

중앙버스 전용차로 도입에 따른 설계요소별 사고예측계수 개발에 관한 연구

The Development of Accident Modification Factors for the Design Elements in
the Median Bus Rapid Transit Lane

김명규* · 최재성** · 김상엽*** · 김정준****

Kim, Myung Kyu · Choi, Jai Sung · Kim, Sang Youp · Kim, Jeong Jun

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

간선급행버스체계(Bus Rapid Transit)는 형태상으로는 간선도로를 주행하는 급행버스이면서 기능적으로는 철도와 비슷해서 이 두 교통수단의 장점이라고 할 수 있는 높은 주행속도와 통행 시간 신뢰성을 승객들에게 제공하는 대중교통수단을 의미한다. 간선급행버스체계는 국내외적으로 이미 상당히 많은 도시에서 사용하고 있다[1]. 서울시는 2004년부터 가로변 버스전용차로의 한계점을 보완하기 위해 중앙버스전용차로를 서울시내 4개 노선 36.1km에 처음으로 설치하여 운영 중이며[2], 2008년 현재 12개 노선 92.6km를 운영하고 있으며, 앞으로 23개 노선 202.8km에 이를 설치할 계획을 갖고 있다[2].

이 중앙버스 전용차로는 안전해야 한다. 그런데 우리나라의 경우 중앙버스 전용차로를 설치할 때 교통사고 발생을 억제하는 방안을 강구하기 보다는 교통 혼잡을 억제하는 방안이 치중하는 경향이 강하기 때문에 중앙버스 전용차로 안전성을 평가할 방법이 없다[3]. 특히 우리나라에서 중앙버스전용차로를 설계할 때 그 설계지침으로 「간선급행버스체계(BRT) 설계지침」을 주로 사용했는데[1], 이 설계지침은 설계 요소별 최소 제원, 기하구조 형태 등에 대한 개략적 설계원칙만을 제시하였을 뿐이어서 이 문제를 해결하기 어렵다. 대표 횡단면이 존재하는 경우 각 설계 대안에 대한 교통사고 발생 가능성을 계량적으로 판단할 수 있어야 하지만, 횡단설계요소 중에서 어떤 것이 교통사고 발생 측면에서 유리한 설계인지 가능하기 어렵고, 또한 설계를 개선한 경우에도 새로운 설계 대안이 얼마나 교통사고 감소에 도움이 되는지 분석할 수 없게 된다[4].

이 문제를 해결하기 위해서는 교통사고 보정계수를 사용하는 것이 바람직하다. 교통사고 보정계수(Accident Modification Factor)는 도로의 안전성을 평가하기 위한 과정에서 적용하는 계수로써 도로구간 또는 교차로에서 교통사고에 영향을 미칠 수 있는 여러 가지 요소들에 대해 교통사고 발생정도를 계량화한 것을 말한다[5].

한편 지난 몇 년간 우리나라에서도 교통사고 보정계수에 관한 연구를 여러 개 연구를 수행했고, 그 결과를 실무에 사용하고 있다[5,6]. 그러나 이들 연구에서 중앙버스전용차로에 대한 교통사고 보정계수 문제를 다루고 있지는 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 중앙버스전용차로를 보다 안전하게 설치하는데 기여하기 위하여 중앙버스전용차로에 대해 교통사고 보정계수를 정립하는 것을 연구 목적으로 한다.

* 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 · 공학사 · 02-2210-2990(E-mail : stealdevil@nate.com)

** 서울시립대학교 교통공학과 정교수 · 공학박사 · 02-2210-2522(E-mail : traffic@uos.ac.kr)

*** 서울시립대학교 교통공학과 박사 · 공학박사 · 02-2210-2990(E-mail : road@uos.ac.kr)

**** 서울시립대학교 교통공학과 석사 · 공학석사 · 02-2210-2990(E-mail : zxcvnb0509@nate.com)

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구의 공간적 범위로는 서울시 중앙버스 전용차로 설치 노선이며, 시간적 범위는 서울시 중앙버스 전용차로 설치를 고려하여 공사기간 전 1년과 개통 후 1년을 대상으로 한다. 또한 본 연구의 내용적 범위는 중앙버스 전용차로에 대해 교통사고 보정계수를 합리적으로 정립하는 과정이며, 이 과정에 필요한 자료 조사 및 통계분석을 포함한다.

한편 본 연구의 접근 방법은 다음과 같다. 첫째, 중앙버스전용차로 설계에 필요한 주요 설계 항목에 대해 살펴본 후, 각 설계항목에 대한 교통사고 발생 특성에 대해 국내의 연구 결과를 문헌을 통해 검토했다. 또한 중앙버스전용차로 설계항목들에 대한 국내의 교통사고 보정계수 정립 연구결과들이 있는지 문헌 조사를 통해 광범위하게 검토했다. 둘째, 중앙버스전용차에 대한 교통사고 보정계수를 정립하기 위한 사전 준비 단계로서 중앙버스전용차로의 교통사고 현황자료를 수집 분석했다. 셋째로, 서울시 중앙버스전용차로에 대한 교통사고 보정계수를 정립하기 위해 교통사고분석 모형을 선정하고, 이 모형에 필요한 설명 변수들을 선정하여, 중앙버스전용차로 설계항목과 관계를 수식으로 정립했다.

2. 문헌검토

2.1 기존문헌 검토

국토해양부의 BRT 설계지침에 따르면 중앙버스전용차로 설치 시 설계요소로는 주행로, 기반시설, 교차로 등으로 구분되어 있다. 이중 주행로를 설계하는데 있어 가장 중요한 설계항목은 도로의 횡단구성요소이며 횡단구성요소는 일반 차로폭, 버스 차로폭, 중앙분리대와 길어깨폭으로 구성되어 있다. 또한 버스정류장은 중앙버스전용차로를 구성하는데 반드시 필요한 설계요소이며 버스정류장이 설치되어 있는 구간은 제한된 폭으로 인해 도로의 횡단구성이 달라진다[1,7].

본 연구에서는 중앙버스 전용차로 설치 전·후의 교통사고 보정계수 개발을 위해 국내의 도로 유형별로 제시한 교통사고 보정계수 항목을 살펴보았다.

미국에서는 도로설계과정에서 안전성 평가를 하기위해 도로의 유형별로 교통사고 보정계수 항목 및 교통사고 보정계수 값을 제시하고 있다. 텍사스 교통국의 IRSDM(Interim Roadway Safety Design Model)은 지방부 도로구간의 교통사고 보정계수 항목을 기하구조, 도로변 설계항목 등 설계요소를 17개 항목으로 나눠서 제시하고 있다[8]. 또한 안전성 평가와 관련하여 미국의 도로안전편람(HSM)을 검토했다. HSM에서는 IRSDM과 같이 도로의 유형별로 교통사고 보정계수 항목을 나누고 있으며 도로구간은 2차로도로와 다차로도로로 구분하여 각각 5개 항목, 3개 항목의 교통사고 보정계수를 제시하고 있다[9].

우리나라의 도로구간 교통사고 보정계수관련 연구결과로는 최은진(2009)의 연구가 대표적이다. 이 연구에서는 교차로와 도로구간을 나누어 분석하였으며 도로구간은 진출입구 밀도, 횡단보도 밀도, 지형, 토지이용도와 중앙분리대 등 5개 항목의 교통사고 보정계수 값을 제시하였다[6].

2.2 본 연구를 위한 개발방법 선정

일반적으로 교통안전성 분석 분야에서 교통사고 보정계수를 결정하기 위해 적용하는 방법론은 기존문헌을 이용하는 방법, 도로구간에서 나타나는 교통사고와 기하구조 사이의 관계식을 이용하는 방법, 교통안전 전문가의 판단을 조사하여 그 결과를 이용하는 방법이 있다[10]. 본 연구에서는 이들 방법 들 중 통계 분석을 통해 교통사고 발생 특성을 매우 정확히 예측할 수 있는 두 번째 방법을 이용하여 중앙버스 전용차로를 시행하는 도로구간의 교통사고 보정계수를 개발하였다.

표 1. 대상 노선의 구간별 특성

대상노선	연장 (km)	구간	분석년도		구간 개수
			전	후	
수색·성산로	6.8	고양시계 ~이대후문	2003. 1.~12.	2006. 1.~12.	13
망우로	4.8	정량리역 ~망우역	2004. 1.~12.	2007. 1.~12.	11
경인·마포로	6.8	오류IC ~서울교	2004. 1.~12.	2007. 1.~12.	12
경인·마포로	5.3	서울교 ~아현삼거리	2005. 1.~12.	2008. 1.~12.	8
시흥·한강로	9.3	시흥대로 ~대방역	2004. 1.~12.	2007. 1.~12.	16
시흥·한강로	5.2	서울역 ~한강대교남단	2005. 1.~12.	2008. 1.~12.	12
송파대로	5.6	성남시계 ~잠실역남단	2006. 1.~12.	2009. 1.~12.	12
전체 구간 개수					84



3. 분석 자료의 수집 및 정리

3.1 기초자료수집

본 연구에서는 먼저 서울시 중앙버스 전용차로 시행 도로구간의 기하구조 자료를 수집하였다. 이때 자료 수집 범위는 교차로 영향권을 제외하기 위해 정지선으로부터 반경 30m를 벗어난 도로구간을 대상으로 했다[11]. 또한 본 연구에서 조사한 도로구간은 교통사고 자료와 매칭시킬 수 있어야 하므로 교통사고 자료가 존재하는 2009년 이전에 중앙버스 전용차로를 시행한 노선 8개 중 5개 노선(7개 구간)으로 선정하였으며, 이들 구간에 대한 개요는 표 1과 같다. 또한 본 연구에서는 교통사고 자료를 수집하기 위해 우리나라 경찰청의 TAMS를 이용하였고, 중앙버스전용차로 설치기간과 설치 후 적응기간을 고려하여 표 1에서 제시한 대로 공사기간 전 1년과 적응기간 후 1년의 교통사고 자료를 사용하였다.

표 2. 본 연구의 현장 조사 양식

노선명	구간명	구간길이 (km)	조사일시	조사자명
망우로	상봉지하차도 ~ 망우역	0.365	2010.04.11	-
교통량 및 기하구조				
교통량 (1,000대/일)	횡단 폭(m)	일반차로 폭(m)	버스차로 폭(m)	길어깨 폭(m)
71	26.77	3.33	3.26	0.34
왕복 차로수(개)	중앙분리대 유무	버스정류장 유무	진출입로 수(개)	횡단보도 수 (개)
8	무	무	0	1

본 연구에서 조사한 자료 수집 방법은 중앙버스 전용차로 시행 전 기하구조 자료 수집은 도로 설계 도면을 통해 수집하였으며, 시행 후 자료 수집은 표 2에서 제시한 것처럼 현장조사를 통해 수집하였다. 한편 표 3은 현장조사 구간별로 수집한 교통량 및 기하구조 자료의 개략적 특성이다.

표 3. 본 연구에서 수집한 현장자료의 개요

구분		설치 전				설치 후			
		평균	표준편차	최소값	최대값	평균	표준편차	최소값	최대값
사고건수	Y	37.618	18.646	7.547	87.363	31.934	16.340	6.452	76.443
교통량	X_1	66.774	26.543	43	138	61.711	22.143	43	135
차로수	X_2	9.890	2.021	6	14	9.190	2.021	6	14
일반차로폭	X_3	3.314	0.288	2.79	3.89	3.321	0.279	2.80	3.89
버스차로폭	X_4	-	-	-	-	3.432	0.228	3.00	3.95
중앙분리대 유무	X_5	0.119	0.326	0	1	0.155	0.364	0	1
버스정류장 유무	X_6	-	-	-	-	0.726	0.449	0	1
길어깨폭	X_7	0.547	0.289	0	1.45	0.545	0.291	0	1.45
진출입 수	X_8	0.010	0.007	0	0.023	0.010	0.007	0	0.023
U턴 유무	X_9	0.083	0.278	0	1	0.060	0.238	0	1
횡단보도 수	X_{10}	0.002	0.002	0	0.007	0.002	0.002	0	0.007

4. 교통사고 보정계수의 정립

본 연구에서는 중앙버스전용차로가 설치된 도로에서 도로 설계요소와 교통사고 발생 특성을 설명하는 관계식을 토대로 교통사고 보정계수를 산출하기 위해, 우선적으로 교통사고예측모형을 개발하였다. 본 연구에서는 과분산이 발생하는 경우를 주의하여 모형 분석을 수행하였다.

4.1 모형의 선정

4.1.1 포아송 회귀모형

포아송 분포의 확률 모형식은 식(1)과 같으며 포아송 회귀모형은 식(2)와 같다[8].

$$P(y) = \frac{\lambda^y \exp(-\lambda)}{n!} \quad \text{식(1)} \qquad \lambda = e^{\beta_0 + \beta_1 x + \dots + \beta_m x_m} \quad \text{식(2)}$$

여기서, $P(y)$: 교통사고 n이 발생할 확률
 y : 교통사고발생빈도
 λ : 평균사고 수

여기서, x : 교통사고와 관련된 속성
 β : 추정계수

4.1.2 음이항 회귀모형

교통사고를 예측하는 모형을 정립하는 과정에서 포아송 분포를 이용하면 과대산포의 문제가 나타날 수 있기 때문에, 일반적으로 교통사고예측 모형에서는 분산이 평균보다 크다는 가정에서 출발하는 음이항 분포를 많이 이용한다[12,13]. 식(3)은 음이항 회귀모형이다[13].

$$\lambda = e^{\beta_0 + \beta_1 x + \dots + \beta_m x_m + \epsilon} \tag{3}$$

여기서, $\epsilon^{(\epsilon)}$: 오차 항으로 평균이 1이고 분산이 α 인 감마분포로 가정

4.2 변수의 선정

다음 단계로 본 연구에서는 상기 회귀모형에 들어갈 종속변수와 독립변수들을 선정했다. 이 과정에서 종속 변수는 교통사고 발생을 나타낼 수 있도록 교통사고 건수를 선정했으나, 독립변수를 선정하기 위해서는 중앙버스전용차로 설계요소와 교통사고 발생간의 기존 연구 결과나 전문가적인 판단이 중요하다.

이론적으로 보면 회귀 모형식에 독립변수들을 많이 사용하게 되면 그 모형의 예측 능력은 높아진다. 그러나 불필요한 변수들을 사용하면 변수들의 설명력이 중복적으로 나타나고, 독립 변수를 수집하는데 불필요한 비용이 들기 때문에 적정 개수의 독립변수를 사용하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 상관성이 매우 높은 변수만을 고려했으며 표 4는 상관분석 결과이다. 표 5는 상관분석 과정을 통해 선정한 독립변수들을 나타낸다.

표 4. 변수들의 상관관계분석

	중앙버스전용차로 설치 전										중앙버스전용차로 설치 후												
	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	
Y	1											1											
X ₁	0.72	1										0.72	1										
X ₂	0.63	0.49	1									0.61	0.50	1									
X ₃	-0.51	-0.41	-0.39	1								-0.54	-0.42	-0.42	1								
X ₄	-	-	-	-	1							-0.34	-0.26	-0.21	0.22	1							
X ₅	-0.30	-0.18	-0.25	0.04	-	1						-0.35	-0.24	-0.37	0.03	0.16	1						
X ₆	-	-	-	-	-	-	1					0.58	0.51	0.35	-0.42	-0.28	-0.33	1					
X ₇	-0.31	-0.20	-0.12	0.09	-	-0.06	-	1				-0.60	-0.43	-0.40	0.34	0.28	0.31	-0.42	1				
X ₈	0.65	0.48	0.38	-0.28	-	-0.17	-	-0.32	1			0.50	0.44	0.22	-0.21	-0.18	-0.24	0.22	-0.27	1			
X ₉	0.06	0.05	0.08	-0.03	-	-0.09	-	-0.10	-0.05	1		-0.10	-0.12	-0.14	0.14	0.11	0.11	-0.30	-0.06	-0.08	1		
X ₁₀	0.73	0.58	0.44	-0.37	-	-0.17	-	-0.18	0.50	0.00	1	0.74	0.58	0.40	-0.36	-0.21	-0.23	0.45	-0.53	0.42	0.01	1	

4.3 본 연구의 모형

4.3.1 모형개발 결과

본 연구에서 우도비를 분석한 결과, 중앙버스 전용차로 설치 전에 대해서 포아송 회귀모형은 0.5217, 음이항 회귀 모형은 0.2073을 나타냈고, 중앙버스전용차로 설치 후에 대해서 포아송 회귀 모형은 0.5075, 음이항 회귀모형은 0.2153을 나타냈다. 추가적으로 본 연구에서는 개발된 모형 중 최적의 모형을

선택하기 위하여 우도비(Likelihood Ratio, LR) 검정을 시행하였다. 우도비 검정은 과대산포를 검정하는 과정으로 모형의 과대산포모수인 α 의 유의성을 검정하는 절차이다. 본 연구에서 사용한 과대산포 검정 귀무가설(H_0)과 대립가설(H_1)은 식(4)와 같으며 과대산포 검정을 시행하기 위하여 각 모형의 로그우도함수(Log Likelihood, lnL)을 이용한 우도비 검정을 시행하여 최적 모형을 선택하였으며, 우도비 검정은 식(5)와 같다.

$$H_0 : \alpha = 0 \quad vs \quad H_1 : \alpha > 0 \tag{4}$$

$$LR = -2(\ln L(P) - \ln L(NB)) \tag{5}$$

표 5. 본 연구의 변수 선정

종속 변수	Y	교통사고건수(건/년/km)		
독립 변수	x ₁	교통량(1,000대/일)	x ₉	버스차로폭3(3.50이상)
	x ₂	차로수(개)	x ₁₀	중앙분리대 유무("0" or "1")
	x ₃	일반차로폭1(2.75~3.00m)	x ₁₁	버스정류장 유무("0" or "1")
	x ₄	일반차로폭2(3.00~3.25m)	x ₁₂	길어깨폭(m)
	x ₅	일반차로폭3(3.25~3.50m)	x ₁₃	진출입 수(개/m)
	x ₆	일반차로폭4(3.50이상)	x ₁₄	U턴 유무("0" or "1")
	x ₇	버스차로폭1(3.00~3.25m)	x ₁₅	횡단보도(개/m)
	x ₈	버스차로폭2(3.25~3.50m)		



여기서, $\ln L(P)$: 포아송 회귀모형의 로그우도비

$\ln L(NB)$: 음이항 회귀모형의 로그우도비

우도비 접근분포(Asymptotic Distribution)는 자유도가 1인 카이제곱분포를 따르기 때문에 우도비 검정통계량과 유의수준 α 에서 자유도가 1인 카이제곱분포의 임계값과 비교하게 된다. 본 연구에서 분석한 결과 우도비 검정통계량의 값이 각각 6.012, 3.874로 크게 나타났다. 표 6은 본 연구의 모형 개발 결과이다.

표 6. 모형개발 결과

변수	설치 전								설치 후							
	Poisson				Negative Binomial				Poisson				Negative Binomial			
	Coef.	Std. Err.	Z	P-Value	Coef.	Std. Err.	Z	P-Value	Coef.	Std. Err.	Z	P-Value	Coef.	Std. Err.	Z	P-Value
상수	3.077	0.133	23.14	0.000	3.050	0.169	18.00	0.000	2.611	0.174	14.98	0.000	2.567	0.208	12.33	0.000
교통량	0.004	0.001	4.26	0.000	0.004	0.001	3.79	0.000	0.003	0.001	3.43	0.001	0.004	0.001	3.06	0.002
차로수	0.025	0.011	2.24	0.025	0.024	0.014	1.74	0.032	0.035	0.013	2.79	0.005	0.037	0.015	2.53	0.011
일반차로폭2	-0.094	0.055	-1.71	0.088	-0.082	0.074	-1.11	0.095	-0.068	0.068	-0.99	0.073	-0.061	0.086	-0.71	0.058
일반차로폭3	-0.270	0.070	-3.85	0.000	0.256	0.089	-2.88	0.004	-0.142	0.074	-1.93	0.054	-0.137	0.091	-1.50	0.033
일반차로폭4	-0.430	0.073	-5.86	0.000	-0.425	0.092	-4.60	0.000	-0.233	0.087	-2.67	0.008	-0.229	0.105	-2.17	0.030
버스차로폭2	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.004	0.056	0.08	0.040	-0.010	0.067	0.15	0.078
버스차로폭3	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.149	0.063	-2.38	0.017	-0.134	0.074	-1.82	0.069
중앙분리대	-0.269	0.074	-3.65	0.000	-0.276	0.085	-3.24	0.001	-0.183	0.077	-2.37	0.018	-0.174	0.088	-1.98	0.048
버스정류장	-	-	-	-	-	-	-	-	0.321	0.072	4.43	0.000	0.310	0.082	3.80	0.000
길어깨폭	-0.216	0.075	-2.88	0.004	-0.227	0.090	-2.53	0.011	-0.271	0.100	-2.71	0.007	-0.290	0.115	-2.53	0.011
진출입 수	16.826	3.330	5.05	0.000	16.363	4.140	3.95	0.000	9.409	3.547	2.65	0.008	9.178	4.181	2.20	0.028
U턴 유무	0.119	0.078	1.54	0.124	0.106	0.095	1.12	0.265	0.096	0.084	1.15	0.252	0.098	0.098	1.00	0.317
횡단보도 수	42.421	11.583	3.66	0.000	42.327	14.246	2.97	0.003	43.344	12.786	3.39	0.001	43.143	15.016	2.87	0.004
구간 수	84				84				84				84			
ln L	-287.033				-284.027				-273.804				-271.867			
ρ^2	0.5217				0.2073				0.5075				0.2154			
LR	6.012 > 3.841($\chi^2_{0.95,1}$)								3.874 > 3.841($\chi^2_{0.95,1}$)							

결론적으로 본 연구에서는 포아송 회귀모형은 실제 평균보다 분산이 큰 과대산포의 문제가 발생하므로 귀무가설을 기각하고 포아송 회귀모형보다 음이항 회귀모형을 선택하였다.

4.3.2 교통사고예측모형 정립 및 결과분석

사고모형을 정립하는 단계에서 만약 선택한 모든 변수의 추정된 계수를 통해 교통사고 건수를 예측할 경우 오히려 왜곡된 분석 결과가 도출될 수 있다. 따라서 올바른 결과를 도출하기 위해서는 통계적 기법을 이용하여 유의한 변수를 선정하고, 최적 모형을 도출하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 후진(Backward) 방식을 이용하여 각 단계별 종속변수에 대한 설명력이 낮은 순서로 제거하였다. 변수 제거의 기준은 P-value를 이용하였다.

본 연구에서 후진 방식을 이용한 교통사고 예측모형의 정립 결과, 모형 식에서 유의한 변수는 중앙버스 전용차로 설치 전의 경우 교통량, 차로수, 일반차로폭, 중앙분리대, 길어깨폭, 진출입수, 횡단보도수로 나타났으며 설치 후의 경우 교통량, 차로수, 일반차로폭, 버스차로폭, 중앙분리대, 버스정류장, 길어깨폭, 진출입수, 횡단보도수로 나타났다. 교통사고 건수는 교통량, 차로수, 버스정류장, 진출입수, 횡단보도수의 값이 커질수록 증가하는 것으로 나

표 7. 본 연구 예측모형 정립 결과(음이항 회귀모형)

변수	음이항 회귀모형							
	설치 전				설치 후			
	계수	표준오차	Z	P-value	계수	표준오차	Z	P-value
상수	3.042	0.172	17.70	0.000	2.591	0.208	12.46	0.000
교통량	0.004	0.001	3.78	0.000	0.004	0.001	3.04	0.002
차로수	0.025	0.014	1.77	0.036	0.036	0.015	2.43	0.015
일반차로폭2	-0.074	0.075	-1.00	0.018	-0.052	0.087	-0.60	0.039
일반차로폭3	-0.230	0.087	-2.64	0.008	-0.129	0.091	-1.41	0.048
일반차로폭4	-0.419	0.094	-4.47	0.000	-0.189	0.105	-2.05	0.040
버스차로폭2	-	-	-	-	-0.128	0.068	0.20	0.041
버스차로폭3	-	-	-	-	-0.215	0.074	-1.74	0.032
중앙분리대	-0.292	0.085	-3.44	0.001	-0.170	0.088	-1.93	0.044
버스정류장	-	-	-	-	0.287	0.079	3.65	0.000
길어깨폭	-0.241	0.090	-2.68	0.007	-0.212	0.113	-2.76	0.006
진출입수	15.672	4.155	3.77	0.000	8.984	4.199	2.14	0.032
횡단보도 수	43.609	14.408	3.03	0.002	45.350	14.936	3.04	0.002
Number of Obs.	84				84			
ln L	-284.634				-272.362			
ρ^2	0.2056				0.2140			

타났다. 일반차로폭과 버스차로폭, 중앙분리대, 길어깨폭은 값이 커질수록 감소하는 음(-)의 관계로 나타났다. 표 7은 본 연구에서 후진 방식을 통해 음이항 회귀모형을 정립한 결과이다.

모형의 정립 결과 중앙버스 전용차로 설치 전은 9개의 독립변수를 사용한 모형을 최종모형으로 선정하였으며, 설명력이 0.2055로 설명력이 있는 것으로 나타났다. 설치 후는 12개의 독립변수를 사용한 모형을 최종모형으로 선정하였으며, 설명력이 0.2140으로 설명력이 있는 것으로 나타났다. 이들을 음이항 회귀모형을 통한 교통사고예측모형의 모형은 식(6), 식(7)과 같다.

$$Y_0 = \exp(3.042 + 0.004x_1 + 0.025x_2 - 0.074x_3 - 0.230x_4 - 0.419x_5 - 0.292x_8 - 0.241x_{10} + 15.672x_{11} + 43.609x_{12}) \quad \text{식(6)}$$

$$Y_1 = \exp(2.591 + 0.004x_1 + 0.036x_2 - 0.052x_3 - 0.129x_4 - 0.189x_5 - 0.128x_6 - 0.215x_7 - 0.170x_8 + 0.287x_9 - 0.212x_{10} + 8.984x_{11} + 45.350x_{12}) \quad \text{식(7)}$$

여기서, Y_0 : 설치 전 예측 교통사고 건수(건/년/km)

Y_1 : 설치 후 예측 교통사고 건수(건/년/km)

x_1 : 교통량(1,000대/일)

x_2 : 차로수(개)

x_3 : 일반차로폭2(3.00~3.25)

x_4 : 일반차로폭3(3.25~3.50)

x_5 : 일반차로폭4(3.50 이상)

x_6 : 버스차로폭2(3.25~3.50)

x_7 : 버스차로폭3(3.50 이상)

x_8 : 중앙분리대 유무("0"or"1")

x_9 : 버스정류장 유무("0"or"1")

x_{10} : 길어깨폭(m)

x_{11} : 진출입 수(개/m)

x_{12} : 횡단보도 수(개/m)

5. 중앙버스전용차로에 대한 교통사고 보정계수 정립

5.1 교통사고 보정계수 산출방법

교통사고 보정계수의 기본 모형식은 교통사고예측모형에서 상수와 교통량 변수만을 가지게 하여 교통량에 의해서만 교통사고 빈도를 도출하게 되는 모형으로 다른 변수의 영향은 없다고 가정한다. 본 연구에서는 차량의 통행에 영향을 미치는 요인을 통제하는 조건으로 「도로의 구조 및 시설기준에 관한 규칙」(국토해양부, 2009)에 기초하여 다음과 같은 조건을 기본조건으로 설정하였다.

- 일반차로폭 2.75m~3.00m, 버스차로폭 3.00m~3.25m, 길어깨폭 0.5m
- 교통통제, 진출입구 등으로 인하여 차량이 영향을 받지 않는 도로

본 연구에서 나타난 도로구간의 기본모형은 식(8)과 같이 도출되며 예측모형식인 식(7)로부터 변수 x_3 에 대한 교통사고 보정계수를 개발하고자 하는 경우 식(9)와 같은 방법으로 수행한다.

$$Y_b = \exp(a + \beta_0 AADT) \quad \text{식(8)}$$

$$Y_{x_3} = \exp(2.591 - 0.052x_3 + 0.004AADT)$$

$$\begin{aligned} AMF &= \frac{Y_{x_3}}{Y_b} \\ &= \frac{\exp(2.591 - 0.052x_3 + 0.004x_1)}{\exp(2.591 + 0.004x_1)} \\ &= \exp(-0.052x_3) \end{aligned} \quad \text{식(9)}$$

5.2 중앙버스 전용차로구간 교통사고 보정계수 개발

중앙버스 전용차로 도로구간에서 발생하는 교통사고에 유의한 영향을 미치는 요인들에 대한 기존연구 및 개발된 교통사고예측모형에 포함된 변수를 대상으로 교통사고 보정계수 개발을 위한 항목을 설정하였으며



아래 10개 항목과 같다.

- 일반차로폭2(NL2)
- 일반차로폭4(NL4)
- 버스차로폭3(BL3)
- 중앙분리대(MS)
- 횡단보도수(CW)
- 일반차로폭3(NL3)
- 버스차로폭2(BL2)
- 버스정류장(BS)
- 진출입수(DW)
- 길어깨폭(SH)

5.2.1 일반차로폭과 버스차로폭 교통사고 보정계수

차로폭은 도로의 횡단구성에서 중요한 요인이나 현재 중앙버스 전용차로의 차로폭에 대한 규정은 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」 해설에 최소 설계기준만 제시되어 있을 뿐이다. 이는 중앙버스 전용차로 횡단면 설계시 교통사고 위험에 어느 정도 영향을 주는지 알 수 없으며 차로폭을 어느 정도 범위에서 적용해야 하는지 제시할 수 없기 때문에 유사한 횡단폭을 가진 도로에 다양한 차로폭의 도로를 설계하는 원인이 되고 있다. 표 8은 본 연구에서 산출한 차로폭에 대한 교통사고 보정계수이다.

일반차로폭에 대한 교통사고 보정계수는 차로폭이 3.5m 이상일 경우 설치 전은 0.66, 설치 후는 0.83으로 각각 34%, 17%의 교통사고감소 효과가 있는 것으로 나타났으며 중앙버스 전용차로 설치 후 일반차로폭의 교통사고 감소효과는 설치 전 교통사고감소 효과보다 줄어드는 것으로 나타났다. 버스차로폭에 대한 교통사고 보정계수는 차로폭이 3.5m 이상일 경우 0.81로 약 19%의 교통사고 감소효과가 있는 것으로 판단한다.

표 8. 차로폭 교통사고 보정계수

구분	교통사고 보정계수	
일반차로폭	$AMF_{NL2(전)} = \frac{\exp(3.042 - 0.074x_3 + 0.004AADT)}{\exp(3.042 + 0.004AADT)}$ $= \exp(-0.074x_3) = 0.93$	$AMF_{NL2(후)} = \frac{\exp(2.591 - 0.052x_3 + 0.004AADT)}{\exp(2.591 + 0.004AADT)}$ $= \exp(-0.052x_3) = 0.95$
	$AMF_{NL3(전)} = \frac{\exp(3.042 - 0.230x_4 + 0.004AADT)}{\exp(3.042 + 0.004AADT)}$ $= \exp(-0.230x_4) = 0.79$	$AMF_{NL3(후)} = \frac{\exp(2.591 - 0.129x_4 + 0.004AADT)}{\exp(2.591 + 0.004AADT)}$ $= \exp(-0.129x_4) = 0.88$
	$AMF_{NL4(전)} = \frac{\exp(3.042 - 0.419x_5 + 0.004AADT)}{\exp(3.042 + 0.004AADT)}$ $= \exp(-0.419x_5) = 0.66$	$AMF_{NL4(후)} = \frac{\exp(2.591 - 0.189x_5 + 0.004AADT)}{\exp(2.591 + 0.004AADT)}$ $= \exp(-0.189x_5) = 0.83$
버스차로폭	$AMF_{BL2(후)} = \frac{\exp(2.591 - 0.128x_6 + 0.004AADT)}{\exp(2.591 + 0.004AADT)}$ $= \exp(-0.128x_6) = 0.88$	$AMF_{BL3(후)} = \frac{\exp(2.591 - 0.215x_7 + 0.004AADT)}{\exp(2.591 + 0.004AADT)}$ $= \exp(-0.215x_7) = 0.81$

5.2.2 기타 교통사고 보정계수

중앙분리대는 왕복 교통류를 분리함으로써 차량의 중앙선 침범에 의한 치명적인 정면충돌 교통사고를 방지하며, 비분리 다차로도로에 있어서 대향차로의 오인을 방지하는 등 교통사고에 큰 영향을 미치는 요인이다. 본 연구에서는 중앙분리대 설치시 교통사고 감소효과를 보이는 것으로 나타났다.

버스정류장은 도로 중앙에 설치된 버스정류장은 교통 흐름에 영향을 주고 안전 측면에서 고려한다면 도로구간 내에 하나의 위험 요소가 된다. 본 연구에서 제시하는 버스정류장의 교통사고 보정계수는 1.33으로 버스정류장 설치시 약 33%의 교통사고가 증가하는 것으로 판단한다.

본 연구에서 길어깨폭은 폭이 증가할수록 사고가 감소하는 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 중앙버스 전용차로 설치 전에 비해 후의 경우 길어깨폭은 보다 중요한 설계요소라고 판단한다.

진출입 수는 밀도 개념인 단위 거리당 진출입 수(개/m)로 고려하였다. 1km 구간에 진출입구가 1개 있는 경우 설치 전 교통사고 보정계수는 1.02, 설치 후 교통사고 보정계수는 1.01로 약 2%, 1%의 교통사고가 증가하는 것으로 나타났으며 진출입구가 증가할수록 교통사고 위험이 크게 증가하는 것으로 판단한다.

횡단보도 수는 진출입 수와 동일한 밀도 개념(개/m)을 사용하였다. 1km 구간에 횡단보도수가 1개 있는 경우 중앙버스 전용차로 설치 전·후 교통사고 보정계수는 1.04로 약 4%의 교통사고가 증가하는 것으로 나타났다. 표 9는 본 연구에서 제시하는 항목별 교통사고 보정계수이다.

표 9. 항목별 교통사고 보정계수

구분	교통사고 보정계수	
중앙분리대	$AMF_{MS(전)} = \frac{\exp(3.042 - 0.292x_8 + 0.004AADT)}{\exp(3.042 + 0.004AADT)} = \exp(-0.292x_8) = 0.75$	$AMF_{MS(후)} = \frac{\exp(2.591 - 0.170x_8 + 0.004AADT)}{\exp(2.591 + 0.004AADT)} = \exp(-0.170x_8) = 0.84$
정류장	-	$AMF_{BS(후)} = \frac{\exp(2.591 + 0.287x_9 + 0.004AADT)}{\exp(2.591 + 0.004AADT)} = \exp(0.287x_9) = 1.33$
길어깨폭	$AMF_{SH(전)} = \frac{\exp(3.042 - 0.241x_{10} + 0.004AADT)}{\exp(3.042 + 0.004AADT)} = \exp(-0.241x_{10})$	$AMF_{SH(후)} = \frac{\exp(2.591 - 0.212x_{10} + 0.004AADT)}{\exp(2.591 + 0.004AADT)} = \exp(-0.212x_{10})$
진출입수	$AMF_{DW(전)} = \frac{\exp(3.042 + 15.672x_{11} + 0.004AADT)}{\exp(3.042 + 0.004AADT)} = \exp(15.672x_{11})$	$AMF_{DW(후)} = \frac{\exp(2.591 + 8.984x_{11} + 0.004AADT)}{\exp(2.591 + 0.004AADT)} = \exp(8.984x_{11})$
횡단보도수	$AMF_{CW(전)} = \frac{\exp(3.042 + 43.609x_{12} + 0.004AADT)}{\exp(3.042 + 0.004AADT)} = \exp(43.609x_{12})$	$AMF_{CW(후)} = \frac{\exp(2.591 + 45.350x_{12} + 0.004AADT)}{\exp(2.591 + 0.004AADT)} = \exp(45.350x_{12})$

6. 결 론

본 연구에서는 중앙버스 전용차로의 안전성 높은 설계를 위해 시행 구간의 횡단면 설계 요소별 교통사고 보정계수를 개발하였다. 이를 위해 현장조사 및 도면을 통한 도로구간 자료 수집을 실시하였고, 이를 통해 중앙버스 전용차로 시행 구간의 시행 전·후 사고예측모형을 정립하였다. 정립된 모형을 통해 교통사고 보정계수를 산출하였으며 교통사고 보정계수는 표 10과 같다.

표 10. 항목별 교통사고 보정계수

구분	일반 차로폭2	일반 차로폭3	일반 차로폭4	버스 차로폭2	버스 차로폭3	중앙 분리대	길어깨폭	진출입 수	횡단보도 수	버스 정류장
설치 전	0.93	0.79	0.66	-	-	0.75	$\exp(-0.241x_{10})$	$\exp(15.672x_{11})$	$\exp(43.609x_{12})$	-
설치 후	0.95	0.88	0.83	0.88	0.81	0.84	$\exp(-0.212x_{10})$	$\exp(8.984x_{11})$	$\exp(45.350x_{12})$	1.33

항목의 특성상 연속적인 값을 가지는 항목은 수식으로 산출하였으며 설치유무로 나타나는 항목은 설치에 따른 교통사고 보정계수값을 제시하였다. 연속적인 값을 가지는 항목 중 최소기준이 있는 항목들은 최소기준이 사고에 영향을 미치지 않는 교통사고 보정계수값인 1로 설정하여 비교하였다. 교통사고 보정계수 항목들 중 중앙분리대는 도로폭에 여유가 있다면 설치를 하는 것이 도로 안전성에 기여하는 것으로 나타났으며, 버스차로폭, 일반차로폭, 길어깨폭 순으로 사고 민감도가 높으므로 중앙버스 전용차로 설치시 버스차로폭을 가장 우선시하여 설계하고 일반차로폭, 길어깨폭 순으로 폭을 넓히는 것이 안전성에 도움이 된다고 판단한다.

참고 문헌

- [1] 국토해양부(2010), “간선급행버스체계(BRT) 설계지침”.
- [2] 교통정보센터(2010) “<http://topis.seoul.go.kr>”.
- [3] Bonneson et al, “Procedure for Using Accident Modification Factors in the Highway Design Process”, FHWA/TX-07/0-4703-P5.
- [4] 은철규(2009), “BRT시스템을 고려한 도시간선도로 횡단면 설계 개선방안 연구”.
- [5] 김용철(2009), “지방부 교차로의 도로설계 안전성 판단 알고리즘 구축을 위한 교통사고 보정계수 개발(신호교차로를 중심으로)”, 대한교통학회지 제27권 제3호.

- [6] 최은진(2009), “지방부 교차로 및 도로구간의 사고예측계수를 이용한 도로안전성 평가 알고리즘 개발”.
- [7] 국토해양부(2009), “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 해설”.
- [8] Bonneson et al(2004), “Interim Roadway Safety Design Workbook”, FHWA-TX-06/0-470.-P4.
- [9] AASHTO(2010), “Highway Safety Manual”.
- [11] David et al(2004), “Crash Reduction Factor for Traffic Engineering and ITS Improvements”, NCHRP 17-25.
- [12] 하태준 외(2005), “사용자 비용분석을 통한 간선도로 위험순위 산정에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제23권 제7호.
- [13] Jovanis et al(1986), “Modeling the Relationship of Accidents to Miles Traveled”, TRB 1068, 42-51.
- [14] Miaou et al, “Modeling Vehicle Accident and Highway Geometric Design Relationships”, Accident Analysis and Prevention, Vol.25 No.6.