Master’s Degree, Kongju National University (in Korean).
- Lee, B. G., Lee, C. K., Yoon, I. S. and Kim, Y. S. (2012). “Development of vehicle queue length estimation model using deep learning.” *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation System*, Vol. 11, No. 2, pp. 21-28 (in Korean).
- Lee, Y. J., Hwang, J. S., Kim, S. H. and Lee, C. K. (2018a). “Development of vehicle queue length estimation model using deep learning.” *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation System*, Vol. 17, No. 2, pp. 39-57 (in Korean).
- Lee, Y. J., Sim, M. G., Lee, S. S. and Lee, C. K. (2018b). “Development of vehicle queue length estimation model using deep learning.” *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation System*, Vol. 17, No. 4, pp. 54-62 (in Korean).
- Minister of Land, Transport and Maritime Affairs (2013). *Korea Highway Capacity Manual* (in Korean).
- The Minister of Land, Transport and Maritime Affairs (2013). *Korean highway capacity manual* (in Korean).