

고속도로 동적 갓길버스전용차로제 운영방안에 관한 연구

A Study on the Operation for Dynamic Bus-Only Hard Shoulder Running on Expressway

신 언 교* · 김 주 현**

* 주저자 : 안양대학교 도시정보공학과 겸임교수

** 교신저자 : 안양대학교 도시정보공학과 정교수

Eon-kyo Shin* · Ju-hyun Kim**

* Adjunct Professor, Dept. of Urban Information Eng., Anyang Univ.

** Professor, Dept. of Urban Information Eng., Anyang Univ.

† Corresponding author : Ju-hyun Kim, jhkim@anyang.ac.kr

Vol. 22 No.5(2023)
October, 2023
pp.108~126

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.5.108>

Received 2 August 2023
Revised 23 August 2023
Accepted 8 September 2023

© 2023. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

본 논문에서는 고속도로 반복정체구간의 소통개선을 위하여 사용되고 있는 갓길차로를 버스전용차로로 운영하는 갓길버스전용차로제 운영 방안을 제시하고 시뮬레이션을 수행하여 기존 갓길차로제 및 중앙버스전용차로&갓길차로제와 비교 평가 하였다. 평가결과에 의하면 현재와 같이 모든 차량을 위한 갓길차로를 운영하는 것보다 소통 및 안전측면에서 유리한 것으로 평가 되었다. 그리고 중앙버스전용차로&갓길차로 보다는 통과버스의 통행속도는 다소 감소하지만 진출입 버스의 통행속도는 증가되고 승용차의 통행속도가 크게 향상되었으며, 승용차와 버스 통행속도를 산술평균한 전체 차량의 통행속도도 크게 증가하는 것으로 분석되어 수송인원 효율성도 향상되는 것으로 분석되었다. 특히 승용차와 버스의 통행속도 차이가 크게 줄어들어 교통흐름이 안정화되고 승용차들의 버스전용차로 위반 행위를 크게 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 갓길차로 운영시간도 크게 감소되어 갓길차로 본래 기능을 최대한 유지시킬 수 있다. 이러한 영향으로 갓길버스전용차로제가 중앙버스전용차로&갓길차로제보다 사고위험도가 크게 감소되고 사고심각도가 큰 교차상충은 발생되지 않는 것으로 분석되었다.

핵심어 : 갓길차로제, 중앙버스전용차로&갓길차로제, 갓길버스전용차로제

ABSTRACT

In this paper, the dynamic hard shoulder running for bus only (HSRFBO) was presented to solve the traffic congestion by increase the capacity in chronic congested sections of highways, and a simulation was performed to evaluate the comparison with the current hard shoulder running for all vehicles(HSRFAV) and median bus only lane and HSR(MBOLHSR). According to the evaluation results, it was evaluated to be more advantageous in terms of traffic flow and safety than the current HSRFAV. In addition, the speed of passing buses is slightly reduced compared to the MBOHSR, but the speed of entering and exiting buses is increased and the speed of buses and cars is greatly improved. Therefore It was analyzed that the efficiency of transport personnel was also improved. In particular, it is expected that traffic flow will be stabilized as the difference in speed between passenger cars and buses will be greatly reduced, and violations of exclusive bus lanes by passenger cars will be greatly reduced. In addition, the operation time of HSR is greatly reduced, so that the original function of the shoulder lane can be maintained as much as possible. As a result, it was analyzed that the risk of accidents was significantly reduced when operating HSRFBO compared to when operating MBOHSR, and cross-conflicts with high accident severity did not occur.

Key words : Hard Shoulder Running for Bus Only, Hard Shoulder Running for All Vehicles, Median Bus Only Lane and Hard Shoulder Running

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

본 논문은 고속도로의 상습적인 혼잡구간에서 정체발생시 갓길차로 통행으로 교통용량을 증대시켜 소통 개선을 도모하기 위하여 사용되고 있는 갓길차로제(Hard Shoulder Running; HSR)를 버스만 통행할 수 있도록 하는 갓길버스전용차로제로 운영하는 방법을 검토하고 운영방안을 제시하는 데 목적이 있다. 우리나라 고속도로는 2007년부터 갓길차로제를 도입하여 한국도로공사_갓길차로제 운영 현황 자료(DATA.co.kr, 등록일 2022. 7. 6)에 의하면 갓길차로 운영구간은 9개 노선 64개 구간의 255.92km에서 운영이 되고 있고 매년 증가 추세에 있다. Korea Expressway Corporation(2016)에 의하면 미국에서는 갓길차로를 1970년대부터 운영하기 시작하여 총 연장 646km의 버스전용갓길차로와 152km의 일반차량 이용 갓길차로 그리고 혼잡정도에 따라 갓길차로 통행요금이 변하는 14km의 동적 갓길차로 등을 운영하고 있다. 버스전용갓길차로의 경우 1970년부터 대도시권 혼잡지역을 대상으로 운영되었는데, 미네소타 미네아폴리스시 인근에서 적극 활용되었다. 일반차량이 이용하는 갓길차로는 2016년 현재 8개 주에서 운영되고 있으며, 대부분 고정시간제로 운영되고 있다.

고속도로 버스전용차로는 승용차 이용을 억제하고 대중교통수단인 버스에 통행 우선권을 부여함으로써 전 고속도로의 수용 효율을 증대시켜 소통원활을 도모코자 1995년 2월부터 주말과 휴일에 경부고속도로의 신탄진.I.C~서초.I.C 구간에 중앙버스전용차로를 시행한 이래 현재는 주말과 휴일 외에 평일에도 확대 운영되고 있다. 평일에는 오산.I.C에서 한남대교 남단까지 운영되고 토요일, 일요일, 공휴일에는 신탄진.I.C에서 한남대교남단 구간과 영동고속도로 신갈JCT에서 호법JCT까지 운영되고 있다. 영동고속도로의 경우 신갈JCT~호법JCT 구간에서 경부고속도로와는 달리 평일을 제외한 주말, 공휴일 및 명절 연휴에 운영되고 있다. 이러한 버스전용차로는 승용차 이용을 억제시키는 효과와 수송효율을 극대화시키는 등 많은 긍정적인 효과도 있지만 몇 가지 부정적인 측면도 있어왔다. 버스교통량이 적은 경우에는 버스전용차로는 용량 이하로 원활한 통행이 가능하지만 일반차량은 차로 수 감소로 통행시간 증가와 I.C 근처에서의 진입버스차량들의 중앙버스전용차로 진출입으로 인한 급 차로변경 등이 발생되어 교통혼잡 및 안전상의 문제가 발생하고 있다. 그리고 고속도로 중앙버스전용 운영 시는 일반차량 차로수 감소로 혼잡을 피해 일반차량들이 주변도로로 통행경로를 변경하여 주변 국도 등의 혼잡이 가중되기도 한다. 따라서 본 논문에서는 중앙버스전용차로 운영에 따른 상기 문제점들을 해결하기 위하여 교통혼잡시 운영되는 갓길차로를 버스전용차로로 제공하여 운영하는 방안을 제시하고 시뮬레이션을 통하여 그 효과를 평가하고자 한다.

2. 기존 연구 고찰

Korea Expressway Corporation(2016)는 갓길차로제 운영현황에 대한 진단을 통해서 갓길차로제의 운영 효율화 방안을 도출하고 현실적인 운영기준 개선안을 수립하여, 교통관리에 실질적으로 활용하기 위한 “갓길차로제 운영업무 매뉴얼”을 고도화하는 연구를 수행하여 국내외 갓길차로제 운영사례, 현 갓길차로제 운영실태 진단, 교통 및 정책 특성 분석에 근거하여 갓길차로제 운영효율화 방안을 도출하였다. 그리고 이에 대해 효율성 및 안전성 측면의 검토를 통해 운영기준 개선안을 도출하였으며 이를 기반으로 갓길차로제 운영업무 매뉴얼을 개선하였고 향후 갓길차로제의 발전방향을 제시하였다.

Kim(2017)은 갓길차로제 시행구간의 교통류 특성과 교통사고 자료를 분석하고 그 결과로 효율적인 갓길차로 운영을 위해서 적정 시행속도를 제시하였다. 시행 전 후 교통량변화, 속도변화, 밀도변화를 통해서 실

제로 지·정체 완화효과를 볼 수 있는 갯길차로 개방시점을 분석하고 교통류이론을 토대로 갯길차로 개방 후 교통상황을 최대교통류율로 만드는 시행속도인 70km/h를 적정 시행속도로 제시하였다. 또한 시행 전 후 교통사고의 변화 추세를 분석하여 갯길차로제 시행이 안전성에 미치는 영향을 검토하였다.

Ko et al.(2020)은 갯길차로의 운영 전후 효과 분석을 위해 시공도 기반 개별 갯길차로 운영 전후 효과분석 및 도로 축 단위 갯길차로 운영 전후 효과 분석으로 나누어 종합적인 분석을 수행하였다. 그리고 경부선 안성IC→남사IC 구간에서 7.2km/h, 동탄JC→기흥JC 구간에서 11.7km/h 속도가 개선되고 고속도로 전반의 소통 흐름 개선여부를 판단하기 위해 축 개념의 소통 분석을 통한 분석 결과 경부선 서울방향 11.5%, 부산방향 5.2%, 영동선 강릉방향 40.9%, 인천방향 24.9% 통행시간 감소 효과를 분석결과로 제시하였다.

Park et al.(2021)은 길어깨차로제의 시행에 따른 안전성과 이동성을 분석하였다. 안전성 분석 결과 총 5개의 분석대상구간 중 3개 구간은 길어깨차로제의 시행이 교통사고 감소에 영향을 끼치지 않으며, 2개의 구간은 영향을 미친다는 분석이 나왔지만 전체 구간을 분석했을 때에는 교통사고 감소에 영향이 없는 것으로 나타났다. 교통사고 건수는 시행 이후 전체적으로 증가했지만, 감소한 구간도 있어 일관된 결과가 나타나지 않았다. 이동성 분석은 총 13개의 분석대상구간 중 3개 구간을 제외한 모든 구간이 속도가 개선되었으며, 서행시간은 11개 구간에서 감소, 지체시간은 7개 구간에서 감소하였다. 이는 길어깨차로제의 시행 기준 속도와 서행시간 기준 속도가 80km/h로 동일하기 때문에 길어깨차로제의 실시로 인해 서행시간의 감소 효과가 큰 것으로 나타났다.

KOTI(2012)는 버스전용차로제는 대중교통 이용활성화의 중요한 수단 중 하나로, 고속도로 버스전용차로 설치로 축소되는 일반차로에 대해서는 갯길가변차로 확대, 오르막차로 설치, 진출입부 개선 등 혼잡 완화 방안을 마련하여 추진할 필요가 있다고 하였다. 그리고 특정 시간대에 반복적인 지·정체가 발생하고 있는 고속도로 구간들에 대해서는 버스전용차로제뿐만 아니라 수요일관리, 교통정보제공, 가변속도제어 등 다양한 운영대안 검토 및 적용할 필요가 있으며, 저비용 고효율의 운영대안과 함께 진출입부 개선, 차로확대, 오르막차로 설치, 대안노선 개선 및 신설 등의 투자도 병행하여 추진할 필요가 있다고 하였다.

Gyeonggi Research Institute(2016)은 외곽순환고속도로에서 전체 교통량 대비 버스노선 및 버스교통량을 고려하여 단기적으로 시흥~성남구간에 버스전용차로를 시행하며 차로 형태는 노변버스전용차로를 운영하는 것이 적합할 것으로 사료된다고 하였다. 그리고 고속도로에서 진출입을 위해 버스가 본선부에 미치는 영향과 진출 후 도시 내부 도로의 소통상태에 미치는 영향에 대한 검토가 필요하며, 결과를 토대로 구체적인 운영방안과 고속도로 진출입부에서 지체로 인해 통행시간이 증가할 경우에 대응하여 램프미터링 등 버스우선 처리방안에 대한 검토가 필요하다고 하였다.

위에서 살펴본 바와 같이 갯길차로제에 대한 연구는 대부분 갯길차로 운영구간에 대한 효과분석에 집중되어 있고 고속도로 버스전용차로에 관한 연구는 중앙버스전용차로 운영 효과에 집중되어 있다. 갯길차로를 버스전용차로로 이용하는 갯길버스전용차로 운영에 관한 연구는 전무한 실정이다.

II. 연구 범위 및 방법

1. 연구 방법

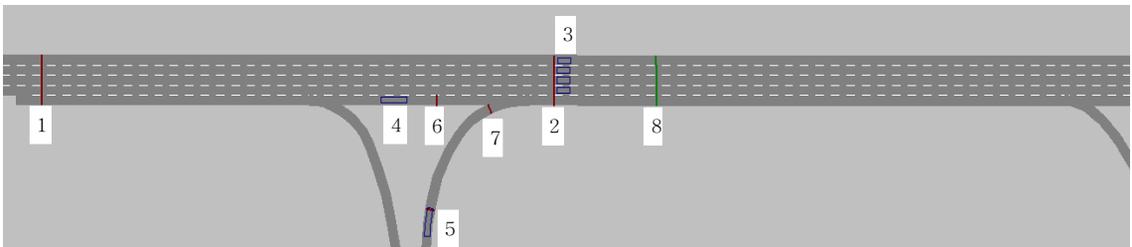
고속도로 상습정체구간에 정체발생 시 교통용량을 증대시켜 소통개선을 위하여 사용되고 있는 갯길차로제의 갯길차로를 버스전용차로로 제공하여 용량도 증대시키고 중앙버스전용차로의 문제점을 해결하면서 버

스이용 활성화에도 기여하여 고속도로 이용 전체차량의 수송효율을 증가시킬 수 있는 갓길버스전용차로제 (Hard Shoulder Bus Only Running, HSBOR)를 운영하는 방법을 검토하고 도입효과를 평가하는 것이 본 논문의 목적이다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 국내외 갓길차로운영체계를 검토하고 효율적인 운영방안을 모색하고자 한다. 그리고 갓길버스전용차로운영 효과를 시뮬레이션을 수행하여 기존의 모든 차량에 갓길차로 통행이 허용되는 갓길차로제(일반갓길차로제, HSR) 운영 시 및 본선에 중앙버스전용차로를 운영하면서 갓길차로제를 동시 운영(중앙버스전용차로&갓길차로제, Median Bus Only lane and HSR, MBOLHSR)하는 경우와 통행속도 등을 비교 평가하고자 한다.

본 논문에서는 교통상황에 따른 동적 갓길차로 통행을 위한 감응식 신호를 구현하고 교통시뮬레이션을 수행하기 위해 VISSIM으로 분석을 위한 Network를 구축하고, VISVAP을 통해 VAP(Vehicle Actuated Programming) Language를 사용하여 신호제어(Signal Groups, Intergreen, Stages, Interstages 등) 및 차량검지와 통행속도 산정, 통행속도 제어, 갓길차로 통행제어 등을 위한 알고리즘 구축하여 알고리즘이 제대로 작동하는지를 디버그과정을 통해 확인한 후 VISSIM으로 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 분석 NETWORK 작성

차로 수는 본선 4차로에서 갓길차로 운영 시 5차로로 갓길차로제를 운영하는 구간이 전체 갓길차로 운영 구간 64개 구간 중 37개 구간으로 가장 많은 비중을 차지하고 있어서 차로 수는 ‘본선 4차로+갓길 1차로’로 설정하고 램프 차로수는 1차로로 설정하였다. 설계속도는 본선 100km/h, 연결로 60km/h로 하고 이에 따른 가속차로 220m, 감속차로 120m를 고려하여 Network을 작성하였다.



<Fig. 1> Network Components

<Fig. 1>과 같이 통행속도 측정을 위한 검지기(3)는 도로용량편람에서 제시된 연결로 합·분류부 및 엇갈림 구간의 영향권을 고려하여 램프 합류부에 가속차로를 제외한 본선 4개 차로에 설치하고 갓길차로 진입램프 상류부에 갓길차로 통행시 버스 통과를 검지기(4)를 설치하여 이 검지기를 통과한 버스가 합류지점을 통과할 때까지 램프신호등(7)이 적색이 되도록 하여 버스가 진입차량의 방해 없이 통과토록 하였다. 그러나 램프 상류부에 설치된 대기차량검지기(5)에 대기차량 발생 시에는 램프신호등이 녹색신호로 운영되도록 하여 램프진입을 위한 대기차량이 주변 도로에 미치는 영향이 최소화 되도록 하였다. 갓길차로 신호등(6)은 차량제어 목적이 아니고 갓길차로 허용 여부를 표시하기 위한 신호등으로 승용차와 버스는 신호제어 대상 차량에서 제외시켰다. 갓길차로 운영 정보는 차로변경 종점부(emergency stop)의 상류지점(1)에 설치하여 갓길차로 운영 여부에 따른 통행경로 선택이 가능하도록 하였다. 본선에 갓길차로가 통행이 허용되더라도 이 정보는 상류부에서 받게 되므로 정보제공 전 램프 진입차량은 갓길차로로 통행하지 않고 차로변경지점에서 차로변경이 이루어지게 되어 갓길차로에서 대기차량이 발생되는 사례가 발생하게 된다. 이런 현

상이 최소화되도록 차량들이 갓길차로 운영 변화에 순응하는 범위 내에서 두 지점 간격을 최소화 시키고자 하였다. 갓길차로 운영 여부에 따른 제한속도 변경 지점(8)은 차로변경거리를 감안하여 설치하였다.

갓길버스전용차로제는 진출램프 통과 직후 본선에는 4차로 커넥터와 1차로(갓길버스전용차로) 커넥터를 설치하여 갓길차로 미운영 시는 모든 차량이 4차로로 통행하고, 갓길차로 운영 시는 승용차는 4차로로 버스는 갓길버스전용차로 통행할 수 있도록 하였다. 이를 위해 4차로 커넥터의 경우 주어진 경로로 차로변경을 할 수 있는 마지막 지점(emergency stop)을 커넥터 상류부 3600m, 차로변경거리를 4300m로 설정하여 갓길차로 미운영 시에는 갓길차로 이용을 못하게 하였다. 그리고 1차로 커넥터의 경우는 emergency stop 3100m, 차로변경거리 4300m로 하여 진입램프 가속차로 구간에서 일반차로로 통행하던 버스들이 가속차로를 지나 갓길버스전용차로로 차로변경이 가능하도록 하였다. 진출램프의 경우 갓길버스전용차로제 미운영시에는 승용차와 버스 모두 4차로를 통하여 진출하면 된다. 갓길버스전용차로제 운영 시는 승용차는 갓길버스전용차로제 미운영 시와 같이 4차로로 진출하면 되지만 버스는 갓길버스전용차로를 이용하여 진출해야 하므로 4차로에서 진출하는 승용차 램프와 갓길버스전용차로에서 진출하는 버스 램프가 각각 필요하다. 특히 갓길차로 운영 시 이용하는 진출램프의 경우 본선 1차로 커넥터와 같이 emergency stop 3600m, 차로변경거리 4300m로 하여 진출버스는 갓길버스전용차로를 이용하여 진출하도록 하였다.

중앙버스전용차로&갓길차로제(MBOLHSR)와 일반갓길차로제(HSR)의 경우에는 갓길버스전용차로제와 달리 진출램프 통과 직후 본선에 4차로 커넥터와 5차로 커넥터를 설치하여 갓길차로 미운영 시는 4차로로 통행하고 갓길차로 운영 시는 5차로로 통행이 이루어지도록 하였다. 4차로 커넥터의 경우 emergency stop을 3600m, 차로변경거리를 4300m로 설정하여 갓길차로 미운영 시에는 갓길차로 이용을 못하게 하였다. 진출램프의 경우에도 갓길버스전용차로와는 달리 모든 차량이 동일하게 진출하게 되므로 진출램프는 1개소에 설치했다. 중앙버스전용차로&갓길차로제의 경우에는 중앙차로는 버스만 통행하도록 하고 램프진입버스와 램프 진출버스의 경우 적정 차로변경거리를 감안하여 중앙버스전용차로로 진입 및 중앙버스전용차로에서 진출이 이루어지도록 하였다.

3. 분석 시나리오 작성

본선 차로 수는 4차로에서 5차로로 갓길차로를 운영하는 구간이 전체 갓길차로 운영구간 64개 구간 중 37개 구간으로 가장 많아 ‘본선차로 4차로+갓길차로 1차로’로 설정하였다. 교통량은 시뮬레이션 동안에 5분 단위로 입력하였다. 특히 혼잡상황이 발생하여 갓길차로 운영시간대가 발생되도록 설계속도 100km/h인 고속도로의 서비스수준 D수준 교통량 1,750대/시/차로(4차로 7000대/시)를 기준으로 600대/시가 적은 6400대/시에서 600대/시씩 증가하여 9400대/시 까지 증가한 후 감소하는 것으로 (5분 단위 교통량 : 6400, 7000, 7600, 8200, 8800, 9400, 8800, 8200, 7600, 7000, 6400, 5800대/시) 입력하였다.

IC 간격은 고속도로 IC 최소간격 기준 2km와 대도시 도시고속도로 IC 표준간격 2~5km를 감안하여 2km, 4km로 설정하였다. 차종 구성은 버스전용차로 효과분석에 초점을 맞추어서 승용차와 버스만으로 구성된 것으로 가정하고 버스 비율은 경부고속도로(동탄~양재 구간)의 버스교통량이 8~13% 수준임을 고려하여 5%, 10%, 15%로 시나리오를 작성하여 버스교통량 변화에 따른 영향을 분석하고자 하였다.

<Table 1> Traffic volume (2022 year)

(Unit : vph)

Section	Length (km)	Lanes	Period (Hours)	Total	Car	Bus	Small Truck	Medium Truck	Large Truck
Singal-Pangyo	13	8	12	132,443	102,566	11,510	14,438	3,739	190
			24	206,314	156,509	16,571	24,646	8,067	521
Pangyo-Gumto	1.3	10	12	90,802	71,717	11,045	7,068	892	80
			24	158,589	124,467	16,383	13,889	3,474	376
Gumto-Yangjae	6.8	10	12	123,601	100,846	12,314	9,173	1,178	90
			24	206,014	167,525	17,740	16,494	3,897	358

Data: Traffic monitoring system (/www.road.re.kr)

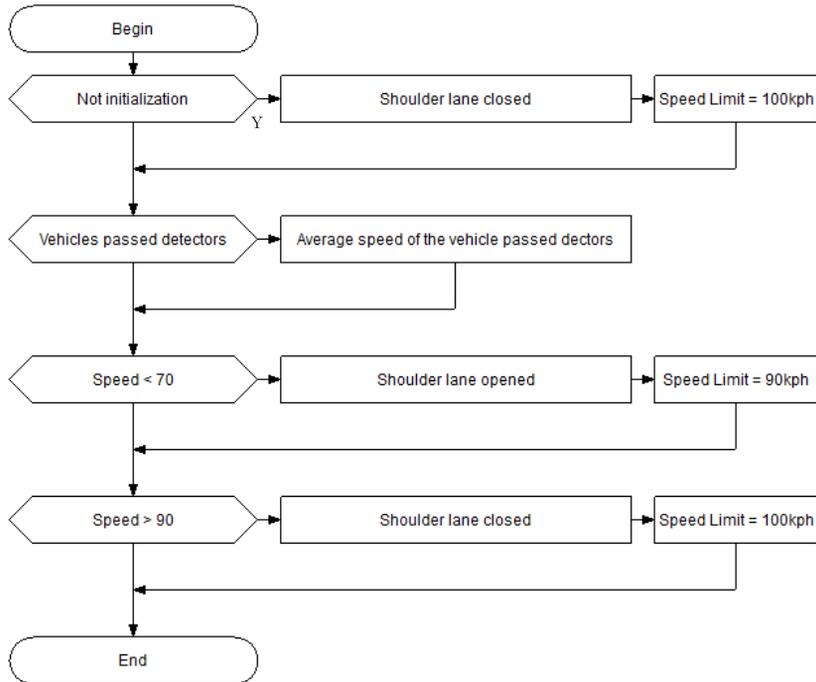
진출램프의 교통량은 본선교통량의 10%로 하고 진입램프의 교통량은 500대/시, 700대/시, 900대/시로 구분하여 램프교통량에 따른 영향을 분석하였다. 그리고 차종별 통행경로별 통행속도를 분석하기 위하여 차종별로 본선 통과차량, 램프진출차량, 램프진입차량으로 구분하였다.

Ⅲ. 알고리즘 개발

Korea Expressway Corporation(2016) 연구보고서에 의하면 해외 갓길차로 운영기준의 경우 미국에서는 대부분 침두시 고정시간식으로 운영하고 있으나, 변동식으로 운영하는 독일, 영국, 네덜란드 등에서는 혼잡 발생 시 갓길차로를 운영한다는 것을 기준으로 하고 있다. 주요 국가의 혼잡기준은 미국 72-80km/h 미만, 영국 80km/h 미만, 일본 60km/h 미만, 캐나다 75km/h 미만으로 운영하고 있는 것으로 나타났다. 이를 감안하여 본 논문에서는 갓길차로 운영기준 속도를 70km/h로 설정하였다. 그리고 갓길차로 운영구간의 제한속도는 갓길차로 미운영 시는 100km/h 갓길차로 운영 시는 90km/h로 설정하여 속도분산을 줄이는 통행속도 변화에 따른 갓길차로 운영 알고리즘은 VISSIM의 VISVAP을 이용하여 구현하였다.

1. 일반/중앙버스전용 갓길차로제 통행 알고리즘

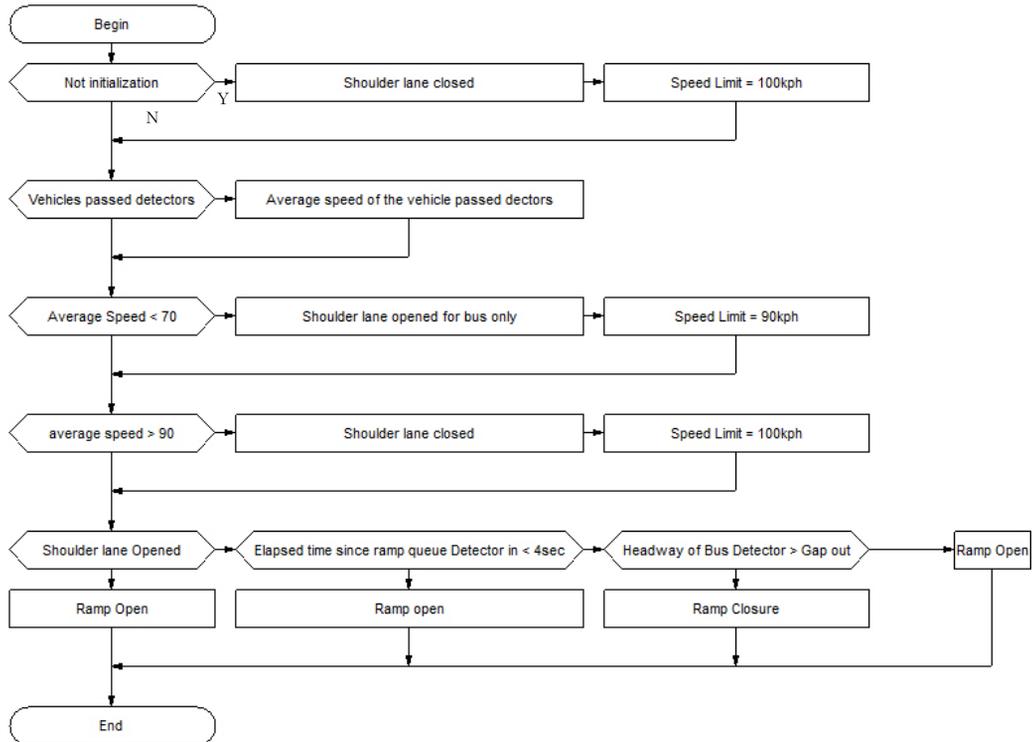
<Fig. 2>와 같이 고속도로 제한속도는 100km/h로 설정하고 검지기 평균속도가 70km/h 보다 작으면 갓길차로 통행이 허용되어 버스와 승용차 모두 갓길차로 통행이 허용되고 검지기 평균속도가 90km/h 보다 크면 모든 차량의 갓길차로 통행이 금지되도록 하였다. 갓길차로구간 제한속도는 갓길차로 미운영시는 100km/h, 갓길차로 운영 시는 미 운영 시보다 통행속도가 작게 되므로 안정적인 교통흐름을 위하여 90km/h로 설정하였다. 중앙버스전용차로&갓길차로제 운영의 경우에는 중앙차로를 버스만 통행이 이루어지도록 하는 것을 제외하면 버스전용차로가 없는 갓길차로제와 알고리즘은 동일하다.



<Fig. 2> Algorithms of Dynamic Hard Shoulder Running

2. 갓길버스전용차로제 통행 알고리즘

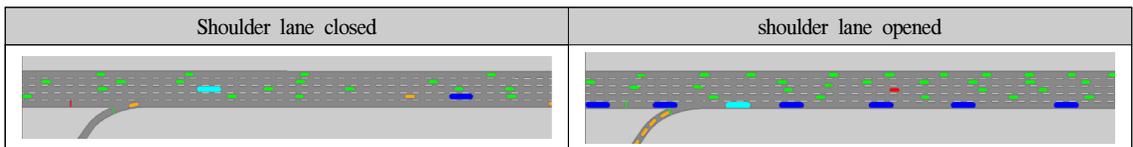
<Fig. 3>과 같이 갓길차로 통행 여부 기준은 전철의 갓길차로제 통행 알고리즘과 동일하다. 그러나 차량통행경로는 일반갓길차로제와 다르다. 갓길버스전용차로제가 운영될 때와 운영되지 않을 때 승용차의 이동경로는 모두 일반 주행차로(4개 차로)를 이용하면 되지만 버스는 갓길버스전용차로제 미운영 시에는 승용차와 같이 일반 주행차로를 이용하지만 갓길버스전용차로제 운영 시에는 갓길차로를 이용해야 한다. 따라서 승용차는 갓길버스전용차로제 운영과 상관없이 동일한 경로로 운영되지만 버스는 갓길버스전용차로제 운영 여부에 따라 서로 다른 경로로 통행이 이루어지도록 해야 한다. 그리고 갓길버스전용차로제 운영시간에 갓길차로에 설치된 버스검지기를 버스가 통과하게 되면 램프 진입부를 통과할 때까지 램프신호등은 적색신호가 부여되도록 미터링하여 갓길차로 버스통행에 우선권이 부여되도록 하고 나머지 시간에는 녹색시간이 부여되도록 하였다. 다만, 램프의 혼잡이 주변도로로 확산되지 않도록 램프 상류부에 설치된 대기차량 검지기에 대기차량이 발생되면 녹색신호로 변경되어 진입램프의 대기차량이 인접도로에 미치는 영향이 최소화되도록 하였다.



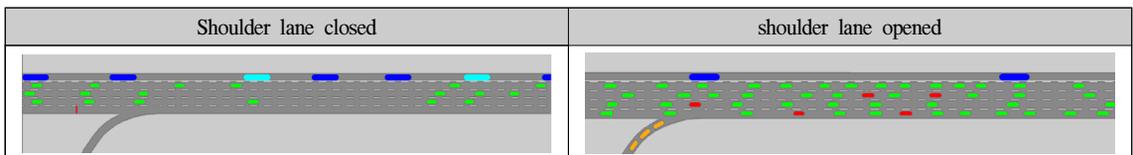
<Fig. 3> Algorithms of Dynamic Hard Shoulder Running

3. 알고리즘 구현 검증2

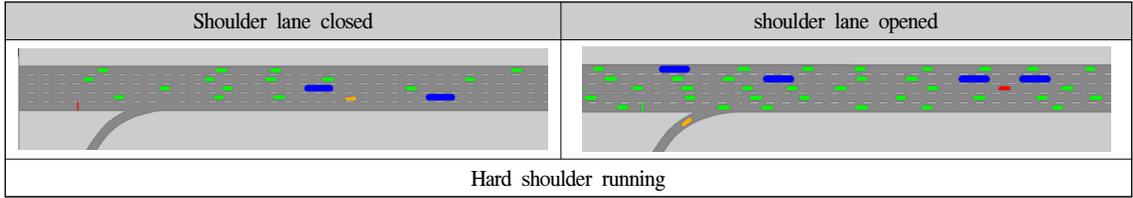
앞에서 기술된 갓길차로 운영 유형별 시뮬레이션 수행 결과 다음 <Fig. 4~Fig. 6>과 같이 유형별로 설정된 알고리즘에 따라서 차량 통행이 이루어지는 것으로 나타났다.



<Fig. 4> Simulation situation of hard shoulder bus only running

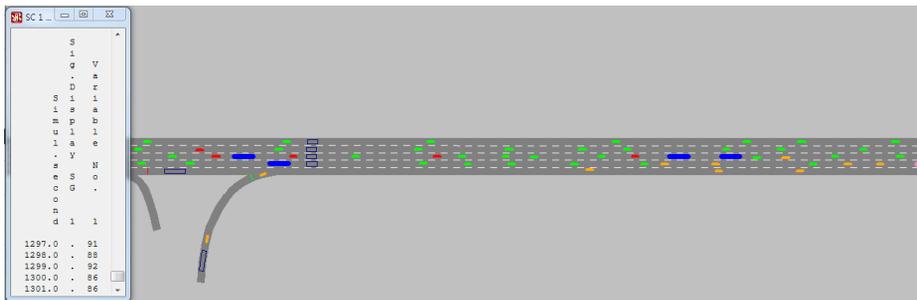


<Fig. 5> Simulation situation of median bus only lane and hard shoulder running

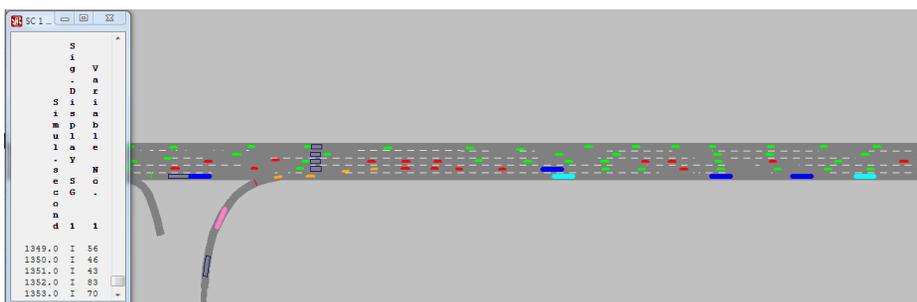


<Fig. 6> Simulation situation of hard shoulder running

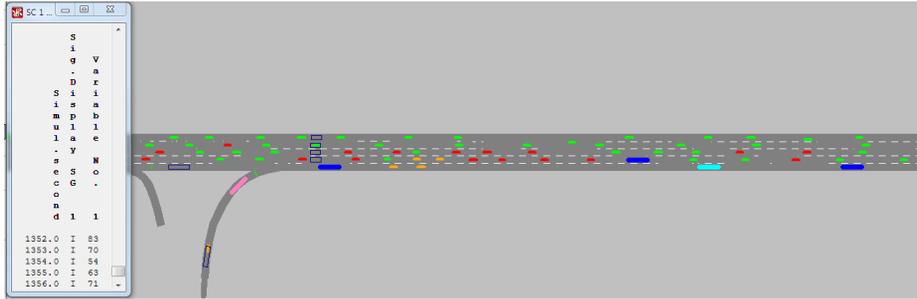
갓길버스전용차로제 운영의 경우 알고리즘에 따른 주요 단계별 시뮬레이션 결과는 다음과 같다. <Fig. 7>은 갓길 미운영 시로 갓길차로 신호는 적색이고 램프신호는 녹색으로 갓길차로는 가속구간에서 진입차량 통행만 이루어지고 있다. <Fig. 8>은 갓길차로 운영 시 버스가 갓길차로에 설치된 검지기를 통과해서 램프를 통과할 때까지 버스 통행을 위해 램프 신호등이 적색인 경우다. <Fig. 9>는 1단계의 버스가 램프를 통과하여 램프 신호등이 녹색인 경우다. <Fig. 10>은 <Fig. 8>과 같이 갓길차로 검지기를 통과한 차량이 램프를 통과하기 전이지만 램프의 대기차량검지기가 점유되어 램프신호등이 녹색인 경우다. 이와 같이 갓길버스전용차로 운영에 따른 램프 미터링 알고리즘이 구현되고 있음을 알 수 있다.



<Fig. 7> Shoulder lane closed at the speed \geq 70kph



<Fig. 8> Ramp traffic signal displayed red for the bus passing the bus detector



<Fig. 9> Ramp traffic signal displayed green after the bus passed the ramp



<Fig. 10> Ramp traffic signal displayed green because the ramp queue detector active

IV. 시뮬레이션 결과 분석

1. 통행속도 분석

1) I.C 간격 2km

<Table 2>에서 통행속도는 모든 차로운영에 있어서 램프교통량이 많을수록 그리고 버스비율이 증가할수록 승용차는 물론 버스의 통행속도도 대부분 감소하는 것으로 나타났다. 모든 시나리오에 걸쳐 전체 차량들의 평균통행속도는 갓길버스전용차로제가 가장 크고 일반갓길차로제는 램프교통량 ‘700대/시 버스비율 15%’인 경우를 제외한 모든 시나리오에서 중앙버스전용차로&갓길차로제보다 크게 분석되었다.

승용차 통행속도는 갓길버스전용차로제, 일반갓길차로제, 중앙버스전용차로&갓길차로제 순으로 감소되며 중앙버스전용차로&갓길차로제가 다른 두 운영방법보다 크게 작은 것으로 나타났다. 버스 통행속도는 모든 시나리오에서 일반갓길차로제가 가장 작게 나타났고 램프교통량이 500대/시인 모든 경우와 램프교통량이 700대/시이고 버스비율이 5%인 경우에는 갓길버스전용차로제가 가장 크게 나타났고 나머지 경우는 중앙버스전용차로&갓길차로제가 가장 크게 나타났다. 버스 통행 유형에 따라서 살펴보면 통과버스의 경우는 램프교통량 500대/시이고 버스비율 15%인 경우에만 갓길버스전용차로제가 가장 크고 나머지는 중앙버스전용차로&갓길차로제가 가장 크게 나타났으며 일반갓길차로제는 모든 경우에서 가장 작게 나타났다. 진입버스의 경우는 모든 시나리오에서 갓길버스전용차로제가 가장 크고 일반갓길차로제가 가장 작게 나타났다. 진출버스의 경우 램프교통량 700대/시이고 버스비율 15%인 경우에만 중앙버스전용차로&갓길차로제가 가장 크고 나머지는 갓길버스전용차로제가 가장 크게 나타났다.

<Table 2> Average Travel Speed by HSR Type

(Unit: km/h)

Scenario		Case	Car				Bus				All	Car-Bus
Ramp Veh	Bus Ratio	-	Pass	In	Out	Sum	Pass	In	Out	Sum	-	-
500 veh/h	5%	HSRFBO	92.8	89.9	91.7	92.5	90.9	90.8	87.1	90.6	91.5	2.0
		MBOLHSR	59.1	58.6	58.0	59.0	94.2	54.7	66.2	89.3	74.1	-30.3
		HSRFAV	85.8	82.5	84.0	85.4	84.9	82.5	75.3	84.0	84.7	1.4
	10%	HSRFBO	90.9	86.3	88.6	90.4	88.4	84.4	88.3	88.1	89.2	2.3
		MBOLHSR	42.3	42.0	43.1	42.4	89.1	49.3	59.7	84.1	63.2	-41.7
		HSRFAV	76.9	74.4	74.8	76.6	75.6	73.2	69.2	74.9	75.7	1.6
	15%	HSRFBO	83.5	72.8	80.4	82.6	78.7	68.7	79.5	78.1	80.3	4.6
		MBOLHSR	35.5	33.6	35.7	35.4	75.0	38.6	55.2	70.5	53.0	-35.0
		HSRFAV	60.9	58.3	58.8	60.6	58.8	56.0	53.5	58.1	59.3	2.5
700 veh/h	5%	HSRFBO	91.3	78.0	89.9	90.1	88.3	77.7	89.1	87.4	88.8	2.6
		MBOLHSR	57.2	54.3	56.0	56.9	92.6	54.2	62.6	86.9	71.9	-30.1
		HSRFAV	84.0	80.6	82.5	83.6	83.0	82.7	73.7	82.3	83.0	1.3
	10%	HSRFBO	83.9	74.9	80.5	82.8	80.0	73.1	80.7	79.4	81.1	3.4
		MBOLHSR	44.4	42.2	44.3	44.2	88.8	48.0	63.2	83.2	63.7	-39.0
		HSRFAV	79.1	75.6	77.0	78.6	77.4	76.1	69.3	76.7	77.6	2.0
	15%	HSRFBO	79.8	63.3	68.6	77.6	59.0	49.0	58.2	58.1	67.9	19.5
		MBOLHSR	38.4	34.9	39.5	38.3	82.2	38.9	62.6	76.7	57.5	-38.5
		HSRFAV	49.6	45.7	46.4	49.0	47.4	44.4	43.2	46.8	47.9	2.3
900 veh/h	5%	HSRFBO	90.1	84.9	88.1	89.4	86.5	82.1	86.3	86.0	87.7	3.4
		MBOLHSR	51.1	49.9	50.4	50.9	92.6	52.2	62.2	86.6	68.8	-35.7
		HSRFAV	80.4	77.8	78.6	80.0	78.9	78.2	68.2	78.0	79.0	2.0
	10%	HSRFBO	81.2	67.4	76.9	79.4	76.6	65.9	75.2	75.4	77.4	4.0
		MBOLHSR	43.1	40.3	42.9	42.9	87.5	43.9	60.6	81.3	62.1	-38.4
		HSRFAV	71.8	69.3	69.5	71.3	69.6	67.2	62.4	68.8	70.1	2.5
	15%	HSRFBO	77.1	59.5	68.2	74.6	64.2	56.0	62.7	63.3	69.0	11.4
		MBOLHSR	33.4	30.1	34.7	33.3	71.1	36.0	51.9	66.5	49.9	-33.2
		HSRFAV	53.9	51.0	51.1	53.4	51.5	49.9	47.3	51.0	53.0	2.4

승용차와 버스의 통행속도 차이는 갓길버스전용차로제와 일반갓길차로제는 승용차 속도가 버스 통행속도보다 크게 나타났으나 그 차이가 크지 않은 반면에 중앙버스전용차로&갓길차로제의 경우는 버스가 승용차보다 크게 나타났고 그 차이도 훨씬 크게 나타났다. 따라서 통과버스를 제외하면 승용차는 물론 진출/진입 버스의 경우에도 갓길버스전용차로제가 중앙버스전용차로&갓길차로제보다 소통측면에서 유리하다고 할 수 있다.

갓길차로 유형별 통행속도 차이는 <Table 3>과 같이 전체 차량에 대한 통행속도는 갓길버스전용차로제가 중앙버스전용차로&갓길차로제보다 10.0~27.4km/h 크게 나타났고, 일반갓길차로제보다는 3.5~16.0km/h 크게 분석되었다. 중앙버스전용차로&갓길차로제는 일반갓길차로제에 비해 램프교통량 700대/시이고, 버스비율 15%인 경우에만 크고 나머지는 3.1~13.9km/h 작은 것으로 나타났다. 승용차는 갓길버스전용차로제와 일반

갓길차로제가 중앙버스전용차로&갓길차로제보다 통행속도가 훨씬 크게 나타났고 갓길버스전용차로제가 일반갓길차로제보다 크게 나타났는데 버스비율이 5~10%인 경우 보다는 15%인 경우 그 차이가 훨씬 크게 분석되었다. 특히 갓길버스전용차로제의 경우 다른 갓길차로운영제와 차이에 있어서 통과승용차, 진출승용차, 진입승용차 순으로 감소하여 진입의 경우는 3개 경우에 일반갓길차로제보다 통행속도가 작은 것으로 분석되었다.

<Table 3> Average Travel Speed Difference by HSR Type

(Unit: km/h)

Scenario		Case	Car				Bus				All
Ramp Veh	Bus Ratio	-	Pass	In	Out	Sum	Pass	In	Out	Sum	-
500 veh/h	5%	HSRFBO-MBOLHSR	33.7	31.3	33.6	33.6	-3.4	36.0	20.9	1.3	17.4
		HSRFBO-HSRFAV	7.0	7.4	7.7	7.1	5.9	8.2	11.8	6.5	6.8
		MBOLHSR-HSRFAV	-26.7	-23.9	-26.0	-26.5	9.3	-27.8	-9.1	5.3	-10.6
	10%	HSRFBO-MBOLHSR	48.6	44.3	45.5	48.0	-0.7	35.1	28.7	4.0	26.0
		HSRFBO-HSRFAV	14.0	12.0	13.9	13.8	12.8	11.2	19.1	13.2	13.5
		MBOLHSR-HSRFAV	-34.6	-32.4	-31.6	-34.2	13.5	-23.8	-9.5	9.2	-12.5
	15%	HSRFBO-MBOLHSR	48.0	39.3	44.7	47.2	3.7	30.2	24.3	7.6	27.4
		HSRFBO-HSRFAV	22.6	14.6	21.7	22.1	19.9	12.7	26.0	20.0	21.0
		MBOLHSR-HSRFAV	-25.4	-24.7	-23.0	-25.1	16.2	-17.4	1.7	12.4	-6.4
700 veh/h	5%	HSRFBO-MBOLHSR	34.1	23.7	33.9	33.2	-4.3	23.5	26.5	0.5	16.9
		HSRFBO-HSRFAV	7.3	-2.7	7.5	6.5	5.3	-5.1	15.4	5.1	5.8
		MBOLHSR-HSRFAV	-26.8	-26.4	-26.5	-26.7	9.6	-28.5	-11.1	4.6	-11.1
	10%	HSRFBO-MBOLHSR	39.5	32.7	36.2	38.6	-8.8	25.1	17.5	-3.8	17.4
		HSRFBO-HSRFAV	4.8	-0.7	3.6	4.2	2.6	-3.0	11.4	2.8	3.5
		MBOLHSR-HSRFAV	-34.7	-33.4	-32.6	-34.4	11.4	-28.1	-6.1	6.6	-13.9
	15%	HSRFBO-MBOLHSR	41.5	28.4	29.1	39.4	-23.2	10.1	-4.4	-18.6	10.4
		HSRFBO-HSRFAV	30.2	17.6	22.2	28.6	11.6	4.6	15.0	11.3	20.0
		MBOLHSR-HSRFAV	-11.3	-10.8	-6.9	-10.8	34.7	-5.5	19.4	30.0	9.6
900 veh/h	5%	HSRFBO-MBOLHSR	39.0	35.0	37.7	38.5	-6.1	29.9	24.1	-0.6	18.9
		HSRFBO-HSRFAV	9.7	7.1	9.5	9.4	7.6	3.9	18.0	8.0	8.7
		MBOLHSR-HSRFAV	-29.3	-27.9	-28.2	-29.1	13.7	-26.0	-6.0	8.6	-10.2
	10%	HSRFBO-MBOLHSR	38.0	27.1	34.0	36.5	-10.8	22.1	14.6	-5.9	15.3
		HSRFBO-HSRFAV	9.3	-1.8	7.5	8.1	7.1	-1.3	12.8	6.6	7.3
		MBOLHSR-HSRFAV	-28.7	-28.9	-26.5	-28.4	17.9	-23.3	-1.8	12.5	-8.0
	15%	HSRFBO-MBOLHSR	43.6	29.3	33.5	41.3	-6.8	20.0	10.9	-3.3	19.0
		HSRFBO-HSRFAV	23.1	8.5	17.1	21.2	12.7	6.1	15.4	12.3	16.0
		MBOLHSR-HSRFAV	-20.5	-20.9	-16.5	-20.1	19.5	-13.9	4.6	15.6	-3.1

버스의 경우는 램프교통량이 500대/시인 경우와 700대/시의 버스비율 5%인 경우에는 갓길버스전용차로제가 중앙버스전용차로&갓길차로제보다 0.5~7.6km/h 크고, 나머지 경우는 중앙버스전용차로&갓길차로제가 0.6~18.6km/h 크게 분석되었다. 통과버스는 램프교통량 500대/시의 버스비율 15%인 경우를 제외하면 중앙버

스전용차로&갓길차로제가 갓길버스전용차로제보다 0.7~23.2km/h 크게 나타났다. 진입/진출버스는 모두 중앙버스전용차로&갓길차로제가 갓길버스전용차로제보다 훨씬 작게 나타났고 일반갓길차로제보다도 대부분 작게 분석되었다. 진입버스의 경우는 일반갓길차로제가 갓길버스전용차로제보다 두 경우에 크게 나타났다.

2) I.C 간격 4km

<Table 4>에서 I.C 간격 2km와 마찬가지로 통행속도는 모든 차로운영에 있어서 램프교통량이 많을수록 그리고 버스비율이 증가할수록 승용차는 물론 버스의 통행속도도 대부분 감소하는 것으로 나타났다. 모든 시나리오에 걸쳐 전체 차량들의 평균통행속도는 갓길버스전용차로제가 가장 크게 나타났으나 I.C 간격 2km와는 다르게 중앙버스전용차로&갓길차로제가 램프교통량 500대/시의 버스비율 5%인 경우를 제외한 모든 시나리오에서 일반갓길차로제보다 크게 분석되었다.

승용차 통행속도는 I.C 간격 2km와 같이 갓길버스전용차로제, 일반갓길차로제, 중앙버스전용차로&갓길차로제 순으로 감소되며 중앙버스전용차로&갓길차로제가 다른 두 운영방법보다 크게 작은 것으로 나타났다. 버스 통행속도는 모든 시나리오에서 일반갓길차로제가 가장 작게 나타났고 중앙버스전용차로&갓길차로제가 램프교통량 700대/시의 버스비율 15%, 램프교통량 900대/시의 버스비율 15%인 경우를 제외하면 I.C 간격 2km와는 다르게 갓길버스전용차로제가 가장 크게 나타났다.

<Table 4> Average Travel Speed by HSR Type

(Unit: km/h)

Scenario		Case	Car				Bus				All	Car-Bus
Ramp Veh	Bus Ratio	-	Pass	In	Out	Sum	Pass	In	Out	Sum	-	-
500 veh/h	5%	HSRFBO	94.7	93.2	93.9	94.6	93.7	91.1	94.0	93.6	94.1	1.0
		MBOLHSR	62.6	61.5	62.3	62.5	93.9	68.2	72.7	90.3	76.4	-27.8
		HSRFAV	79.4	78.5	76.9	79.1	77.9	67.4	73.7	76.8	78.0	2.4
	10%	HSRFBO	87.8	85.5	86.5	87.5	85.8	84.3	85.6	85.7	86.6	1.8
		MBOLHSR	60.9	59.0	59.9	60.7	90.7	64.8	75.2	87.4	74.1	-26.7
		HSRFAV	70.6	68.1	66.7	70.1	68.6	63.7	65.7	68.0	69.0	2.1
	15%	HSRFBO	87.3	83.1	85.0	86.8	83.6	78.6	82.3	83.1	84.9	3.7
		MBOLHSR	48.8	47.2	49.1	48.8	76.4	52.3	64.6	73.7	61.2	-24.9
		HSRFAV	62.6	56.6	56.9	61.7	60.9	56.6	57.2	60.3	61.0	1.4
700 veh/h	5%	HSRFBO	94.4	92.6	93.5	94.2	93.6	90.7	92.3	93.3	93.7	0.9
		MBOLHSR	65.2	63.1	64.2	64.9	93.2	67.3	75.0	89.4	77.2	-24.5
		HSRFAV	77.1	76.2	73.5	76.7	74.6	67.9	70.0	73.6	75.2	3.1
	10%	HSRFBO	93.7	89.3	92.3	93.2	91.6	86.9	91.4	91.1	92.2	2.1
		MBOLHSR	61.0	58.2	61.0	60.8	90.2	61.9	73.0	86.6	73.7	-25.7
		HSRFAV	67.7	64.7	63.5	67.1	65.4	61.9	61.9	64.9	66.0	2.2
	15%	HSRFBO	83.4	75.4	79.3	82.3	78.8	73.0	75.7	78.0	80.2	4.3
		MBOLHSR	52.4	49.6	53.4	52.4	83.0	53.9	71.7	79.7	66.0	-27.3
		HSRFAV	62.8	56.2	57.6	61.9	60.9	56.0	56.5	60.1	61.0	1.7
900 veh/h	5%	HSRFBO	90.8	88.2	89.6	90.4	89.7	88.1	89.5	89.5	90.0	0.9
		MBOLHSR	66.3	65.1	65.7	66.1	92.5	67.9	75.7	88.9	77.5	-22.8

Scenario		Case	Car				Bus				All	Car-Bus
Ramp Veh	Bus Ratio	-	Pass	In	Out	Sum	Pass	In	Out	Sum	-	-
	10%	HSRFAV	74.1	71.7	71.1	73.6	72.1	63.9	68.7	71.0	72.3	2.7
		HSRFBO	87.4	83.8	85.1	86.9	85.4	82.5	84.7	85.1	86.0	1.8
		MBOLHSR	57.6	55.2	57.6	57.4	88.5	61.1	71.6	84.7	71.1	-27.3
	15%	HSRFAV	67.8	63.5	63.0	67.0	65.8	61.2	62.3	65.2	66.1	1.9
		HSRFBO	78.9	70.3	72.3	77.5	70.2	65.1	68.8	69.5	73.5	8.0
		MBOLHSR	52.9	48.6	53.5	52.6	84.7	53.1	73.1	80.9	66.8	-28.3
		HSRFAV	62.5	56.2	57.6	61.6	60.5	57.0	57.5	60.0	60.8	1.7

버스 통행 유형에 따라서 살펴보면 통과버스의 경우는 램프교통량 500대/시의 버스비율 15%, 램프교통량 700대/시의 버스비율 5%와 10%인 3가지 경우에만 갓길버스전용차로제가 가장 크고 나머지는 중앙버스전용차로&갓길차로제가 가장 크게 나타났으며 일반갓길차로제는 모든 경우에서 가장 작게 나타났다. 진입버스의 경우는 모든 시나리오에서 갓길버스전용차로제가 가장 크고 일반갓길차로제가 가장 작게 나타났다. 진출버스의 경우 램프교통량 900대/시의 버스비율 15%인 경우에만 중앙버스전용차로&갓길차로제가 가장 크고 나머지는 갓길버스전용차로제가 가장 크게 나타났다. 승용차와 버스의 통행속도 차이는 I.C 간격 2km와 마찬가지로 갓길버스전용차로제와 일반갓길차로제는 승용차 속도가 버스 통행속도 보다 크게 나타났으나 그 차이가 크지 않은 반면에 중앙버스전용차로&갓길차로제의 경우는 버스가 승용차보다 크게 나타났고 그 차이도 훨씬 크게 나타났다. I.C 간격 2km와는 다르게 I.C 간격 4km에서는 버스통행속도 측면에서도 갓길버스전용차로제가 중앙버스전용차로&갓길차로제에 비해 유리한 경우가 더 많은 것으로 분석되었다.

전체 차량에 대한 통행속도는 <Table 5>에서 갓길버스전용차로제가 중앙버스전용차로&갓길차로제보다 6.7~23.7km/h 크게 나타나 I.C 간격 2km인 경우보다는 그 차이가 작고 일반갓길차로제보다는 12.7~26.2km/h 크게 나타나 I.C 간격 2km 경우보다 크게 분석되었다. 중앙버스전용차로&갓길차로제는 일반갓길차로제에 비해 램프교통량 500대/시의 버스비율 5%인 경우에만 작고 나머지는 0.2~7.7km/h 크게 나타나 I.C 간격 2km 경우와 반대로 나타났다.

승용차는 갓길버스전용차로제와 일반갓길차로제가 중앙버스전용차로&갓길차로제보다 통행속도가 매우 크게 나타났고 갓길버스전용차로제가 일반갓길차로제보다 크게 나타났다. 특히 갓길버스전용차로제의 경우 I.C 간격 2km와는 달리 진입의 경우에도 모든 경우에 일반갓길차로제보다 크게 나타났다.

<Table 5> Average Travel Speed Difference by HSR Type

(Unit: km/h)

Scenario		Case	Car				Bus			All	
Ramp Veh	Bus Ratio	-	Pass	In	Out	Sum	Pass	In	Out	Sum	-
500 veh/h	5%	HSRFBO-MBOLHSR	32.1	31.6	31.7	32.1	-0.1	22.9	21.4	3.2	17.7
		HSRFBO-HSRFAV	15.3	17.1	14.7	15.4	15.9	23.7	20.3	16.8	16.1
		MBOLHSR-HSRFAV	-16.9	-14.5	-17.0	-16.6	16.0	0.7	-1.0	13.6	-1.5
	10%	HSRFBO-MBOLHSR	26.8	26.6	26.6	26.8	-4.9	19.5	10.4	-1.8	12.5
		HSRFBO-HSRFAV	17.2	19.9	17.4	17.5	17.3	20.6	19.8	17.7	17.6
		MBOLHSR-HSRFAV	-9.7	-6.7	-9.2	-9.3	22.2	1.1	9.4	19.5	5.1
	15%	HSRFBO-MBOLHSR	38.5	35.9	35.9	38.1	7.2	26.3	17.6	9.4	23.7

Scenario		Case	Car			Bus			All		
Ramp Veh	Bus Ratio	-	Pass	In	Out	Sum	Pass	In	Out	Sum	-
		HSRFBO-HSRFAV	24.7	28.1	26.5	25.1	22.7	21.9	25.0	22.8	24.0
		MBOLHSR-HSRFAV	-13.8	-7.9	-9.4	-12.9	15.5	-4.4	7.4	13.4	0.2
700 veh/h	5%	HSRFBO-MBOLHSR	29.2	29.3	29.5	29.2	0.4	23.5	17.3	3.8	16.5
		HSRFBO-HSRFAV	17.3	20.0	16.5	17.5	19.0	22.8	22.3	19.6	18.6
		MBOLHSR-HSRFAV	-11.9	-9.3	-13.1	-11.8	18.6	-0.6	4.9	15.8	2.0
	10%	HSRFBO-MBOLHSR	32.7	31.3	31.1	32.4	1.4	24.9	18.4	4.6	18.5
		HSRFBO-HSRFAV	26.0	28.7	24.6	26.1	26.2	24.9	29.5	26.3	26.2
		MBOLHSR-HSRFAV	-6.7	-2.6	-6.5	-6.2	24.8	0.0	11.1	21.7	7.7
	15%	HSRFBO-MBOLHSR	30.9	25.9	25.8	30.0	-4.1	19.1	4.0	-1.7	14.1
		HSRFBO-HSRFAV	20.6	21.7	19.2	20.5	17.9	17.0	19.2	17.9	19.2
		MBOLHSR-HSRFAV	-10.3	-4.2	-6.7	-9.5	22.1	-2.1	15.2	19.6	5.0
900 veh/h	5%	HSRFBO-MBOLHSR	24.5	23.8	23.1	24.3	-2.8	20.2	13.8	0.6	12.5
		HSRFBO-HSRFAV	16.7	18.5	16.5	16.8	17.6	24.2	20.8	18.5	17.7
		MBOLHSR-HSRFAV	-7.8	-5.4	-6.6	-7.5	20.4	4.0	7.0	17.9	5.2
	10%	HSRFBO-MBOLHSR	29.9	27.5	28.6	29.5	-3.0	21.4	13.1	0.3	14.9
		HSRFBO-HSRFAV	19.6	22.1	20.3	19.8	19.6	21.3	22.4	19.9	19.8
		MBOLHSR-HSRFAV	-10.3	-5.4	-8.3	-9.7	22.6	-0.1	9.3	19.5	4.9
	15%	HSRFBO-MBOLHSR	26.1	18.8	21.7	24.9	-14.5	12.0	-4.3	-11.4	6.7
		HSRFBO-HSRFAV	16.4	14.8	14.2	15.9	9.6	8.2	11.3	9.5	12.7
		MBOLHSR-HSRFAV	-9.6	-4.1	-7.6	-9.0	24.1	-3.8	15.6	21.0	6.0

버스의 경우는 램프교통량이 500대/시의 버스비율 10%인 경우와 램프교통량 700대/시와 900대/시의 버스비율 15%인 경우를 제외하면 갓길버스전용차로제가 중앙버스전용차로제&갓길차로제보다 크게 나타났다. 통과버스는 램프교통량 500대/시의 버스비율 15%, 램프교통량 700대/시의 버스비율 5%와 10%인 경우를 제외하면 중앙버스전용차로제&갓길차로제가 갓길버스전용차로제보다 크게 나타났다. 진입버스는 모두 중앙버스전용차로제&갓길차로제가 갓길버스전용차로제보다 훨씬 작게 나타났고 진출버스는 램프교통량 900대/시의 버스비율 15%를 제외하면 작게 분석되었다. 진입/진출버스 모두 갓길버스전용차로제가 일반갓길차로제보다 크게 나타났다. 그러나 I.C 간격 2km와는 다르게 진출의 경우 램프교통량 500대/시의 버스비율 5%를 제외하면 중앙버스전용차로제&갓길차로제가 일반갓길차로제보다 크고 진입의 경우에도 5가지 경우를 제외하면 큰 것으로 나타나 I.C 간격 2km와는 다르게 분석되었다.

3) 통행속도 차이에 대한 통계적 검정

앞에서 분석한 갓길차로제 유형별 통행속도 차이가 통계적으로 유의한 차이가 있는지를 분석하였다. Vissim은 미시적 교통시뮬레이션모형으로 다양한 미시적 교통상황의 구현 과정에서 모형 특성상 Random Seed에 따라 교통상황이 조금씩 다르게 반영이 되어 시뮬레이션 결과에 차이가 발생할 수 있다. 이러한 영향을 고려하여 본 논문에서는 시나리오별로 3개의 Random Seeds를 적용하여 시뮬레이션을 수행하여 얻은 평균통행속도의 평균값을 산정하여 분석하였다. 분석 결과 차이에 대한 통계적 검증은 전체 시나리오 수는 너

무 많고 각 시나리오별로는 샘플 수가 3개로 적어 램프교통량별로 구분된 3개 그룹(그룹별 9개 시나리오)을 대상으로 통계적 검정을 수행하였다. 검정방법은 샘플 수가 9개로 적어서 t-검정을 수행하기 위해 필요한 정규성 및 등분산성 등을 만족시키기 어렵기 때문에 본 논문에서는 t-검정 대신 Wilcoxon signed rank test을 사용하여 검정 유의수준 95%(기각 영역 $Z > 1.96$)를 적용하여 수행하였다(Yun et al., 2015).

I.C 간격이 2km인 시나리오들에 대한 검정 결과인 <Table 6>에 의하면 버스전용차로&갓길차로제에 비해 갓길버스전용차로제의 버스 통행속도가 작게 분석된 ‘램프교통량이 900대/차로’인 경우만 Z 값이 1.96보다 작은 1.718로 산정되어 그 차이가 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 그리고 일반갓길차로보다 버스의 통행속도가 크게 분석된 ‘램프교통량 700대/차로’에서 Z 값 1.718로 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 이 두 가지 경우는 그 차이가 다른 경우들보다 통행속도 차이가 작은 경우에 해당되며 이들 두 가지 경우를 제외하면 모두 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

<Table 6> Z Scores by Wilcoxon Signed Rank Test for 2km of I.C Interval

Ramp veh Veh class	500 veh/lane			700 veh/lane			900 veh/lane		
	Bus	Car	Total	Bus	Car	Total	Bus	Car	Total
HSRFBO-MBOLHSR	-2.547	-2.666	-2.666	-2.073	-2.666	-2.666	-1.718	-2.666	-2.666
HSRFBO-HSRFAV	-2.666	-2.666	-2.666	-1.718	-2.666	-2.547	-2.666	-2.666	-2.666

I.C 간격 4km에 대한 검정 결과인 <Table 7>에 의하면 버스 통행속도 차이가 작은 갓길버스전용차로제와 버스전용차로&갓길차로제 비교의 경우 Z 값이 1.96보다 작게 산정되어 그 차이가 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 갓길버스전용차로제와 일반갓길차로제의 비교는 모든 시나리오에서 Z 값이 1.96보다 크게 산정되어 분석결과의 차이가 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

<Table 7> Z Scores by Wilcoxon Signed Rank Test for 4km of I.C Interval

Ramp veh Veh class	500 veh/lane			700 veh/lane			900 veh/lane		
	Bus	Car	Total	Bus	Car	Total	Bus	Car	Total
HSRFBO-MBOLHSR	-1.481	-2.666	-2.666	-1.836	-2.666	-2.666	-1.125	-2.666	-2.666
HSRFBO-HSRFAV	-2.666	-2.666	-2.666	-2.666	-2.666	-2.666	-2.666	-2.666	-2.666

2. 갓길차로 운영시간 분석

<Table 8>에서 갓길차로 운영시간을 살펴보면 램프 교통량이 많을수록 그리고 버스비율이 클수록 갓길차로 운영시간이 많이 필요한 것으로 나타났다. 갓길차로가 운영된 시간을 살펴보면 I.C 간격 2km의 경우 일반갓길차로가 가장 짧고 갓길버스전용차로, 중앙버스전용차로&갓길차로제 순으로 나타났으나 중앙버스전용차로&갓길차로제가 훨씬 큰 것으로 나타났다. I.C 간격 4km의 경우에는 I.C 간격 2km와 달리 갓길버스전용차로가 가장 짧고 램프교통량 900대/시의 버스비율 15%를 제외하면 중앙버스전용차로&갓길차로제가 가장 길게 산정되었다. 특히 갓길버스전용차로의 경우가 다른 두 경우보다 크게 짧은 것으로 나타났다. 소통상대가 같다면 갓길차로 운영시간이 짧을수록 갓길차로를 본래의 목적으로 사용하는 시간이 길기 때문에 갓길버스전용차로가 중앙버스전용차로&갓길차로제보다 도로유지관리 및 안전측면에서 유리하다고 할 수 있다.

<Table 8> HSR Operation Time

(Unit: sec)

Ramp Veh		500veh/h			700veh/h			900veh/h		
Bus Ratio		5%	10%	15%	5%	10%	15%	5%	10%	15%
I.C Interval 2km	HSRFBO	329.7	464.0	546.7	479.0	681.7	1494.7	844.0	1159.3	1381.7
	MBOLHSR	648.3	2152.3	2472.3	2134.0	2375.3	2557.7	2249.7	2532.0	2583.3
	HSRFAV	186.7	448.0	846.0	226.3	391.0	1321.7	438.0	588.0	1196.7
I.C Interval 4km	HSRFBO	136.7	183.7	462.7	342.0	361.3	743.0	644.3	900.3	1291.3
	MBOLHSR	1630.7	2137.7	2414.0	2079.0	2339.3	2569.0	2208.7	2414.0	2595.7
	HSRFAV	988.3	1969.7	2385.7	1353.0	2213.3	2523.3	1564.3	2340.3	2613.0

3. 사고 위험도 분석

<Table 9>에서 갓길차로운영 유형별 교통사고 위험도에 대한 평가를 위하여 VISSIM 시뮬레이션으로부터 구한 차량 궤적 데이터를 SSAM으로 분석하였다. 사고유형은 차량 충돌 각도를 후미추돌(30° 미만), 차로변경(30° ~ 85°), 교차상충(85° 이상)으로 적용하고 TTC 1.5초, PET 5초를 적용하여 분석하였다.

분석 결과 <Table 8>에 의하면 사고위험도는 램프 교통량이 증가할수록 그리고 버스비율이 클수록 커지는 것으로 분석되었다. 사고전체 발생위험건수는 갓길버스전용차로가 가장 적고 일반갓길차로, 중앙버스전용차로&갓길차로제 순으로 나타났다. 특히 갓길버스전용차로가 두 유형보다 사고위험발생건수가 훨씬 적은 것으로 나타났다. 특히 사고피해가 가장 큰 교차상충의 경우 갓길버스전용차로의 경우는 발생되지 않는 것으로 나타났으나 중앙버스전용차로&갓길차로제와 일반갓길차로는 각각 32건(0~7건/시나리오), 27건(1~6건/시나리오) 발생되는 것으로 나타났다. 따라서 버스전용갓길차로가 다른 두 유형보다 교통안전 측면에서 유리하다고 할 수 있다.

<Table 9> Number of accident risk cases (4km)

(Unit: Cases)

Ramp Veh		500veh/h			700veh/h			900veh/h		
Bus Ratio		5%	10%	15%	5%	10%	15%	5%	10%	15%
HSRFBO	Sum	115	180	272	126	189	365	149	265	405
	Crossing	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Rear end	68	105	147	79	106	205	76	137	225
	Lane change	47	75	125	47	83	159	73	128	180
MBOLHSR	Sum	711	952	1440	729	1101	1329	648	1142	1325
	Crossing	2	2	5	1	3	7	0	4	8
	Rear end	436	561	817	455	662	770	396	690	791
	Lane change	273	388	617	273	435	551	252	448	526
HSRFAV	Sum	644	885	1063	625	949	1145	649	892	1089
	Crossing	1	3	3	1	6	3	1	3	6
	Rear end	396	507	618	371	524	668	373	506	609
	Lane change	248	374	442	253	419	474	275	383	474

V. 결론 및 제언

본 논문에서는 고속도로 상습정체구간에 정체발생 시 교통용량을 증대시켜 소통개선을 도모하기 위하여 사용되고 있는 갓길차로를 버스전용차로로 운영하는 방안과 운영 알고리즘을 제시하고 시뮬레이션을 수행하여 기존 갓길차로제와 중앙버스전용차로제와 비교 평가를 하였다. 평가결과에 의하면 현재와 같이 모든 차량을 위한 갓길차로를 운영하는 것보다 소통 및 안전측면에서 유리한 것으로 평가 되었다. 중앙버스전용차로&갓길차로제는 버스의 통행속도가 승용차보다 매우 크게 되어 승용차 이용을 억제하는 효과는 크지만 이로 인한 버스전용차로 위반 차량들이 발생되고 진출입 램프 근처에서 버스 급차로 변경 등으로 교통사고 위험도 크다고 할 수 있다. 그리고 중앙버스전용차로 운영시간에 이 구간을 이용할 승용차들이 혼잡을 피해 인근 우회도로로 전환되어 다른 도로의 교통혼잡을 유발하기도 한다.

갓길버스전용차로 운영은 중앙버스전용차로&갓길차로제 운영보다는 통과버스의 통행속도는 다소 감소하지만 진출입 버스의 통행속도는 증가되고 승용차의 통행속도가 크게 향상되어 승용차와 버스 통행속도를 산술평균한 전체 차량의 통행속도도 크게 증가하는 것으로 분석되어 수송인원 효율성도 향상되는 것으로 분석되었다. 특히 승용차와 버스의 통행속도 차이가 크게 줄어들어 교통흐름이 안정화되고 승용차들의 버스전용차로 위반 행위를 크게 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 갓길차로 운영시간도 크게 감소되어 갓길차로 본래 기능을 최대한 유지시킬 수 있다. 이러한 영향으로 사고위험도 분석 결과는 갓길버스전용차로 운영 시가 중앙버스전용차로&갓길차로제 운영 시보다 사고위험도가 크게 감소되고, 사고심각도가 큰 교차상충은 발생되지 않는 것으로 분석되었다.

본 논문은 갓길버스전용차로제 도입 가능성 평가에 주안점을 두어 교통시뮬레이션에 의한 갓길차로 운영 유형별 비교평가를 하였다. 따라서 실제 적용을 위해서는 현장의 교통조건을 고려한 보다 세밀한 현황정산을 통한 시뮬레이션과 도로 기하구조 및 포장 강도 등 다양한 도로조건들에 대한 검토가 필요하다.

REFERENCES

- Gyeonggi Research Institute(2016), *Effect of Bus-only Lanes on Expressway in the Capital Region*, pp.91-93.
- Kim, J. S.(2017), *Evaluation of traffic flow efficiency and safety hard shoulder runnings for freeway*, Doctoral Dissertation, University of Seoul.
- Ko, E., Lee, S. and Kim, H.(2020), “Comparison Before and After Implementation of Travel Speed in Shoulder-Use Lanes on Expressway”, *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 19, no. 2, pp.36-47.
- Korea Expressway Corporation(2016), *Improvement of Hard Shoulder Running Operation Guideline*, pp.137-143.
- Park, S., Lee, Y., Kang, S., Cho, H. and Yun, I.(2021), “Analysis of Safety and Mobility of Expressway Land Control System”, *The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 20, no. 3, pp.1-19.
- The Korea Transport Institute(2012), *A Review of the Effectiveness and Feasibility of HOV Lane on Highway*, pp.41-43.
- Yun, I., Park, S., Heo, N. W., Yoon, J. E., Kim, Y. S. and Lee, S. S.(2015), “Study of Feasibility

Analysis for the Protected-Permissive Left-Turn Signal Control in Three-Leg Signalized Intersections Using a Microscopic Traffic Simulation Model”, *International Journal of Highway Engineering*, vol. 17, no. 4, pp.89-98.