

서울시 버스전용차로구간의 버스사고 영향요인 분석 연구 (중앙전용차로 및 가로변전용차로 구분)

Analysis of Bus Accidents Influential Factors on Bus Exclusive Lane in Seoul (Bus Median Lane and Bus Curb Lane Defined)

임 준 범 홍 지 연 장 일 준 박 준 태	Lim, Jun Beom Hong, Ji yeon Chang, Il Jun Park, Jun Tae	서울시립대학교 교통공학과 박사과정 (E-mail : t-safety@hanmail.net) 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 (E-mail : cathy56@hanmail.net) 정회원 · 가천대학교 도시계획학과 교수 (E-mail : ijchang@gachon.ac.kr) 정회원 · 교통안전공단 교통안전처 책임연구원 (E-mail : pjt724@naver.com)
----------------------------------	--	--

ABSTRACT

At present, Seoul City is putting the bus exclusive lane system into practice according to mass transit revitalization policy. Starting with the installation of roadside bus exclusive lane in the past, at present, even the road sections for central-lane bus exclusive lane system are on the increase. The purpose of this research is to analyze the factors giving impacts on bus accident on central bus exclusive lane and roadside bus exclusive lane. In case of the central bus exclusive lane, the 6 variables, such as the number of bus routes, number of access & entrance to central lanes patterns, whether the stop line of central lanes retreats or not, separated distance between the stop line of central lanes and crosswalks, traffic volume, and number of bus routes stopping at bus stops on reversible lanes, were found to have a significant influence on bus accidents. In case of roadside bus exclusive lane sections, the four variables such as the number of right-turn bus routes, whether to be chronic illegal parking & stopping, time for the walk signal, and forms of land use, etc. were found to have a significant influence on bus accident.

KEYWORDS

median bus lane system, roadside bus exclusive lane, traffic accident frequency prediction model, negative binomial regression, bus accident influential factors

요지

현재 서울시는 대중교통 활성화 정책에 따라 버스전용차로제도를 실시하고 있다. 과거 가로변버스전용차로 설치를 시작으로 현재에는 중앙버스전용차로 설치구간도 증가하고 있다. 본 연구의 목적은 이 중앙버스전용차로와 가로변버스전용차로에서 버스사고에 영향을 미치는 요인을 분석하는데 있다. 분석방법으로 교통사고가 확률적으로 극히 드물게 일어난다는 점을 생각하여 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 선택하였으며, 과산포 존재여부에 따라 음이항 회귀모형으로 최종모형을 정립하였다. 중앙버스전용차로구간은 버스노선수, 중앙차로 진출입 유형수, 중앙차로 정지선 후퇴유무, 중앙차로 정지선과 횡단보도 이격거리, 교통량, 가로변차로 정류장 정차노선수 6개의 변수에서 버스사고에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 가로변버스전용차로구간은 우회전 버스노선수, 상습 불법주정차 유무, 보행신호시간, 토지이용형태 4개의 변수에서 버스사고에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

핵심용어

중앙버스전용차로, 가로변버스전용차로, 버스사고모형, 음이항회귀모형, 버스사고 영향요인

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

서울시는 승용차등록대수가 2001년 약 250만대에서 2008년 약 290만대로 연평균 2.55%씩 꾸준히 증가하는 반면 도로연장은 연평균 0.23% 증가율을 보이며 물리적 한계에 도달했다. 이로써 매일 출퇴근시간 서울시내 주요간선도로망들은 만성 교통체증에 시달리고 있다. 교통체증으로 인한 경제적 손실이 막대해지자 서울시는 지하철, 버스 등의 대중교통 이용활성화를 위한 노력을 계획하고 진행해 오고있다. 1990년대 가로변버스전용차로제를 시행하였고, 2004년 7월 중앙버스전용차로제를 시행하였다. 그 결과 버스의 속도가 평균 40%정도 증가하였고 승용차 속도도 소폭 상승하여 소통측면에서 확실한 개선효과가 있는 것으로 나타났으며 버스이용승객은 노선별로 6.8%~23.0%까지 증가하는 것으로 나타났다.

그러나 중앙버스전용차로제 도입으로 버스사고건수는 2003년 380건(9월~12월)에서 2004년 441건(9월~12월)으로 1.2배 증가하였으며, 사망자수도 2명에서 6명으로 3배 증가하였고 부상자수도 372명에서 652명으로 1.8배 증가한 것으로 나타났다. 또한 버스정류장에서 사고가 12.99%(77건→87건) 증가하였으며, 2006년 서울시 대중교통체계개편사업 도입 2주년기념으로 시행한 서울거주 시민 1000명의 만족도조사결과 중 시민들의 불만사항 1위가 교통사고위험(35.9%)으로 나타났다. 이렇게 버스전용중앙차로제가 안전성 부분에 있어서는 원인을 밝혀보고 개선방안을 강구할 필요가 있다. 현재 서울시에서는 강남대로, 도봉·미아로, 성산·수색로, 경인·마포로, 왕산로·종로, 통일·의주로 등 12개의 축에서 중앙버스전용차로제를 시행하고 있으며, 잠실~역삼구간 등은 가로변버스전용차로제를 시행하고 있다. 여기서 왕산로·종로는 2011년 12월 28일에 중앙버스전용차로로 전환되었으며, 그 사고자료가 부재하여, 가로변버스전용차로제로 분석하도록 한다. 중앙버스전용차로제는 서울시의 성공으로 경기도, 대도시광역권도 시행계획이 있다. 가로변버스전용차로제는 중앙버스전용차로제 설치기준을 만족하지 못하는 구간에 대해서 시행이 될 것이고 중앙버스전용차로구간과는 다른 사고영향요인과 특성이 있을 것으로 판단된다.

버스사고는 대형사고로 이어질 수 있고, 시민들의 대중교통에 대한 인식에 큰 영향을 미치게 된다. 그러므로 본 연구의 목적은 버스사고에 영향을 미치는 요인들을 중앙버스전용차로구간과 가로변버스전용차로 구간을

구분하여 버스사고모형을 구축하고 모형구축 결과에 따라 버스사고를 줄일 수 있는 대안을 제시하는 것이 본 연구의 의의이다.

1.2. 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 버스전용차로의 버스사고 영향요인 분석을 위해 현장조사 및 데이터 수집을 실시하였고, 체계적인 연구수행을 위해 다음과 같은 사항들을 연구의 주요내용으로 선정하였다.

첫째, 문헌고찰을 통하여 이전에 연구된 교통사고분석연구의 사고영향 변수를 조사한다. 여기서 일반적인 도시부도로 사고모형의 변수를 검토하고 버스사고를 설명할 수 있는 추가변수를 도입한다.

둘째, 본 연구인 버스사고모형은 정류장별로 기하구조를 나누기가 어렵고 정류장별로 신호시간이나 교통량 등의 입력이 곤란하기 때문에 중요 교차로별로 구간을 나누어 도로구간의 특성과 버스통행의 특성이 가장 잘 반영될 수 있도록 구간을 분할한다.

셋째, 버스전용차로 구간에 대해 계층적 샘플링(Stratified Random Sampling)방법을 통하여 조사구간을 선정하고 앞서 고찰한 도로구간의 사고영향 변수들과 버스사고 특성에 영향을 미치는 변수를 토대로 교통조건, 도로조건, 주변환경조건과 같은 조사요소를 선정하여 데이터를 구축한다.

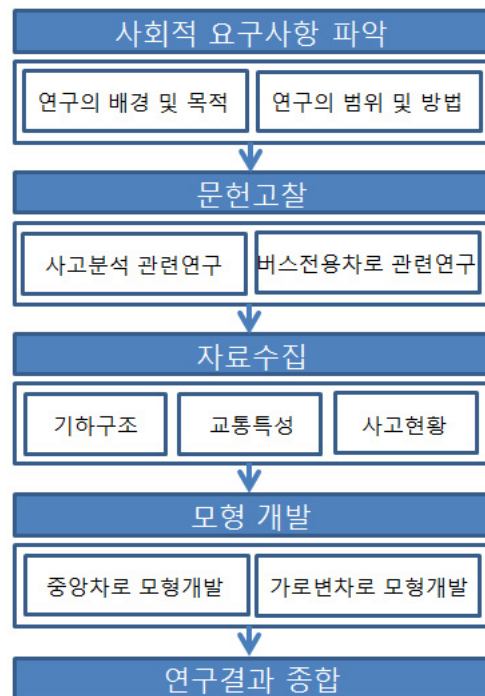


그림 1. 연구의 절차

넷째, 교통사고의 분포는 이산적이고 불규칙적으로 일어나기 때문에 분석을 위해서는 비선형 회귀모형인 포아송 회귀모형(Poisson Regression Model) 및 음이항 회귀모형(Negative Binomial Regression Model)을 사용하는 것이 적절한 것으로 판단되어 두 모형 중 적절한 모형을 적용하도록 한다.

다섯째, 개발된 모형을 해석하여 중앙버스전용차로 구간과 가로변버스전용차로 구간의 버스사고 영향요인에 대해 분석한다.

연구의 시간적 범위로 버스사고자료는 2009~2010년 2개년도의 자료를 수집한다. 연구의 공간적 범위로 중앙버스전용차로와 가로변버스전용차로를 구분하여 연구대상으로 선정하였다.



그림 2. 연구 대상 노선

- 중앙버스전용차로 :
강남대로, 도봉·미아로, 수색·성산로
- 가로변버스전용차로 :
왕산로~종로, 올림픽로~테헤란로

2. 선행연구고찰

2.1. 버스전용차로 고찰

버스전용차로는 대중교통수단인 버스의 원활한 소통을 위해 버스만 통행할 수 있게 한 전용차로라고 정의할 수 있다. 차량통행 극대화 정책에서 교통체증의 심각성을 느낀 서울시가 승객수송 증대를 위한 대중교통우선정책을 시행하면서 1986년 왕산로와 한강로에서 가로변버스전용차로가 처음으로 시행되었다. 1997년 총 59개구간으로 가로변버스전용차로가 확대 실시되었으며, 그 중 강남대로, 천호대로, 도봉·미아로, 수색·성산로 등 12개축은 2004년부터 단계적으로 중앙버스전용차로로 변경되어 운영되고 있다.

버스전용차로제는 가로변버스전용차로, 역류버스전용차로, 중앙버스전용차로 3가지로 구분할 수 있다. 버스전용차로의 유형 및 장단점은 표 1과 같다. 현재 우리나라에는 역류버스전용차로가 운영되고 있지 않으며, 본 연구에서 가로변버스전용차로와 중앙버스전용차로 구간에서의 버스사고모형을 구축할 것이므로 해당 2가지에 대해서 고찰하도록 한다.

표 1. 버스전용차로의 유형 및 장단점

유형	방식	장점	단점
가로변 버스전용차로	일방 혹은 양방 통행로에서 가로변 차로를 버스에게 제공하는 방식	- 시행이 간편 - 적은 비용으로 운영가능 - 기존 가로망체계에 미치는 영향의 극소화 원상복구가 용이	- 시행효과 미비 - 가로별 상업활동과의 상충 - 위반차량이 많이 발생 - 교차로에서 우회전 차량과 마찰
역류 버스전용차로	일반 교통류와 반대방향으로 1~2차로를 버스에게 제공하는 방식	- 일반차량과의 분리 확실 - 내부 마찰의 감소 - 버스 서비스는 계속 유지시키면서 일방통행제의 장점 첨가	- 보행자 감소가능성 - 잘못 진입한 차량으로 인한 혼잡 야기 - 시행준비 장기간 소요, 고비용
중앙 버스전용차로	중앙차로에서 버스전용차로를 제공하고, 타차량의 진입을 막기 위해 울타리나 가드레일 등을 설치하여 운영하는 방식	- 효과가 확실 - 일반차량의 가로변 접근성 유지 - 일반차량과의 마찰방지 - 버스이용자의 증가 기대 - 버스운행속도와 정시성 향상	- 도로중앙에 설치된 정류장으로 인한 승객의 안전문제 - 투자비용 과다 - 일반차로의 용량 감소

자료: 한국교통연구원(1991), '서울특별시 버스전용차로 운영방안연구'

중앙버스전용차로란 도로 중앙에 버스만 이용할 수 있는 독립차로를 지정함으로써 버스를 다른 교통류와 분리하는 차로운영방식을 지칭한다. 이러한 차로운영방식은 버스의 운행속도를 높이고 정시성을 확보하여 주어 버스이용객을 늘리는 효과가 있다. 그러나 버스이용자들이 도로 중앙에서 승하차를 해야 하므로 안전상 문제가 있고, 일반차량의 좌회전 처리가 어려워지는 단점이 있다. 가로변버스전용차로는 중앙버스전용차로 구간 외에 가장 보편적으로 시행되고 있는 기법으로 일반차량의 흐름과 동일방향으로 통행하며, 기존 도로의 가로쪽 차로를 버스에게 제공해 주는 방법이다. 시행이 간편하고 비교적 적은 비용으로 현재의 가로망형태에 대한 변화를 최소로 할 수 있다. 또한 버스교통량이 집중되어 버스지체의 원활한 운영을 방해하는 구간에는 이중 가로변버스전용차로를 설치할 수도 있다.

2.2. 사고분석 연구 고찰

이기영(1999)등은 고속도로상에서 발생한 버스사고만을 대상으로 경상사고는 음이항회귀식, 중상과 사망 사고는 포아송회귀식으로 모형을 개발한 결과, 운전자의 운전경력이 작을수록, 노면이 습윤할수록, 날씨가 흐릴수록, 종단구배가 클수록, 곡선반경이 작을수록 사고가 증가함을 보였다.

이수범 등(2003)은 도시부도로에서 포아송 선형회귀식을 이용하여 도로형태 및 V/C에 따라 다양한 유형의 사고분석모형을 개발하였는데, 교통량, 중앙분리대, 연결로 수, 횡단신호등 수, 교차점 수, 신호등 수가 사고에 영향을 미치는 변수로 선정되었다.

장태연(2003)은 과산포검증을 통해 포아송 회귀모형보다 음이항 회귀모형이 택시 교통사고발생빈도 모형에 적합함을 검증하고 운전경력, 연령, 가족 수, 운전태도, 운전습관, 직무만족, 공정게임, 질서윤리 등의 변수 등 영향요인을 분석하였다.

Hasan Ziari 등(2007)은 2000~2004년에 발생한 버스사고 자료를 이용하여 사고의 특성을 분석하고 사고예측 모형을 개발하였다. 조사된 버스 교통사고는 2002년까지 증가하다가 그 이후 감소하였으며, 승용차와의 사고비율이 가장 높았다. 사고유형으로는 직각충돌이 대부분이었으며, 교통량과 사고율과의 관계식을 도출하였다.

Mohammad A 등(1998)은 미니버스의 교통사고 심각도에 미치는 요인을 분석한 것으로 사고가 발생하기까지의 시간, 부상자수를 예측하는 모형을 만들었다. 지방부 도로의 차량단독으로 발생한 교통사고가 과속이 원인이었을 경우 가장 큰 심각도를 보이는 것으로 밝혀냈다.

Zegeer, C V 등(1994)은 버스 교통사고는 대부분이 추돌사고와 직각충돌사고였으며 이는 노면상태, 버스 사용년수, 녹색신호 시간과 관련이 있는 것으로 나타났다. 버스전용차로와 같은 시설은 교통사고감소에 기여하는 것으로 분석되었다.

Joshua, S C 등(1990)은 고속도로에서 트럭 교통사고 건수에 영향을 미치는 요인들을 분석하기 위한 연구로써 다중회귀분석과 포아송 모형을 이용하여 결과를 도출하였다. 본 모형을 통해 종단경사의 변화, 일 교통량, 차중비율이 트럭 교통사고 건수와 관련 있다는 것이 분석되었다.

2.3. 연구착안점 도출

교통사고 유발요인에 따른 사고분석 연구와 사고예측 모형 기존문헌 연구들을 살펴본 결과 도시부도로, 지방부도로, 고속도로의 공간적인 범위에 따라 동질성 구간을 정의하고 사고모형을 개발한 형태가 도로구간 사고분석 연구의 주를 이루고 있다. 또한 버스나 택시 등의 특정수단의 사고만을 모형으로 정립한 문헌이 소수 있었으나 운수업체와 운전자의 특성을 주로 고려하여 모형으로 나타난 것이었다. 따라서 기존 사고영향요인 변수검토와 버스특성을 감안한 추가변수의 도입이 필요한 것으로 판단할 수 있다.

본 연구에서는 도시부도로 구간 중에서도 버스전용차로(가로변, 중앙)라는 특정 공간적 범위와 시간적 범위(가로변버스전용차로의 경우 07시부터 21시까지)를 설정하여 버스사고에 영향을 미치는 도로조건, 교통조건, 주변환경조건에 대한 자료를 수집하고 이를 고려한 버스사고건수 예측을 실시하고자 한다. 교통사고 특성상 사고는 임의적이고 불규칙적으로 일어나는 것을 감안하였을 때 비선형 회귀분석을 이용하여 도시부도로이면서 버스전용차로 구간에서의 특성들이 교통사고에 미치는 영향을 분석하고 그에 대한 원인을 규명하고자 하였다.

3. 분석자료 수집 및 구축

3.1. 자료수집

본 연구는 중앙버스전용차로 구간과 가로변버스전용차로 구간에 대하여 각각 버스사고 모형을 정립하는 것으로 두 가지 유형 모두 운영되고 있는 서울시 주요도로를 대상으로 자료를 수집하였다. 선정된 도로구간의 버스사고 자료는 2009년, 2010년 2년동안의 경찰청 사고통계자료(TAMS)를 이용하였으며, 도로구간의 교통조건, 도로조건, 주변환경조건, 전용차로 특성조건에 대하여 서울시

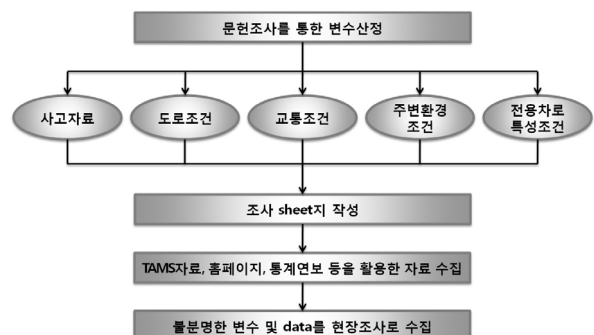


그림 3. 자료수집 개요

통안전시설정보 홈페이지(<http://tgis.seoul.go.kr>), 서울시 교통정보센터 홈페이지(<http://topis.seoul.go.kr>)와 서울시 교통통계연보, 서울시 버스중앙차로 모니터링 자료 등을 활용하여 구축하였다. 자료 상으로 확실히 알 수 없는 구간이나 변수에 대해서는 현장조사로 자료를 수집하였다.

버스사고모형 구축을 위하여, 기존 사고모형들을 검토하여 버스사고에 영향을 미칠만한 변수들을 선정하고, 중앙버스전용차로와 가로변버스전용차로의 특성으로 인해 사고를 야기할 수 있을 것으로 예상되는 변수를 선정하여 자료를 수집하였다. 수집된 자료는 표 2와 같다.

표 2. 변수수집 및 기입방법

변수명	변수설명
1.사고발생 건수	도로구간내 발생한 2년간 버스사고 건수(표시방법: 건) (가변버스전용차로구간의 경우 07시~21시까지 버스 사고 건수)
2.교통량	교통량: 도로구간내 일교통량(표시방법: 대/day)
	버스교통량비율: 버스교통량/전체 교통량 (표시방법: %)
	좌회전 교통량: 좌회전 교통량/전체교통량 (표시방법: %)
3.차로폭	중앙차로차로폭: 중앙차로 버스주행구간의 폭 (표시방법: m)
	일반차량차로폭: 일반차량들의 주행구간의 폭 (표시방법: m)
	가로변(가장우측)차로폭: 가장우측 차로의 폭 (표시방법: m)
4.버스 노선 수	중앙차로정류장 정차노선수: 정차하는 노선의 수 (표시방법: 대)
	좌회전 버스노선 비율:구간내 좌회전 버스노선수/전체 노선수
	우회전 버스노선 비율:구간내 우회전 버스노선수/전체 노선수
	가로변 정류장 정차노선수: 중앙차로구간의 가로변 정류장 정차노선수(표시방법: 대)
5.가변진출 입구수	100m당 가로변유출입구 수 (표시방법: 개수/구간길이×100)
6.횡단보도 수	도로구간내 횡단보도의 개수(표시방법: 개)
7.좌회전 전용차로수	직진과 분리된 좌회전 전용차로의 수(표시방법: 개)
8.우회전 전용차로수	직진과 분리된 우회전 전용차로의 수(표시방법: 개)
9.버스정류장 길이	버스정류장의 정차대 길이(표시방법: m)
10.주변토지 이용	도로구간의 주변토지이용 현황 (표시방법: 주거-1, 상권-2, 기타-3)
11.불법주정차 단속카메라 유무	도로구간내 불법주정차 단속카메라 유무(있다-1, 없다-0)
12.택시상승 정차 유무	도로구간내 택시 상승주정차 유무(있다-1, 없다-0)

13.신호시간	신호주기(표시방법: 초)
	주도로좌회전신호시간(표시방법: 초, 주기의 비율)
	주도로직진신호시간(표시방법: 초, 주기의 비율)
	부도로좌회전신호시간(표시방법: 초, 주기의 비율)
	부도로직진신호시간(표시방법: 초, 주기의 비율)
14.진로 변경 버스노선수	보행신호시간(표시방법: 초, 주기의 비율)
	중앙진출입유형을 행하는 버스노선수(표시방법: 개)
15.중앙진출 입구수	중앙차로의 버스가 일반차로가 주행하게 되는 유형의 개수
16.중앙차로 정지선후 퇴유무	버스중앙차로구간의 좌회전 차량의 시야제약을 방지하기 위해 정지선을 후퇴했는지 여부
17.정지선과 횡단보도 이격거리	버스중앙차로 정류장의 정지선과 횡단보도가 떨어진 거리(단위:m)
18.정류장 유형	버스중앙차로 정류장의 유형구분

위의 표 3의 수집 변수들 중에서 기존문헌에서 나타나지 않아 설명이 필요한 변수들을 정리하였다.

1) 중앙진출입구수

버스중앙차로를 주행하는 버스들은 전용차로로 한 차로를 이용하지만 여러 가지 이유로 일반차로도 유출입을 하게된다. 이러한 type을 정리하여 해당되는 type의 개수를 기입하였다(최소0, 최대4).

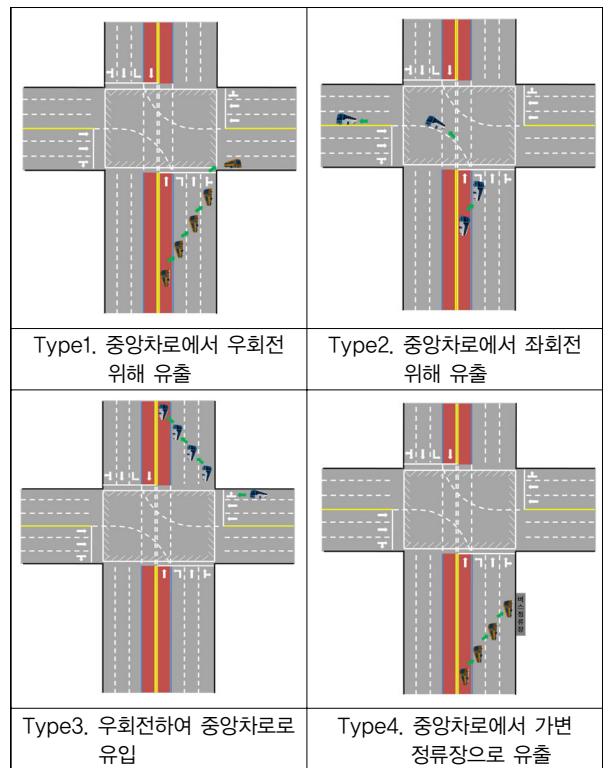


그림 4. 중앙진출입구수

2) 중앙차로 정지선 후퇴유무

중앙버스전용차로의 경우 가장 안쪽차로에 위치하기 때문에 좌회전이 가능한 교차로에 대해서는 버스전용차로 정지선을 일반차량의 정지선보다 약간 뒤로 이동시킨다. 이는 버스가 정지할 때 너무 앞에 있게 되면 좌회전 차량이 시야의 제약을 받기 때문이다. 도로구간 마다 정지선 후퇴유무를 후퇴유는 1, 후퇴무는 0을 기입하도록 하였다.

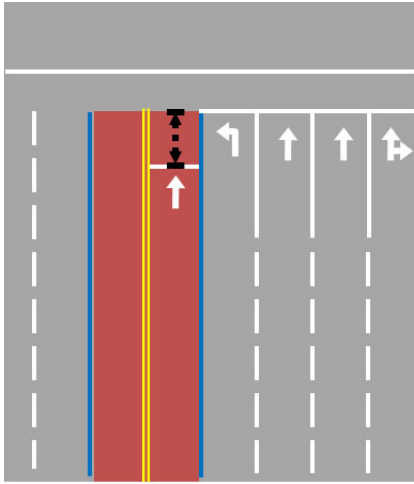


그림 5. 중앙차로 정지선 후퇴 유무

3) 중앙차로 정지선과 횡단보도 이격거리

중앙버스전용차로의 경우 가장 안쪽차로에 위치하기 때문에 좌회전이 가능한 교차로에 대해서는 버스전용차로 정지선을 일반차량의 정지선보다 약간 뒤로 이동시킨다. 이는 버스가 정지할 때 너무 앞에 있게 되면 좌회전 차량이 시야의 제약을 받기 때문이다. 도로구간 마다 정지선 후퇴유무를 후퇴유는 1, 후퇴무는 0을 기입하도록 하였다.

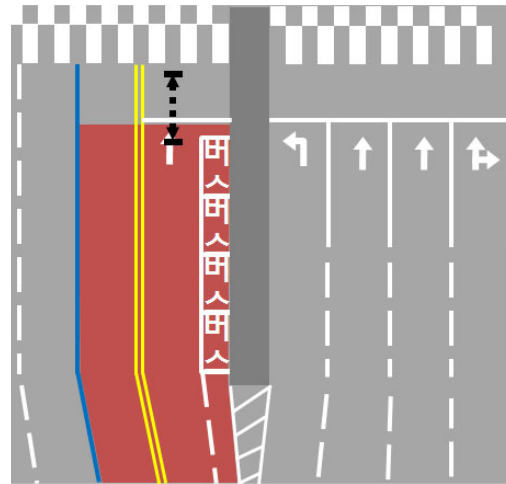
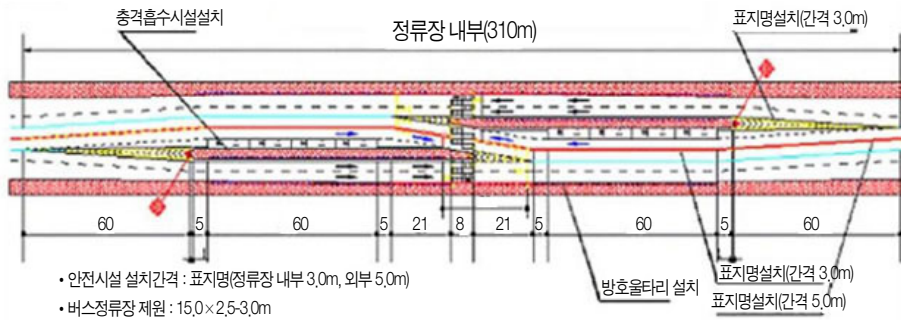
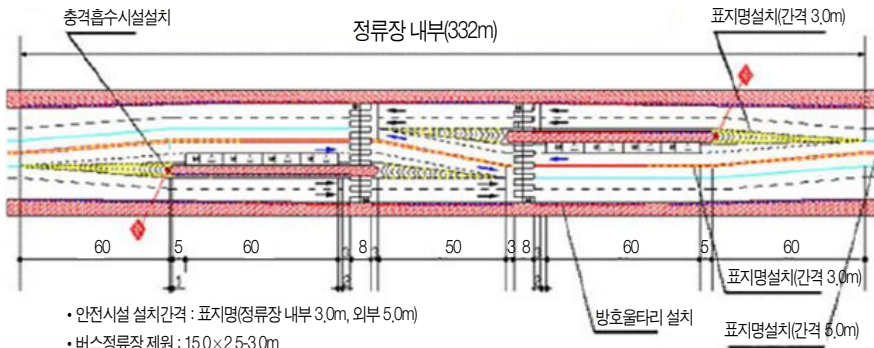


그림 6. 정지선과 횡단보도 이격거리



Type 1. 횡단보도 한 개인 유형



Type 2. 횡단보도 두 개인 유형

자료 : 도로안전진단을 통한 중앙버스전용차로 안전도 향상방안(한상진, 2006)

그림 7. 중앙버스전용차로 정류장 유형

4) 버스전용차로 정류장 유형

중앙버스전용차로의 정류장 유형은 두 가지가 있다. 첫 번째 유형은 횡단보도가 한 개이며, 양방향 정류장 가운데에 설치하여 함께 쓰는 유형이다. 반대편 정류장을 이용하기에 횡단거리가 짧고 신호도 한번만 받게 되므로 불편이 적지만 무단횡단의 위험이 높다. 두 번째 유형은 횡단보도가 두 개이며, 방향별 정류장마다 횡단보도가 한 개씩 있는 유형이다. 반대편 정류장을 이용하기 위해서는 신호를 두 번 받게 되므로 다소 불편하지만 무단횡단의 위험이 적은 편이다.

3.2. 분석대상구간 분류방법 설정

자료수집 대상도로는 서울시 중앙버스전용차로 운영도로인 강남대로, 도봉·미아로, 수색·성산로 3개축과 가로변버스전용차로 운영도로인 왕산로~종로, 올림픽로~테헤란로 2개축이다. 해당 도로구간에 대하여 분석의 용이를 위하여 교차로 단위로 구간을 분할하되, 구간마다 최소 버스정류장은 한 개 이상 있도록 구간을 분류하였다. 교차로를 구간의 기본단위로 본 이유는 버스정류장이 대부분 교차로와 교차로 사이에 있으며 신호나 교통량 등 도로 및 교통조건을 수집하기에 유용하기 때문이다.

중앙버스전용차로 구간은 강남대로 양방향 14개, 도봉·미아로 양방향 32개, 수색·성산로 양방향 18개로 총 64개구간에 대하여 각 버스사고 요인변수와 사고건수를 수집하였다. 가로변버스전용차로 구간은 종로 양방향 26개, 올림픽로 양방향 22개로 총 48개 구간에 대하여 자료를 수집하였다.

4. 버스전용차로 버스사고 모형개발

4.1. 중앙버스전용차로 버스사고 모형

모형개발을 위한 분석 프로그램은 STATA/SE 9.1을



그림 8. 중앙버스차로 구간분류의 예(강남대로)

번호	구간 범위	번호
1	신사역~논현역	14
2	논현역~신논현역	13
3	신논현역~강남역	12
4	강남역~우성4거리	11
5	우성4거리~뱅뱅4거리	10
6	뱅뱅4거리~양재역	9
7	양재역~교육개발원	8

사용하였으며, 분석시 신뢰수준은 90%(=0.1)로 하였다. 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형 모두 분석하였으며, 과산포 검정을 통하여 적합한 모형을 선정하도록 하였다.

$$-LR = -2(\ln L(p) - \ln L(NB)) = -2(-179.62278 - (-179.40701)) = 0.43154$$

$$-X^2_{(1-2\alpha, d, f=1)} = 0.0158$$

$$-LR \text{ statistic}(0.43154) > X^2_{(1-2\alpha, d, f=1)} (0.0158)$$

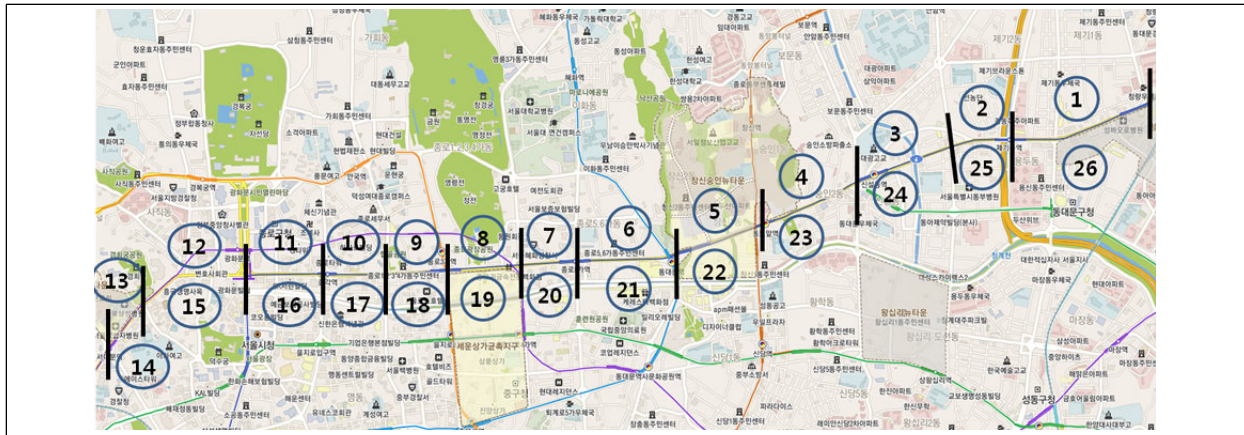
이므로 포아송분포라는 귀무가설이 기각되므로 음이항분포가 적합하다고 할 수 있다. 음이항 회귀모형이 적합한 것을 검증하였으므로 다음 장에서 음이항 모형에 대해 정립하도록 하였다.

표 3. 중앙버스전용차로 버스사고 모형

변 수	Negative Binomial	
	계수	P-value
버스노선수(X6)	-0.0391	0.002
중앙차로 진출입수(X11)	0.1988	0.005
중앙차로 정지선 후퇴유무(X16)	-0.4254	0.046
정지선과 횡단보도 이격거리(X17)	0.1715	0.013
교통량(X26)	0.0004	0.001
가변정류장 정차노선수(X29)	0.0171	0.084
lnL	-189.45253	
ρ^2	0.1589	
$y = \exp(-0.0391X6 + 0.1988X11 - 0.4254X16 + 0.1715X17 + 0.0004X26 + 0.0171X29)$		

4.2. 가로변버스전용차로 버스사고 모형

포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형 모두 분석하였으며, 과산포 검정을 통하여 적합한 모형을 선정한 결과 중앙버스전용차로와 동일하게 음이항 모형이 적합한 것



번호	구간범위	번호	번호	구간범위	번호
1	청량리~제기동역	26	8	종로4가~종로3가	19
2	제기동역~용두동4거리	25	9	종로3가~종로2가	18
3	용두동4거리~신설동역	24	10	종로2가~종각역4거리	17
4	신설동역~동묘앞4거리	23	11	종각역4거리~세종로4거리	16
5	동묘앞4거리~동대문교차로	22	12	세종로4거리~정동4거리	15
6	동대문교차로~종로5가	21	13	정동4거리 서대문4거리	14
7	종로5가~종로4가	20			

그림 9. 가로변버스차로 구간분류의 예(왕산로~종로)

으로 분석되었다.

- $LR = -2(\ln L(p) - \ln L(NB)) = -2(-110.18 - (-110.16)) = 0.4$
- $X^2_{(1-2\alpha, d, f=1)} = 0.0158$
- $LR \text{ statistic}(0.4) > X^2_{(1-2\alpha, d, f=1)} (0.0158)$

표 4. 가로변버스전용차로 버스사고 모형

변 수	Negative Binomial	
	계수	P-value
우회전 버스노선수(X9)	0.1099	0.000
상습 불법주정차 유무(X15)	0.7677	0.000
보행신호시간(X19)	0.0354	0.028
토지이용형태(X26)	0.6863	0.010
상수	-1.4487	0.049
$\ln L$	-122.28262	
ρ^2	0.1497	

$$y = \exp(-1.4487 + 0.1099X9 + 0.7677X15 + 0.0354X19 + 0.6863X26)$$

Bias)와 MAD(Mean Absolute Deviation)를 사용하였다. MPB는 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료에 대해서 모델에 의한 결과 값이 어느 정도, 그리고 어떻게 치우쳐 있는지를 판단할 수 있는 기준을 제공해준다. MAD는 모형의 예측 값이 평균적으로 얼마나 잘못 예측되었는지를 판단할 수 있는 척도를 제공해준다. 이 방법이 MPB와 다른 점은 각 수치의 음과 양의 차이로 인해 상쇄되지 않는다는 점이다. 결과 값이 0에 가까울수록 모델이 실제의 관측된 자료에 부합되는 결과를 나타냄을 의미한다.

$$MPB = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \quad (1)$$

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad (2)$$

여기서, Y_i : 모형을 만들기 위하여 종속변수로 사용된 자료

\hat{Y}_i : 모델에 의한 결과값

4.3. 모형 적합도 검증

모형검증에 대한 방법으로 MPB(Mean Prediction

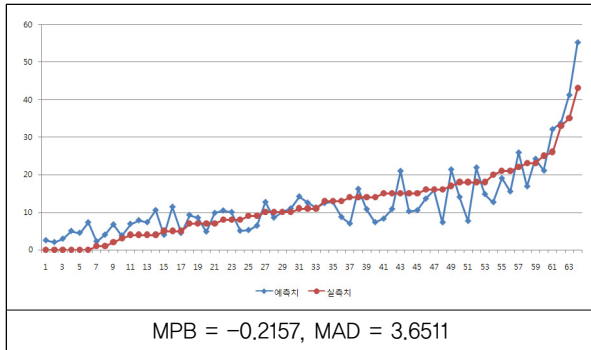


그림 10. 모형의 적합도 판단(중앙버스전용차로)

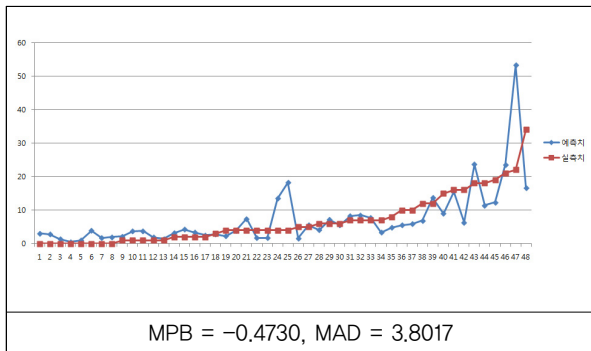


그림 11. 모형의 적합도 판단(가로변버스전용차로)

4.4. 모형 해석

4.4.1. 중앙버스전용차로

• 버스노선수

중앙버스전용차로 버스사고모형에서 버스노선수는 사고건수에 음(-)의 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉, 버스노선수가 많을수록 사고는 줄어든다는 의미가 된다. '버스노선수'라는 변수는 해당구간의 버스정류장에 정차를 하는 노선수를 정의한 것이므로 정차하는 버스노선수가 줄었다는 것은 이전 정류장에서 정차를 했지만 다음 정류장에서는 좌회전, 우회전 등의 이유로 중앙차로를 이탈한 경우이다. 즉, 중앙차로에서 주행하던 버스가 좌회전, 우회전 또는 가변정류장에 정차를 위해서 일반차량으로 진입하는 버스노선이 많은 구간에서는 버스노선수가 줄어들기 때문에 버스사고가 더 발생하는 것으로 판단된다.

• 중앙차로 진출입수

중앙버스전용차로 버스사고모형에서 중앙차로 진출입수는 사고건수에 양(+)의 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉, 중앙차로 진출입수가 많을수록 사고건수는 늘어난다는 의미이다. 중앙차로 진출입수는 중앙차로에서

일반차로로 유출되는 경우 3가지와 일반차로에서 중앙차로로 유입되는 경우 1가지 총 4가지 중 해당구간에서 포함되는 유출입 유형의 개수를 파악한 것이다. 해당 유형의 개수가 많게 되면 유출입하는 버스노선과 버스대수가 많아지므로 일반차량이나 보행자와의 상충횟수도 늘어나게 된다.

• 중앙차로 정지선 후퇴유무

중앙버스전용차로 버스사고모형에서 중앙차로 정지선 후퇴유무는 사고건수에 음(-)의 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉, 정지선 후퇴를 한 구간은 1, 후퇴를 하지 않은 구간을 0으로 했으므로 정지선 후퇴를 하지 않으면 사고건수가 늘어난다는 것을 알 수 있다. 이는 좌회전 차량의 시야에 중요한 요소라고 볼 수 있다.

• 정지선과 횡단보도 이격거리

중앙버스전용차로 버스사고모형에서 중앙차로 정류장 정지선과 횡단보도 이격거리는 양(+)의 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉, 정지선과 횡단보도 이격거리가 길어질수록 사고건수가 늘어나는 것을 알 수 있다. 중앙차로의 경우 일반차로에서보다 횡단보도가 정차대에서 가깝고 횡단거리가 짧기 때문에 횡단보도 이격거리가 멀어질수록 무단횡단을 할 확률이 높아지기 때문으로 생각된다.

• 교통량

중앙버스전용차로 버스사고모형에서 교통량은 양(+)의 영향을 주는 것으로 나타났다. 여기서 교통량은 차종에 상관없이 구간을 지나는 교통량이다. 이는 버스교통량은 버스사고에 유의한 영향을 주지 않는 것으로 나타난 것과 대조적이다. 버스교통량은 차선의 혼잡과 사고위험에 크게 위험을 미치는 정도가 아니지만 일반차량과 모든 교통량을 합쳤을 경우는 버스와 상충이 일어날 확률이 높아지는 것으로 생각된다.

• 가변정류장 정차노선수

중앙버스전용차로 버스사고모형에서 가변정류장 정차노선수는 양(+)의 영향을 주는 것으로 나타났다. 가변정류장 정차노선수가 많을수록 중앙차로에서 일반차로로 가는 노선이 많다는 의미이므로 일반차량 및 보행자와 상충의 확률이 커지고 전체적인 교통흐름에 방해가 되기 때문으로 생각된다.

4.4.2. 가로변버스전용차로

• 우회전 버스노선수

우회전 버스노선수가 많을 경우 가로변 주정차 차량이나 가로변 진출입 차량과의 상충으로 인해 버스사고를 증가시키는 것을 알 수 있다. 또한 우회전을 위해 대기하는 버스로 인해서 직진하는 버스들은 가로변버스전용차로에서 일반차로로 피하기 때문에 사고의 위험은 커지게 된다.

• 상습 불법주정차 유무

불법 주정차 단속카메라 유무는 유의하지 않은 결과가 나왔으나 상습 불법주정차 유무는 사고에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 택시나 승용차 등의 상습 불법 주정차 구간에서는 버스와의 상충이나 유출입차량과의 상충, 교통흐름 방해 등으로 인해 사고의 위험은 커지는 것으로 판단된다.

• 보행신호시간

가로변 버스전용차로로 운영할 경우 중앙버스전용차로 구간보다 버스들의 운행 정시성이 보장되지 않는다. 그래서 보행신호시간이 길어지게 되면 무리하게 교차로에 진입하거나 신호위반 등으로 인한 사고위험이 증가하여 사고건수에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

• 토지이용형태

도로주변 토지이용형태가 주거지역보다 상권지역의 경우 불법주정차나 보행량, 교통량 등이 많기 때문에 버스사고 건수에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 중요 교통정책 중 하나인 버스전용차로의 설치·확대에 따른 전용차로의 버스사고 영향요인을 분석하고자 하였다. 이를 위해 서울시에서 운영중인 버스전용차로 구간을 대상으로 중앙버스전용차로와 가로변버스전용차로의 사고자료, 교통·시설자료를 수집하여 버스사고의 특성변수를 도출하였다. 중앙버스전용차로와 가로변버스전용차로 각각 전용차로 특성에 따라 사고요인으로 예상되는 변수들과 문헌을 통한 도시부도로 사고 영향변수들을 선정하였다. 각 노선을 교차로 단위로 구간을 분할하고 각 구간별로 선정된 버스사고 영향변수들의 자료를 수집하였다. 이 각각의 구간별 변수

들과 구간별 사고건수와의 관계를 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형으로 분석하였다. 중앙버스전용차로와 가로변버스전용차로 모두 과산포 검정을 통해 과산포가 발견되어 음이항 회귀모형을 최종모형으로 정립하였다.

그 결과 중앙버스전용차로에서 버스사고건수에 유의한 영향을 주는 변수는 버스노선수, 중앙차로 진출입수, 중앙차로 정지선 후퇴유무, 정지선과 횡단보도 이격거리, 교통량, 가변정류장 정차노선수로 나타났다. 이는 중앙버스전용차로에서 일반차로로 이동하는 버스가 많고, 그 유형이 많으면 버스사고건수에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 중앙차로 정지선이 후퇴하지 않은 경우는 좌회전 차량의 시야를 가려 사고에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 실제 버스사고자료의 사고유형을 분류한 결과 차선변경 및 좌회전 차량과의 충돌이 가장 많이 나타난 것으로 보아 모형이 적합하게 예측되었다고 할 수 있다.

가로변버스전용차로에서 버스사고에 유의한 영향을 주는 변수는 우회전버스노선수, 상습불법주정차유무, 보행신호시간, 토지이용형태로 나타났다. 가로변전용차로는 가장 우측차로에 버스전용차로를 주기 때문에 토지이용형태에 따라 상권 등에 상습불법주정차 차량이 있을 경우는 버스의 주행공간이 확보가 되지 않기 때문에 사고에 양(+)의 영향을 미칠 수 있다. 또한 우회전버스노선수가 많아지게 되면 가변차로에 직진신호를 받기 위해 버스들이 우회전 대기버스들을 피하기 위해 일반차로로 진입하기 때문에 버스사고에 양(+)의 영향을 미친다고 할 수 있다.

본 연구에서는 자료수집의 시·공간적 한계로 시설 위주의 변수를 활용하였다. 또한 버스사고의 집계데이터를 활용하여 주요 사고유형 및 보행자, 차대차사고의 미시적 접근이 이루어 지지 않았다. 또한 노선별 사고영향요인이 다를 수 있으나 노선별로 반영되지 않았다. 이러한 부분은 향후 연구대상으로 볼 수 있으며 버스운전자의 심리상태, 운행환경조건 등도 충분한 검토를 해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 스마트하이웨이 사업단을 통하여 지원된 SMART Highway 기하구조 기본연구(R&D 07 기술혁신 A01)과업에 의하여 수행되었습니다.

참고 문헌

박규영, "도로안전시설물의 사고감소효과 평가 및 사고감소

- 계수 추정모형 구축”, 서울시립대학교대학원, 박사학위논문, 2006
- 이기영, “고속도로 사고모형의 개발과 적용”, *대한교통학회 제 36회 학술발표회논문집*, 1999
- 이수범, “도로등급 및 특성에 따른 교통사고 예측모형 개발”, *대한토목학회논문집*, 제23권 제4호, 2003, pp495~504
- 임삼진, “서울 대중교통체계 개편 전후의 버스사고 비교”, *서울도시연구*, 제7권 제2호, 2006, pp1~12
- 장태연, “과산포 검정을 통한 택시교통사고 모형설정”, *대한토목학회지*, 제23권 제1D호, 2003, pp27~34
- 한상진, “도로안전진단을 통한 중앙버스전용차로 안전도 향상방안”, 한국교통개발연구원 교통정책브리프, 2006
- Hasan Ziari et al, “Analysis characteristics and provide a prediction model of public bus accidents in Tehran”, *Journal of Applied Science*, Vol.6-2, 2006
- Joshua, S C and Garber, N, “Estimating truck accident rate and involvements using linear and poisson regression models”, *Transportation Planning and Technology*, Vol.15-6, 1990
- Mohammad A., “Analysis of commercial mini-bus accidents”, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.30-5, 1998
- Zegeer, “Commercial bus accident characteristics and roadway treatments”, *Transportation Research Record Issue No.1467*, 1994
- (접수일 : 2012. 2. 16 / 심사일 : 2012. 2. 21 / 심사완료일 : 2012. 2. 28)