

간선도로 기능별 보행사고 심각도 분석과 모형 개발

Pedestrian Accident Severity Analysis and Modeling by Arterial Road Function

백 태 헌 Beck, Tea Hun
박 민 규 Park, Min kyu
박 병 호 Park, Byung Ho

충북대학교 도시공학과 박사과정 (E-mail : simsimback@nate.com)
충북대학교 도시공학과 석사 (E-mail : krip1004@htomail.com)
정회원 · 충북대학교 도시공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : bhpark@chungbuk.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purposes are to analyze the pedestrian accident severity and to develop the accident models by arterial road function.

METHODS : To analyze the accident, count data and ordered logit models are utilized in this study. In pursuing the above, this study uses pedestrian accident data from 2007 to 2011 in Cheongju.

RESULTS : The main results are as follows. First, daytime, Tue.Wed.Thu., over-speeding, male pedestrian over 65 old are selected as the independent variables to increase pedestrian accident severity. Second, as the accident models of main and minor arterial roads, the negative binomial models are developed, which are analyzed to be statistically significant. Third, such the main variables related to pedestrian accidents as traffic and pedestrian volume, road width, number of exit/entry are adopted in the models. Finally, Such the policy guidelines as the installation of pedestrian fence, speed hump and crosswalks with pedestrian refuge area, designated pedestrian zone, and others are suggested for accident reduction.

CONCLUSIONS : This study analyzed the pedestrian accident severity, and developed the negative binomial accident models. The results of this study expected to give some implications to the pedestrian safety improvement in Cheongju.

Keywords

pedestrian accident model, road section, ordered logit model, accident severity, count data model

Corresponding Author : Park, Byung Ho, Professor
Department of Urban Engineering, Chungbuk National University,
52 Neasudong-ro, Heungdeok-gu, Chungju-si, Chungbuk, 361-463, Korea
Tel : +82.43.261.2496 Fax : +82.43.264.2496
E-mail : bhpark@chungbuk.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Mar. 17, 2014 Revised Apr. 1, 2014 Accepted Jul. 31, 2014

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

2011년 우리나라 자동차 1만대당 사망자수는 2.4인으로 OECD 32개국 중 31위를 차지하고 있으며, 인구 10만인당 보행교통사고 사망자 수는 4.1인으로 OECD 국가 중 가장 많은 것으로 나타났다(교통안전공단, 2014). 이에 정부는 교통사고 사망자 감축방안을 다방면으로 시행하고 있으나, 2011년 국내 교통사고 사망자

5,229인 중 2,044인이 보행자인 만큼 보행자 교통사고는 심각한 실정이다. 이런 결과는 그동안 진행된 안전대책이 양적인 감소에 집중되어, 질적인 감소를 달성하기에 충분하지 못했다는 반증이다.

이에 이 연구의 목적은 청주시에서 발생한 보행자 교통사고를 대상으로 심각도분석 및 모형개발을 통해 보행자 사고에 영향을 미치는 요인을 분석하는데 있다.

1.2. 연구의 내용 및 방법

보행자 사고의 심각도분석 및 사고모형 개발을 위해 도로교통공단의 교통사고자료를 활용한다. 연구의 대상이 되는 사고자료는 2007년부터 2011년까지 청주시에서 발생한 보행자 사고이다.

이 연구에서 보행자 사고의 사고특성 및 사고모형의 개발을 위해 다음 3단계의 분석을 수행한다.

첫째, 기존문헌을 검토하여 연구의 차별성을 제시한다.

둘째, 도로교통공단 교통사고분석시스템(TAAS)를 통해서 청주시 보행자 교통사고자료를 수집한다. 또한 독립변수 및 설명변수의 설정을 위해 수집된 사고자료를 분석하고, 청주시 CAD도면 및 현장조사를 통해 기하구조 자료를 수집한다.

마지막으로, 수집된 종속변수, 독립변수 및 설명변수를 이용하여 사고심각도모형 및 사고예측모형을 개발한다. 이를 위해 순서형 로짓 모형 및 포아송·음이항모형을 활용한다. 아울러 심각도분석과 모형개발을 통해 보행사고 영향요인을 파악한다.

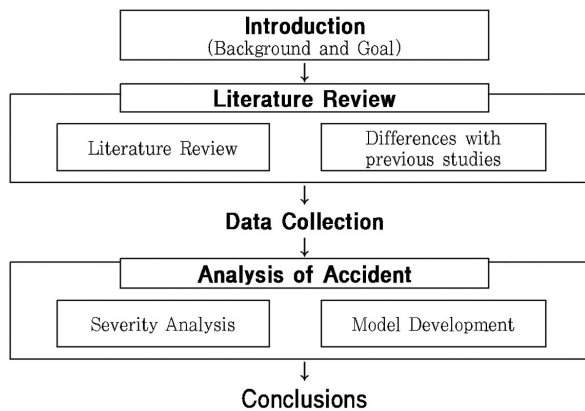


Fig. 1 Research Flow

2. 기존문헌 고찰

이 연구는 청주시에서 발생한 보행자 교통사고를 대상으로 사고심각도모형 및 사고빈도모형을 개발하는데 그 목적을 두고 있다. 이러한 모형을 통해 보행자 교통사고의 원인을 분석하는 기존연구는 사고심각도에 영향을 미치는 요인을 파악하는 연구와 보행자 사고발생원인을 찾는 연구로 대별된다. 이런 연구는 일반적으로 사고발행상황에 대한 자료(설명변수)를 수집하고, 이들 변수가 사고에 영향을 미치는 정도에 대해 파악하는데 중점을 둔다. 사고심각도분석의 기존연구는 대부분 사고

지역, 운전자와 보행자의 특성, 차량특성, 사고발생 당시의 환경요인(계절, 시간, 기상) 및 도로 기하구조 등을 설명변수로 활용하고 있다. 또한 사고빈도 모형과 관련한 기존연구는 도로 환경요인(시간, 기상, 사고지점, 도로제한속도, 왕복차로수, 중앙분리대 유무, 도로선형), 인적요인(성별, 연령, 속도, 가해자 고령 구분, 가해자 연령대, 가해자 성별) 및 주변토지이용 등을 설명변수로 활용하고 있다.

2.1. 국내문헌 고찰

보행자 사고에 대한 국내문헌으로, 한수산 등(2011)은 청주시 주간선도로를 대상으로 교통사고 심각도분석을 수행하였다. 저자들은 계절, 주야간, 기상상태, 도로포장, 성별, 연령, 차종 등의 설명변수가 사고심각도에 미치는 것으로 분석하였다.

조정일(2008)은 보행자 상해정도와 충돌당시의 차량속도를 알 수 있는 보행자 사고를 바탕으로, 사고심각도에 영향을 주는 요인을 분석하였다. 연구는 구조방정식을 통해 진행되었으며, 연구결과 충돌당시의 차량속도가 사고심각도에 가장 영향을 많이 주는 요인으로 분석되었다.

김진선 등(2011)은 청주시 주요 가로구간을 주간선도로와 보조간선도로로 구분하여 도로 등급별 사고모형을 개발하였다. 연구결과, 사고의 특성은 도로 등급에 따라 상이하게 나타나는 것으로 분석되었다. 또한 주간선도로는 교통량과 굴곡점 수가 공통변수로 채택되었고, 보조간선도로는 평균중단경사가 공통변수로 채택되었다.

최새로나 등(2011)은 운전경력 2년 미만의 초보운전자를 대상으로 보행자 사고심각도를 분석하였다. 연구는 이항 로지스틱 회귀분석을 통해 수행되었으며, 연구결과, 운전경력 그룹에 관계없이 운전자 연령, 교통법규 위반 횟수 및 교통사고위치가 심각도에 영향을 미친다고 분석하였다.

박준태 등(2010)은 지방부 고령보행자의 사고 특성 분석 및 횡단사고의 모형을 개발하였다. 연구는 다중선형모형을 기반으로 수행되었으며, 연구결과, 차량의 속도가 고령보행자의 사고에 가장 영향력이 큰 변수로 분석되었다.

최재성 등(2009)은 순서형 로짓 모형을 통해 보행자 사고심각도 요인을 분석하였다. 그 결과, 연령, 차량, 성별, 날씨, 시간대 등의 설명변수가 보행자 사고심각도에 영향을 주는 것으로 분석되었다.

이수일 등(2008)은 판별모형을 이용하여 안개지역 교통사고 심각도모형을 개발하였다. 그 결과 안개지속시간, 시정거리, 주야간, 기상현상, 성별 변수가 교통사고 심각도에 영향을 주는 것으로 분석되었다.

박중선(2013)은 도시부 보행자 사고를 대상으로 이항 로지스틱 회귀분석을 수행하였고, 보행자 사고심각도에 미치는 요인을 분석하였다. 그 결과 보행자가 고령자 일수록, 보행자 행동유형이 보행 중, 횡단 중, 돌출행동 일수록, 사고발생 도로가 규모가 큰 도로 일수록 심각한 사고가 발생할 확률이 높은 것으로 분석하였다.

2.2. 국외연구

보행자 사고에 대한 국외문헌으로, Lee, C 등(2005)은 플로리다 지역 교차로 보행자의 사고심각도를 분석하였다. 저자들은 연구에서 보행자 과실과 운전자 과실 사고를 구분지어 로그 선형 모형을 개발하였고, 순서형 프로빗 모형을 통해 심각도를 분석하였다. 연구의 결과, 남성, 승용차, 도시지역, 신호교차로, 비우주, 저녁시간, 3차로의 조건에서 높은 사고심각도가 나타나는 것으로 분석하였다.

Gitelman, V. 등(2012)은 이스라엘 보행자의 사고 특성을 분석하고, 이를 개선하기 위한 방안에 대해 논의하였다. 저자들은 보행자와 차량의 상충지점 및 차량속도를 감소시키는 것이 안전성 향상에 도움을 줄 것으로 분석하였다.

Prato, C. G. 등(2012)은 이스라엘의 2003~2006년의 사망사고 603건을 사고 패턴에 따라 분석하여, 보행 사망사고의 5가지 고위험 그룹을 분류하였다.

Kim, K. 등(2008)은 4년간 발생한 하와이 보행자 사망사고의 심각도를 로지스틱 회귀모형을 통해 분석하였다. 연구의 결과로 사고의 위험도가 높은 그룹을 도출하였다. 한 예로 술에 취해 무단횡단을 하는 보행자는 사고 심각도 10배 이상 높아지는 것으로 분석되었다.

Pulugurtha, S. S 등(2011)은 교차로사고와 인구 및 토지이용 등 사회적 변수와의 관계를 도출하였다. 저자들은 분석 교차로부터의 영향범위를 다르게 설정하면서 모형을 구축하였고, 연구결과 인구, 1인 가구 수, 업무지역, 상업중심지, 보행교통량 등이 사고에 영향을 미치는 변수로 채택되었다.

Aziz, H. M. Abdul 등(2013)은 뉴욕의 보행자 사고 심각도를 임의 매개변수 로짓모형을 통해 분석하였다. 그 결과 도로특성(차선의 수, 등급, 빛의 상태, 노면

등), 교통특성(신호제어의 유무, 차량 등의 타입) 및 토지이용(주차 중 시설, 상업 및 산업용 토지이용 등)이 사고심각도에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

Table 1. Literature Reviews (models and variables)

Classification		Model	Variables
Accident severity model	Choi, J. S. (2009)	ordered logit	time, crash location, weather condition, speed, number of lane, gender, age etc.
	Choi, S. R. N. (2011)	binary logistic regression	driver's age, crash location, violation
	Cho, J. I. (2008)	structural equation model	gender, age, vehicle characteristics
	Park, J. S. (2013)	binary logistic regression	driver(gender, age, violation, vehicle type), pedestrian(gender, age, violation), environment(time, road types, crosswalk, separation of sidewalks and driveways, guard rail, speed hump)
Accident model	Park, J. T. (2010)	multivariate linear model	time, crash location, weather condition, speed, number of lane, gender, age etc.
	Kim, Karl (2008)	logistic regression	location, crosswalk, weather condition at time of accident, land use, time-of-day, day of week, month, county male, adult (26-64), senior (65 and up)
	Prato, C. G. (2012)	cluster analysis	season, day of the week, day/night, period of the day, type of day, cause of the accident, location of the accident, etc.
	Pulugurtha, S. S.	generalized linear model, negative binomial	demographic characteristics (population and household units), socioeconomic characteristics (mean income and total employment), land use characteristics, road network characteristics (the number of lanes, speed limit, presence of median, pedestrian and vehicular volume), accessibility to public transit systems
	Aziz, H.M. Abdul	random parameter logit models	road characteristics (e.g., number of lanes, grade, light condition, road surface, etc.), traffic attributes (e.g., presence of signal control, type of vehicle, etc.), land use (e.g., parking facilities, commercial and industrial land use, etc.)

2.3. 기존연구와의 차이점

기존연구와의 차이점은 Table 2에 나타나듯이 크게 사고관련 변수의 추가와 도로등급별 모형 개발로 다음과 같다. 첫째, 기존 국내 연구에서는 보행자 사고분석을 위해 도로 기하구조, 교통시설물만을 변수로 수집하여 분석하였지만, 이 연구에서는 보행교통량과 보행자 펜스 등 보행자와 관련한 변수를 추가수집하여 분석을 수행한다. 둘째, 기존연구는 보행자 및 운전자의 그룹에 초점을 맞추어 연구를 수행하였으나, 이 연구는 사고대

상지역에 초점을 두고 청주시의 주간선도로, 보조간선도로로 구분하여 도로의 기능별로 보행자 사고를 분석하였다는 점에서 기존문헌과 차이가 있다.

Table 2. Summary of Differences with Previous Studies

Classification	Variables	Analysis Target
Cho, J. I. (2008)	gender, age, vehicle characteristics	pedestrian accident (abbreviated injury scale data)
Choi, S. R. N. (2011)	driver's age, crash location, violation	novice drive
Choi, J. S. (2009)	time, crash location, weather condition, speed, number of lane, gender, age etc.	2006 pedestrian accident
Park, J. T. (2010)	time, crash location, weather condition, speed, number of lane, gender, age etc.	elderly pedestrian
Park, J. S. (2013)	driver(gender, age, violation, vehicle type), pedestrian (gender, age, violation), environment (time, road types, crosswalk, separation of sidewalks and driveways, guard rail, speed hump)	urban area
This Study	time, crash location, violation, speed, Vehicle type, gender, age etc. and Length of road, Pedestrian fence, Bicycle path, Bus stop	main and minor arterial roads

3. 분석의 틀 설정

3.1. 자료수집

이 연구에서는 도로교통공단의 교통사고 통계자료를 이용하고 있으며, 수집된 사고자료는 2007년부터 2011년까지 청주시에서 발생한 사고자료이다. 수집된 교통사고 자료 중 보행자 사고만을 추출한 다음, 원인이 불분명한 사고자료는 삭제하여 변수에서 제외한 후 분석을 수행한다.

또한 이 연구는 보행자 사고위치의 도로 등급에 초점을 맞추어 연구를 수행하기 때문에 수집된 자료를 도로 등급에 따라 주간선도로와 보조간선도로를 구분한다. 또한 교차로를 기준으로 주간선도로는 188개, 보조간선도로는 154개 구간으로 세분화하여 연구를 수행한다.

3.2. 변수선정

이 연구에서는 5년간 청주시 가로구간에서 발생한 보행자 사고 총 663건의 사고자료를 종속변수로 선정한다. 이 중 426건은 주간선도로에서 발생한 사고이며,

237건은 보조간선도로에서 발생한 사고이다.

수집된 사고건수를 주간선도로와 보조간선도로로 분류하고 종속변수 간의 차이를 가설검정을 통해 분석한다. 가설검정은 독립표본 t-검정으로 시행하였으며, 결과는 Table 3과 같다. 분석결과, 종속변수는 통계적으로 유의한 수준(신뢰수준 95%)에서 귀무가설(독립된 분포가 범주에서 같다)을 기각한다. 이에 주간선도로와 보조간선도로는 보행자 사고의 특성이 같다고 할 수 없다. 따라서 주간선도로와 보조간선도로를 구분하여 연구를 수행한다.

Table 3. Independent Samples t-test

Classification	Mann Whitney U	Wilcoxon W	Test statistic	Standard error	Standardized test statistic	Exact Sig. (2-side)
major arterial road-minor arterial road	45.500	136.500	45.500	19.473	-2.003	0.44

이 연구에서는 사고심각도분석을 위해 종속변수를 사고건수로 경상, 중상, 사망으로 분류하여 활용한다. 독립변수는 기존연구에서 고찰한 변수를 근거로 사고원인을 인적요인, 환경요인 및 법규위반 등으로 나누어 총 23개의 변수를 구축한다. 심각도모형에 사용한 변수는 Table 4와 같다.

포아송 및 음이항모형 개발을 위한 종속변수는 5년간의 사고자료 합을 사용한다. 독립변수는 기존연구에서 분석한 독립변수를 근거하여 교통량, 도로의 기하구조, 교통시설물 등 9개의 변수를 사용한다. 또한 기존연구에서 활용되지 않은 보행량, 보행자 펜스 등 보행자와 관련된 변수를 추가한다. 교통량 및 보행량은 시간당 조사치를 활용하고, 도로폭 및 평균차로 수, 횡단보도의 수 등은 구간 내 평균 및 개소자료를 사용한다. 또한 버스 정류장, 자전거 차로, 보행자 펜스 등의 자료는 터미 변수자료를 활용한다.

Table 4. Definition of Variables

	Variable	Definition	Mean
Dependent	Severity Y ₁	Minor injury=0, Serious injury=1, Fatal=2	0,744
	Time	Day time X ₁	Day time=1 (0)
Night time X ₂		Night time=1 (0)	0,471
Day	Mon, Fri, X ₃	Mun · Friday=1 (0)	0,301
	Tue, Wed, Thu, X ₄	Tue · Wed, Thu=1 (0)	0,429
	Weekend X ₅	Weekend=1 (0)	0,270

Traffic violation	Careless driving X ₆	Careless driving=1 (0)	0.721
	Failure to yield to pedestrian X ₇	Failure to yield to pedestrian=1(0)	0.117
	Traffic sign violation X ₈	Traffic sign violation=1 (0)	0.102
	Speeding X ₉	Speeding=1 (0)	0.017
	Etc. X ₁₀	Etc.=1 (0)	0.042
Vehicle type	Car X ₁₁	Car=1(0)	0.732
	Van X ₁₂	Van=1(0)	0.077
	Bicycle X ₁₃	Bicycle=1(0)	0.087
	Truck X ₁₄	Truck=1(0)	0.104
Driver gender	Male X ₁₅	Male=1 (0)	0.827
	Female X ₁₆	Female=1 (0)	0.173
Driver age	~29 X ₁₇	Under 29=1 (0)	0.217
	30~64 X ₁₈	30~64=1 (0)	0.735
	65~ X ₁₉	Over 65=1 (0)	0.048
Pedestrian gender	Male X ₁₉	Male=1 (0)	0.512
	Female X ₂₀	Female=1 (0)	0.488
Pedestrian age	~29 X ₂₁	Under 29=1 (0)	0.334
	30~64 X ₂₂	30~64=1 (0)	0.467
	65~ X ₂₃	Over 65=1 (0)	0.199

4. 사고심각도분석 및 모형개발

4.1. 사고심각도분석

보행자 사고의 심각도에 영향을 미치는 요인을 알아보기 위해 순서형 로짓 모형을 사용하여 사고심각도를 분석한다. 사고심각도는 주간선도로와 보조간선도로를 구분하여 각각의 사고심각도 모형을 개발하며, 모형의 개발에 앞서 기준변수를 구분하기 위해 각 요인별 최빈값을 확인한다. 각 요인별 기준변수로 최빈값을 활용하며, 심각도모형을 개발한 결과는 Table 5와 같다.

4.1.1. 주간선도로

주간선도로의 경우 주간, 화·수·목요일, 과속, 승용차, 30~64세의 남성 운전자, 65세 이상의 남성 보행자의 경우 사고심각도가 높아지는 것으로 분석된다. 이외의 변수는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되거나, 사고심각도에 미치는 영향이 다소 적은 것으로 분석되었다.

4.1.2. 보조간선도로

보조간선도로의 경우 주간, 화·수·목요일, 과속, 승합차, 65세 이상의 남성 보행자의 경우 사고심각도가 높아

지는 것으로 분석되며, 운전자 요인은 유의확률이 0.05 이상으로 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석된다.

Table 5. Analysis of Pedestrian Accident Severity

Classification	Major Arterial Road		Minor Arterial Road		
	odd ratio	p-value	odd ratio	p-value	
Time	Day	Reference			
	Night	0.935	0.000	0.512	0.010
Day	Mon. · Fri.	0.545	0.003	0.508	0.021
	Tue. · Wed. · Thu.	Reference			
	Weekend	0.928	0.000	-	-
Traffic violation	Careless driving	Reference			
	Failure to yield to pedestrian	0.882	0.015	0.675	0.017
	Traffic sign violation	0.678	0.015	-	-
	Speeding	4.699	0.000	2.526	0.012
	Etc	-	-	-	-
Vehicle type	Car	Reference			
	Van	-	-	1.438	0.008
	Bicycle	0.696	0.039	0.855	0.030
	Truck	-	-	0.729	0.045
Driver gender	Male	Reference			
	Female	0.715	0.002	-	-
Driver age	Under 29	0.766	0.000	-	-
	30~64	Reference			
	Over 65	-	-	-	-
Pedestrian gender	Male	Reference			
	Female	0.941	0.000	0.760	0.000
Pedestrian age	Under 29	0.344	0.044	-	-
	30~64	Reference			
	Over 65	1.710	0.000	2.004	0.000

4.1.3. 소결

주간선도로와 보조간선도로의 사고심각도 분석결과, 차종을 제외하고 심각도가 높아지는 요인이 동일한 것으로 분석된다. 두 가로구간에서 공통적으로 채택된 변수는 주간, 화·수·목요일, 과속, 65세 이상의 남성 보행자이며, 인적요인의 경우 남성이 사고심각도가 높은 것으로 분석된다. 하지만 보조간선도로에서는 운전자요인이 변수로 채택되지 않았으며, 주간선도로에서는 승합차와 화물차가 채택되지 못해 향후 이를 고려한 자료의 추가수집이 필요할 것으로 판단된다.

4.2. 사고모형 개발

사고심각도분석에 이어, 보행자 사고발생건수에 영향

을 미치는 환경적 요인을 분석하기 위해 포아송 및 음이항모형을 사용하여 사고모형을 개발한다. 사고모형의 개발에 앞서 선정된 변수들의 다중공선성 검정을 실시하여 변수 간의 다중공선성 문제를 확인한다.

4.2.1. 변수설정

청주시 가로구간에서 발생한 사고의 예측모형을 개발하기 위해 11의 독립변수와 1개의 종속변수를 선정하였다. 설정된 변수는 교통량, 도로의 기하구조, 교통시설물로 구성되어 있으며, 변수의 정의는 Table 6과 같다.

Table 6. Definition of Variables

Variable	Definition	Unit
Y_1	Accident data(5 years)	Number
X_1	Traffic volume	Veh./h
X_2	Pedestrian volume	Ped./h
X_3	Width of road	Meter
X_4	Average of lanes	Number
X_5	Width of sidewalk	Meter
X_6	Number of entry/exit	Number
X_7	Number of crosswalk	Number
X_8	Length of road	Meter
X_9	Bicycle path	Existence
X_{10}	Bus stop	Existence
X_{11}	Pedestrian fence	Existence

4.2.2. 다중공선성 검정

다중공선성이란 회귀분석에서 독립변수 간에 자기상관이 높은 변수가 포함되어 있을 때 회귀계수의 추정치를 신뢰할 수 없게 되는 현상을 의미한다. 이러한 경우 잘못된 결론을 도출하게 되는 오류가 발생하게 되므로,

Table 7. Test of Multicollinearity

Variable	Tolerance	VIF
Y_1	0.840	1.191
X_1	0.809	1.237
X_2	0.220	4.537
X_3	0.193	5.183
X_4	0.741	1.350
X_5	0.609	1.641
X_6	0.644	1.553
X_7	0.857	1.167
X_8	0.834	1.199
X_9	0.934	1.071
X_{10}	0.931	1.074

다중공선성의 문제를 확인하기 위해 SPSS 17.0을 이용하여 VIF(variation inflation factor)값을 분석하고, 이 문제를 판단한다.

일반적으로 VIF값이 10 이상일 경우, 그 변수들 간에는 다중공선성이 있다고 해석한다. VIF값의 분석결과는 Table 7과 같으며, 다중공선성 검정결과 VIF가 6미만으로 선정된 변수를 모형에 사용하기에 무리가 없다고 판단된다.

4.2.3. 주간선도로 모형 개발

주간선도로의 경우 교통량이 많을수록, 보행교통량이 많을수록, 도로폭이 넓을수록, 차량진·출입로수가 많을수록 보행자 사고가 발생할 확률이 높은 것으로 분석된다. 이 변수들 모두 p-value가 0.05 미만으로 통계적으로 유의한 것으로 분석되며, 과분산계수의 t값이 4.672로 1.96을 초과하여, 포아송모형 보다는 음이항모형이 주간선도로의 보행자 사고를 분석하는데 더 적합한 모형인 것으로 판단된다. 음이항모형의 우도비(ρ^2)는 0.174로 포아송모형의 0.285에 비해 다소 낮게 분석된다. 또한 일반적인 음이항모형의 우도비(0.2~0.4)에 비해 다소 낮게 나타난다. 이는 연구에서 활용한 사고자료가 구간의 수에 비해 다소 적게 수집되고, 보행자의 인적 사항이 수집되지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 이는 향후 사고자료를 추가습득을 통해 보완되어야 할 것으로 판단된다.

Table 8. Count Data Model (major arterial road)

Variable		Poisson	N. Binomial
Constant	Coeff.	-2.473	-2.814
	t-ratio	-6.177	-4.045
	p-value	0.000	0.000
X_1	Coeff.	0.001	0.001
	t-ratio	4.944	2.309
	p-value	0.000	0.021
X_2	Coeff.	0.003	0.004
	t-ratio	9.811	4.438
	p-value	0.000	0.000
X_3	Coeff.	0.055	0.066
	t-ratio	3.488	2.340
	p-value	0.001	0.019
X_6	Coeff.	0.216	0.247
	t-ratio	13.404	6.185
	p-value	0.000	0.000
ρ^2		0.285	0.174
Alpha(α)		-	1.023(4.672)

4.2.4. 보조간선도로 모형 개발

보조간선도로의 경우 주간선도로에 비해 채택된 변수의 개수가 적다. 채택된 변수는 총 2개로 보행교통량과 차량진·출입로개수이다. 두 변수의 계수는 모두 양수 (+)로, 보행자 사고에 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타난다. 이는 보행교통량이 많을수록, 차량진·출입로 개수가 많을수록 보행자사고가 발생할 확률이 높아진다고 해석된다. 채택된 변수들은 모두 p-value가 0.05 미만으로 통계적으로 유의하며, 과분산계수의 t값이 3.693으로, 포아송모형보다는 음이항모형이 보조간선도로의 보행자 사고를 분석하는데 더 적합한 모형인 것으로 판단된다. 음이항모형의 우도비(ρ^2)는 0.189로 포아송모형의 0.243에 비해 다소 낮게 분석된다.

Table 9. Count Data Model (minor arterial road)

Variable		Poisson	N. Binomial
X_2	Coeff.	0.010	0.009
	t-ratio	6.539	2.417
	p-value	0.000	0.016
X_6	Coeff.	0.137	0.130
	t-ratio	8.366	3.377
	p-value	0.000	0.001
ρ^2		0.243	0.189
Alpha(α)		-	0.895(3.693)

4.2.5. 모형의 검정 및 논의

사고모형을 개발한 후 개발된 모형의 적합여부를 판단하기 위해 검정과정을 실시한다. 이 연구에서 사용한 검정방법은 RMSE, MAD, Theil 부등계수이다.

MAD(mean absolute deviation)란 평균절대편차로, 각 변량과 산술평균치와의 편차 절대값을 산술평균한 값으로 그 값이 0에 가까울수록 정확도가 높은 것으로 판단한다.

RMSE(root mean square error)란 실험이나 관측에서 나타나는 오차의 제곱을 평균한 값의 제곱근을 의미하며, 0에 가까울수록 모형의 정확도가 높은 것으로 판단한다.

Theil 부등계수는 RMSE를 활용하여 구해지며, 이 또한 0에 가까울수록 모형의 정확도가 높은 것으로 판단한다.

두 사고예측모형의 검정 결과는 Table 10과 같이 분석되어, 두 모형 모두 적합한 모형인 것으로 판단되었다.

Table 10. Fitness of developed models

Classification	RMSE	MAD	Theil
Major Arterial Road	1.948	1.132	0.269
Minor Arterial Road	1.251	1.048	0.279

두 사고모형 개발결과 공통변수로 보행교통량과 차량진·출입로개수, 특정변수로 교통량과 도로폭이 채택된다. 채택된 변수들은 모두 보행자 사고와 양의 상관관계를 가지는 것으로 분석되어, 교통량, 보행교통량, 도로폭, 차량진·출입로개수가 청주시 가로구간의 보행자 사고발생에 영향을 주는 것으로 분석되었다. 채택된 변수 중에서 보행자 사고발생에 가장 큰 영향을 주는 변수로는 차량진·출입로개수(X_6)가 주간선도로 0.247, 보조간선도로 0.130의 계수값을 나타내어, 보행도로상 차량의 진·출입이 보행자에게 가장 위험한 기하구조인 것으로 확인된다.

5. 결론

이 연구는 청주시의 보행자 사고의 심각도분석 및 사고모형을 개발하였으며, 연구의 주요결과는 다음과 같다.

첫째, 순서형 로짓모형을 이용하여 사고심각도를 분석한 결과 두 구간에서 동일한 변수는 주간, 화·수·목요일, 과속, 65세 이상의 남성 보행자이며, 이 변수에서 보행자의 사고심각도가 높아지는 것으로 분석되었다.

둘째, 주간선도로와 보조간선도로 구분하여 포아송 및 음이항모형을 개발하였으며, 두 도로유형에서 모두 음이항모형이 적합한 것으로 평가되었다.

셋째, 두 도로유형 모두 보행교통량과 차량진·출입로 개수가 많을수록 보행자사고가 발생할 확률이 높은 것으로 분석되며, 주간선도로에서는 교통량과 도로폭도 보행자 사고 증가에 영향을 주는 것으로 분석된다.

마지막으로, 교통량과 보행교통량이 많고 도로 폭이 넓은 주간선도로의 경우 보행자와 자동차의 물리적 분리를 위한 보행자 난간 설치나 무단횡단 방지 울타리, 중앙분리대 대기공간을 포함하는 횡단보도의 설치가 효과적일 것으로 판단된다. 아울러 차량진·출입로가 주간선도로에 비해 상대적으로 많은 보조간선도로의 경우, 과속방지턱 설치, 보행자우선구역 지정 등의 개선방안이 효과가 있을 것으로 기대된다.

이 연구의 향후 과제로는 변수를 보다 구체적으로 분류 및 확보하여 분석의 질을 높여야 하며, 보다 많은 사

고자료를 구축하여 분석을 수행하여 모형의 설명력을 높일 필요가 있다. 또한 구축된 모형의 적용구간을 정하고 실제 사고와의 비교·분석을 통해 모형을 검증하는 등 모형의 적합도를 제고하는 노력이 필요하다고 판단된다. 이 연구는 향후 청주시의 보행자 안전대책에 기초 자료로 활용될 수 있을 것이라 기대된다.

References

- Aziz, H. M. A. Ukkusuri, S V., Hasan, S. 2013. Exploring the Determinants of Pedestrian-Vehicle Crash Severity in New York City, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 50, 1298-1309.
- Cho, J. I., 2008. Analysis of Factors Affecting Pedestrian Injury Severity, Hanyang University Thesis for Master's Degree.
- Choi, J. S., Kim, S. Y., Hwang, K. S., Baik, S. Y., 2009. Severity Analysis of the Pedestrian Crash Patterns Based on the Ordered Logit Model, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 11, No. 1, 153-164.
- Choi, S. R. N., Park, J. H., Oh, C., 2011. Factors Affecting Injury Severity in Pedestrian-Vehicle Crash by Novice Driver, *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 29, No. 4, 43-51.
- Gitelman, V., Balasha, D., Carmel, R., Hendel, L., Pesahov, F., 2010. Characterization of pedestrian accidents and an examination of infrastructure measures to improve pedestrian safety in Israel, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 44, Issue. 1, 63-73.
- Han, S. S., Park, B. H., 2011. Comparative Analysis of Traffic Accident Severity Based on the Ordered Logit Model in the Case of Cheongju, *Journal of Korea Planners Association*, Vol. 46, No. 2, 183-192.
- Keall, M. D., Newstead, S., 2011. Analysis of factor that increase motorcycle rider risk compared to car driver risk, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 49, 23-29.
- Kim, K., Brunner, I. M., Yamashita, E., 2008. Modeling fault among accident?Involved pedestrians and motorists in Hawaii, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 40, Issue 6, 2043-2049.
- Kim, J. S., Kim, T. Y., Kim, K. H., Park, B. H., 2011. Developing the Traffic Accident Models by the Function of Arterial Link Sections in the Case of Cheongju, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 13, No. 1, 49-57.
- Kockelman, K. M., Kweon, Y. J., 2002. Driver injury severity: an application of ordered probit models, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 34, Issue. 3, 313-321.
- Lee, C., Abdel-Aty, M., 2005. Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crasher at intersections in Florida, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 37, Issue. 4, 775-786.
- Lee, H. R., Kum, K. J., Son, S. N., 2011. A study on the factor analysis by grade for highway traffic accident, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 13, No. 3, 157-165.
- Lee, S. I., Won, J. M., Ha, O. K., 2008, A Study on the Development of a Traffic Accident Ratio Model in Foggy Areas, *Journal of Korea Society of Safety*, Vol. 23, No. 6, 171-177.
- Oh, J. T., Seong, N. M., Ha, O. K., 2005. Development of Accident Prediction Models for Rural Signalized Intersections, *Journal of Korean Society of Civil Engineering*, Vol. 25, No. 1, 9-15.
- Park, J. S., 2013. A Study On the Factors Affecting the Severity of Pedestrian Accidents in Urban Area, University of Seoul Thesis for Master's Degree.
- Park, J. T., Choi, B. B., Lee, S. B., 2010. A Study on the Characteristics of Traffic Accidents for the Elderly Pedestrians on Rural Highways, *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 28, No. 5, 155-162.
- Pratoa, C. G., Gitelmanb, V., Bekhorc, S., 2012. Mapping patterns of pedestrian fatal accidents in Israel, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 44, 56-62.
- Pulugurtha, S. S., Sambhara V. R., 2011. Pedestrian crash estimation models for signalized intersections, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 43, Issue 1, 439-446.
- Traffic Accident Analysis System, Road Traffic Authority(TAAS).
- Yoo, D. S., Oh, S. J., Kim, T. Y., Park, B. H., 2008. Comparative Analysis on the Characteristics and Models of Traffic Accidents by Day and Nighttime in the Case of Cheongju 4-legged Signalized Intersections, *Journal of Korean Society of Civil Engineering*, Vol. 28, No. 2, 181-189.