

고령 운전자의 회전교차로 사고 모형 개발*

Developing the Roundabout Accident Models of Elderly Drivers

백태헌** · 박병호***

Beak, Tae Hun · Park, Byung Ho

Abstract

This study deals with the traffic accident of roundabout. The purpose is to develop the roundabout accident models of elderly drivers. In pursuing the above, this study gives particular emphasis to analyzing various factors that influence traffic accident of roundabout, and developing and comparing the models of elderly and all driver. The main results are as follows. First, roundabout accident models of elderly and all drivers which were all statistically significant were developed. Second, the common variables that affects to the accident are adopted to be traffic volume and number of approaches. And the specific variables that affects to the elderly drivers' accident are adopted to be area of intersection and number of painted splitter island. Finally, the main factors of elderly drivers accidents were analyzed to be factors associated with conflicts which occurred in roundabouts apart from those of all drivers.

키 워 드 · 회전교차로, 모형 개발, 교통사고, 고령 운전자, 가산자료 모형

Keywords · Roundabout, Model Development, Traffic Accident, Elderly Driver, Count Data Model

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 2000년 고령화 사회(고령인구 비율이 7% 이상)에 접어들었으며, 빠르게 초고령 사회(고령인구 비율이 20%이상)로 진입하고 있다. 이에 따라 고령 운전자의 비율도 매년 증가하고 있다.

이처럼 고령 운전자의 비율이 높아지면서 고령 운전자의 교통사고도 빠르게 증가하는 추세이다. 최근 5년간 발생한 교통사고 추이를 살펴보면, 전체 교통사고는 2009년 231,990건에서 2013년 215,354

건으로 7.7% 감소한 반면, 동기간 동안 65세 이상 고령 운전자의 교통사고는 11,998건에서 17,590건으로 31.8% 증가하였다(도로교통공단, 2014). 부상자수도 전체 교통사고의 경우 2009년 361,875명에서 2013년 328,711명으로 10.1% 감소하였지만, 고령 운전자의 경우 동기간 동안 17,814명에서 25,734명으로 30.8% 증가한 것으로 보고되었다(도로교통공단, 2014).

고령 운전자는 일반적으로 인지 능력, 운동 능력, 시력 등의 신체 능력이 일반 운전자에 비해 떨어지기 때문에 일반 운전자와 다른 교통사고 특성을 나타낼 것으로 예상된다. 이에 고령 운전자의 교통사

* 이 연구는 대한국토·도시계획학회 2013 추계학술대회에서 발표한 연구를 수정·보완하여 작성하였음

** Chungbuk National University(simsimback@naver.com)

*** Chungbuk National University(Corresponding author : bhpark@chungbuk.ac.kr)

고에 대한 많은 연구가 이루어질 필요가 있다고 판단된다.

한편, 2013년 교차로에서 발생한 교통사고는 95,816건으로 나타나, 전체 교통사고(215,354건)의 약 44.5%를 차지한다(도로교통공단, 2014). 정부는 이런 교차로 교통사고를 줄이기 위한 방안으로 회전교차로의 도입을 장려하고 있다. 회전교차로는 ‘교통운영체계 선진화 방안’(국가경쟁력강화위원회, 2009) 발표 이후 전국적으로 매년 90여개 이상이 설치되고 있다.

회전교차로는 진입 차량이 회전 차량의 운영에 방해가 되지 않도록 양보하며, 회전 차량 사이의 수락간격을 이용하여 진입하는 것을 원칙으로 한다. 이런 이유로 회전을 위한 차로 결정이나 속도 추정 능력이 떨어지는 고령 운전자의 경우, 회전교차로에서 일반 운전자와 다른 사고 특성을 나타낼 가능성을 내포하고 있다. 또한 회전교차로는 연속적인 흐름으로 운영되는 교차로이기 때문에 가로구간과 교차로의 특성이 혼재한다. 이런 이유로 일반적인 교차로나 가로구간과 사고 원인 및 특성에서 차이점이 존재한다. 하지만 고령 운전자의 회전교차로 사고에 대한 국내 연구는 부족한 실정이다.

이에 이 연구의 목적은 교통사고 모형 개발을 통해 회전교차로에서 발생한 고령 운전자의 교통사고를 분석하는데 있다.

2. 연구 범위 및 수행과정

이 연구는 고령 운전자의 회전교차로 사고를 분석하는 연구로, 국내 회전교차로 중 2007년 이전에 건설된 회전교차로 41개소를 대상으로 한다. 또한 고령 운전자의 사고를 분석하기 위해, 대상 회전교차로에서 발생한 교통사고를 고령 운전자(65세 이상)와 전체 운전자로 분류하였다. 연구에 사용한 교

통사고 자료는 교통사고분석시스템(도로교통공단)을 통해 수집하였으며, 사고 자료 수집기간은 2007~2013년의 7개년도이다. 연구의 수행과정은 그림 1과 같다.

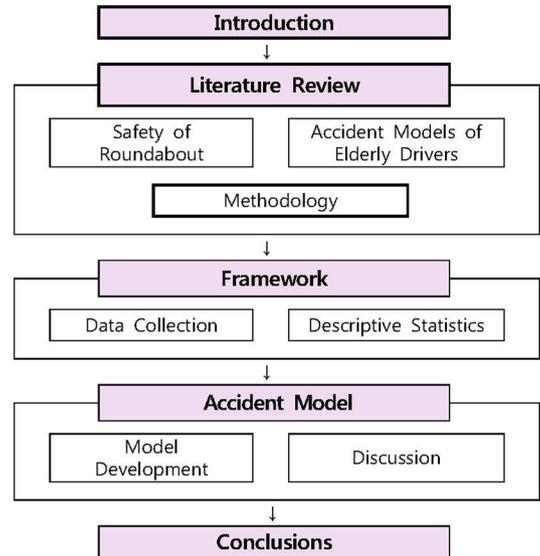


그림 1. 연구의 흐름도
Fig. 1. Flowchart of study

첫째, 국내·외의 선행연구를 검토하여 고령 운전자 연구, 회전교차로 교통사고 및 교통사고 분석방법론을 검토한다. 둘째, 회전교차로 41개소의 2007~2013년의 사고 자료를 구축하고, 사고와 관련성이 있는 독립변수를 선정한다. 셋째, 고령 운전자의 회전교차로 사고모형을 개발한다. 넷째, 모형 개발을 토대로 고령 운전자의 사고 요인을 분석한다. 마지막으로 연구결과를 정리하고, 향후 과제를 제시한다.

II. 기존연구 고찰

1. 회전교차로 안전성 관련연구

회전교차로 안전성과 관련된 국내 연구는 시뮬레이션 분석을 통한 효과 분석, 사고모형 개발을 통한 사고요인 분석 등이 수행되었으나, 고령 운전자를 대상으로 한 연구는 미흡한 실정이다.

한수산 등(2011)은 2007~2009년의 3개년동안 국내 원형교차로 20개소에서 발생한 사고를 차량유형별로 구분하고, 사고모형을 개발하였다. 연구의 결과, 승용차 교통사고는 교통량, 중앙교통섬 직경, 조명시설 및 진출차로 수가, 화물 및 승합차 교통사고는 내접원 직경과 분리교통섬 수가, 원동기는 내접원 직경, 분리교통섬 수, 진입차로 수 및 횡단거리가 사고에 영향을 미치는 변수로 분석되었다.

김경환 등(2012a)은 82개소의 도시부 원형교차로를 운영 유형에 따라 분류하고, 3개년(2007~2009)간 사고를 대상으로 모형을 개발하였다. 또한 회전교차로에서는 접근로별 평균 차로 수, 접근로별 분리교통섬 수, 접근로별 감속시설 수 및 주차시설 유/무가, 로터리에서는 교통량, 중차량비 및 접근로별 최대 차로 수가 사고와 관련성이 있는 것으로 판단하였다.

김경환 등(2012b)은 39개 회전교차로에서 발생한 3개년(2007~2009)간 사고를 운전유형(직진, 차선변경, 기타)에 따라 구분하고, 각각의 사고모형을 구축하였다. 저자들은 사고와 관련성이 있는 독립변수로 ADT, 상충비, 중차량 비율, 회전차로 폭, 회전차로 수, 접근로 차로 폭, 접근로 평균 차로 수, 주차시설 유/무 및 정류장 유/무를 채택하였다.

나희 등(2012b)은 로터리 19개소에서 3개년(2007~2009)간 발생한 173건의 사고를 사고발생 위치별로 나누어 모형을 개발하였다. 저자들은 사고에 영향을 미치는 공통변수로 교통량을 선정하였으며, 채택된 변수 중 진입차로 수, 회전차로 수, 진출입구 및 상충횡수를 사고와 양의 상관관계에 있는 것으로 분석하였고, 과속방지턱 수 및 분리교통섬 수 등이 사고와 음의 상관관계에 있는 것으로

분석하였다.

박병호 등(2012b)은 국내 원형교차로 20개소에서 3개년(2007~2009)동안 발생한 173건의 교통사고를 기상상태별로 맑음과 기타로 구분하여 각각의 사고모형을 개발하였다. 저자들은 맑음에서는 교통량과 우회전별도차로가 사고와 관련이 있고, 기타에서는 회전차로 폭, 진출입구 수 및 횡단보도 수가 사고와 관련이 있는 것으로 분석하였다.

박민규 등(2013)은 17개 로터리의 2007년~2009년간의 사고 자료를 통해 연령대별 사고 모형을 개발하였다. 저자들은 연구에서 연령대를 30대 미만, 30~49세 및 50세 이상으로 구분하였으며, 각각의 모형을 개발하였다. 연구의 결과, 30세 미만에서는 회전차로 폭, 50세 이상에서는 진입차로 수가 사고와 영관성이 큰 것으로 분석되었다.

국외 연구에서는 고령 운전자의 특성 분석 및 안전성 증진 방안에 대한 연구가 수행되었다. Lord 등(2007)은 회전교차로에서 안전에 취약한 고령 운전자의 부상을 감소시키기 위한 방안에 대해 논의하였다. 저자들은 미국 텍사스 지역의 31명의 고령 운전자를 대상으로 인터뷰 조사를 토대로 고령 운전자의 안전성 증진을 위한 사전 경고 표지, 회전교차로 차로 제어 표지, 방향 안내 표지, 양보 및 진출 표지의 효율적인 설치방안을 제안하였다.

Tollazzi 등(2010)은 인구 규모가 서로 다른 슬로베니아 세 개 마을의 고령 운전자를 대상으로 설문조사를 수행하였으며, 이를 토대로 교차로 유형에 따른 안전성을 조사·분석하였다. 저자들은 연구의 결과로, 1차로 회전교차로는 동일한 크기의 신호 교차로에 비해 안전하다고 느낀 반면, 2차로 회전교차로는 동일 크기의 신호 교차로에 비해 안전하지 않다고 느낀다고 밝혔다. 또한 교차로에 대한 적응과 안전성에 대한 평가는 도시 규모에 따라 차이가 발생한다고 분석하였다. 그리고 고령 운전자의 안전성 증진을 위해서는 명확하게 교차로 운영 규

칙을 인지시키고, 판단을 내릴 수 있는 충분한 시간이 필요하다고 판단하였다.

2. 고령 운전자 교통사고 관련연구

우리나라가 고령화 사회에 접어들면서, 고령 운전자에 대한 연구는 지속적으로 이루어져 왔다. 많은 연구에서 고령 운전자의 운전 특성과 사고 요인에 대해 분석을 시도하였으나, 회전교차로에서 고령 운전자 사고 요인에 대한 연구는 부족한 실정이다.

김상욱 등(2009)은 2005~2007년의 전국 사고 통계자료를 이용해 고령 운전자가 취약한 도로형태 및 취약정도를 분석하였고, 미국 FHWA 지침 등의 해외사례를 고찰하여 고령 운전자 사고 개선방안을 제시하였다. 비고령 운전자와 비교했을 때 고령 운전자가 취약한 도로형태는 교차로와 곡선 구간으로 나타났으며, 이곳에서 차대차 사고의 비율이 높은 것으로 분석되었다. 이에 따라 저자들은 해외사례를 검토하여 도로형태별 개선방안을 제시하였다.

박병호 등(2009)은 2007년도 청주시 4지 신호교차로에서 발생한 교통사고자료를 기반으로 고령 운전자와 일반운전자간 교통특성을 비교분석하고, 음이항 사고모형을 개발하였다. 이 연구에서는 고령 운전자와 일반 운전자간 교통사고 특성의 차이점으로 시간대 및 사고유형을 제시하였다. 또한 공통변수로 교통량과 우회전 전용차로가 채택되었다.

신승균 등(2010)은 1992~2008년까지 전국에서 발생한 고령 운전자의 교통사고통계를 분석하였고, 고령 운전자 교통사고 예방대책을 제시하였다. 저자들은 고령 운전자는 다른 연령층과는 달리 신체능력의 저하, 인지 및 정보처리 능력의 저하, 운전 심리 저하 등의 특성을 보인다고 밝혔다. 또한 고령 운전자 사고예방을 위해 고령운전자 보호표시 부착의 의무화, 운전면허 갱신 시기의 단축, 고령운전자에 적합한 재교육 시도, 안전교육 강화 및 교육방

안 개발 등이 필요하다고 밝혔다.

임삼진 등(2012)은 고령 운전자의 행동특성을 측정할 수 있는 운전자 적성검사(2009년 7월~2010년 실시) 자료와 해당 검사자의 교통사고 자료를 결합하여 교통사고분석모형을 개발하였다. 저자들은 연구에서 운전적성검사자료와 사고 자료의 매칭을 통해 개인별 사고기록과 운전성향을 파악하였다. 또한 고령 운전자 사고발생에는 속도예측, 주의전환 및 인지능력이 영향을 미친다고 밝혔다.

양석정(2014)은 전라북도 14개 시·군에서 2009년부터 2011년까지 3개년간 발생한 고령 운전자 교통사고의 발생요인 및 사고 심각도를 분석하였다. 분석결과 시의 경우 야간, 음주여부, 도로 포장률이 사고에 영향을 미치는 관련변수로, 군의 경우 습윤상태, 도로 포장률이 사고에 영향을 미치는 관련변수로 채택되었다. 또한 사고 심각도 분석결과 공통적으로 사고유형, 노면상태, 도로형태, 도로선형 및 음주여부가 채택되었다.

Oxley 등(2006)은 오스트랄라시아의 4개 지역(테즈메이니아, 뉴질랜드, 빅토리아 및 퀸즐랜드)에서 1994~1998년 사이에 발생한 고령 운전자의 교차로 교통사고를 토대로 사고와 관련성이 높은 기하구조를 도출하고, 이를 통해 안전성 확보 방안을 논의하였다. 저자들은 연구의 결과로, 속도 및 복잡한 교통 흐름을 제어할 수 있는 방안과 넓은 시거를 필요로 하는 요소를 줄이는 방안이 고령 운전자의 안전성 확보에 도움이 된다고 밝혔다.

Braitman 등(2007)은 미국 코네티컷에서 2003년 8월에서 2004년 10월 사이에 발생한 교차로 교통사고를 대상으로 사고 원인을 분석하였다. 저자들은 분석을 위해, 고령 운전자를 2개의 그룹(70대 및 80세 이상)으로 분류하였으며, 비교대상 그룹으로 35~54세의 연령 그룹을 선정하였다. 연구 결과, 연령이 증가함에 따라 양보하지 않아서 발생하는 사고의 비율이 증가하는 것으로 분석하였다. 또한 이

러한 사고의 감소 방안으로 보호 좌회전 차로 및 회전교차로의 도입을 제안하였다.

3. 연구의 차별성

이 연구는 회전교차로에서 발생한 고령 운전자의 교통사고를 분석하는 연구로 기존연구와의 차별성은 다음과 같다.

표 1. 기존연구와의 차별성
Table 1. Differences from previous studies

구분 Classification	자료수집기간 Period of data collection	연구 내용 Study contents
한수산 등 Han S. S. et. al. (2011)	2007~2009 (3 years)	차량 유형 vehicle type
김경환 등 Kim, K. H. et. al. (2012b)	2007~2009 (3 years)	운전 유형 driving types
김경환 등 Kim, K. H. et. al. (2012a)	2007~2009 (3 years)	운영 유형 operational types
나희 등 Na, H. et. al. (2012b)	2007~2009 (3 years)	사고 발생 위치 accident occurrence location
박병호 등 Park, B. H. et. al. (2012a)	2007~2009 (3 years)	사고 심각도 accident severity
박병호 등 Park, B. H. et. al. (2012b)	2007~2009 (3 years)	기상 상태 weather condition
박민규 등 Park, M. K. et. al. (2013)	2007~2009 (3 years)	연령대별 age group (-30, 30-49, 50+)
이 연구 This study	2007~2013 (7 years)	고령 운전자 elderly driver

첫째, 기존의 국내 회전교차로 연구는 표 1에 나타나듯이 운전유형이나 사고원인 및 기상 조건 등으로 종속변수를 분류하였지만, 이 연구에서는 기존

에 다루어지지 않은 회전교차로에서 발생한 고령 운전자의 사고를 종속변수로 하는 교통사고 모형을 개발하였다.

둘째, 기존의 회전교차로 연구는 표 1에 나타나듯이 주로 3개년도의 자료를 이용하여 분석되었지만, 이 연구에서는 2007~2013년도의 7개년의 자료를 사용하여 분석을 시도한 점에 차별성이 있다.

마지막으로 이 연구는 회전교차로 전체 운전자의 사고 모형을 개발하고, 고령 운전자 사고 모형과 비교하여 사고원인의 차이에 대해 고찰한 점에 차별성이 있다.

III. 분석의 틀 설정

1. 자료 수집 및 분류

이 연구는 고령 운전자의 회전교차로 사고 요인을 모형 개발 및 고찰을 통해 분석하고자 한 연구이다. 이에 모형 개발에 앞서 회전교차로 사고 자료를 수집하였다. 사고 자료는 도로교통공단의 교통사고분석시스템을 활용하여 2007~2013년의 7개년도의 자료를 수집·분류하였다.

국내 고령 인구의 정의는 표 2와 같이 관련법에 따라 다르게 표현되고 있다. 이 연구는 교통사고를 대상으로 하고 있어, 도로교통법의 기준인 65세 이상의 인구를 고령 운전자로 분류하였다. 이는 다른 기준에 비해 고령 운전자의 특징이 더욱 명확하게 나타나는 기준이라 판단되며, 이는 장래인구추계 및 노인복지법 등의 정의와 일치한다.

교차로 기하구조 자료는 도면과 항공사진을 통해 수집하였다. 또한 교통량 및 교차로 운영 자료는 동영상 촬영을 통해 수집하였다. 마지막으로 현장조사를 통해 수집된 자료를 확인하고, 부족한 자료를 추가 조사하였다.

표 2. 국내 고령자 기준
Table 2. Domestic standard of elderly person

구분 Classification		고령 기준 Standard of elderly person
법 률 Law	고용상연령차별금지및고령자고용촉진에관한법률 act on prohibition of age discrimination in employment and elderly employment promotion	55세 이상 more than 55 years old
	국민연금법 national pension act	60세 이상 more than 60 years old
	노인복지법 welfare of the aged act	65세 이상 more than 65 years old
	도로교통법 road traffic act	65세 이상 more than 65 years old
조 사 Survey	인구주택총조사보고서 population and housing census report	60세 이상 more than 60 years old
	수도권 가구통행실태조사 household travel survey	65세 이상 more than 65 years old

자료 : 정연식, 오세창, 채찬들, 2011, 고령 운전자 교통사고 감소방안, pp. 4-5

Source : Chung, Y-S., Oh, S-C. and Chae, C-D., 2011. "A Study on Transportation Safety to Reduce Traffic Accident of Elderly Drivers", pp. 4-5.

2. 분석방법론 선정

일반적으로 교통사고 모형은 사고건수 자료를 기반으로 구축된다. 이러한 사고건수 자료는 가산자료(셀 수 있는 자료)로 구축되기 때문에 포아송 회귀 모형이 주로 활용된다. 포아송 회귀모형은 일반적으로 평균과 분산이 같다는 가정이 전제되나, 실제 교통사고 자료는 분산이 평균보다 큰 과분산의 문제가 빈번히 발생한다. 이런 경우 과분산 가정을 전제한 음이항 회귀모형을 사용한다(박길수, 2011, p.18). 또한 고령 운전자의 교통사고와 같이 매우

드물게 발생하여 관측지점에 0건의 사고가 많이 속한 경우, 포아송 및 음이항 모형의 확장 형태인 ZIP(zero-inflated Poisson)과 ZINB(zero-inflated negative binomial) 모형을 활용한다(나희, 2012a, p.104). 이러한 모형의 판단기준은 과분산 계수 α 의 t 통계값 및 Vuong 통계값을 활용한다. 모형 선택의 기준이 되는 결정계수의 범위는 표 3과 같다. 또한 포아송 및 음이항 모형의 경우 우도비는 0.2~0.4 사이의 값을 나타내면 설명력이 있다고 판단한다(박길수, 2011, p.26).

표 3. 모형의 결정계수

Table 3. Coefficient of determination of models

Classification		t statistic of the NB overdispersion parameter α	
		< 1.96	> 1.96
Vuong statistic for ZINB and NB comparison	< -1.96	ZIP or Poisson	NB
	> 1.96	ZIP	ZINB

Source : S. P. Washington, M. G. Karlaftis and F. L. Mannering, 2003. "Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis", pp. 250-254.

3. 변수 선정

모형의 개발을 위해 선정한 종속변수는 고령 운전자 및 비교·분석을 위한 전체 운전자의 사고건수이다. 독립변수는 기존 문헌 고찰을 통해 사고와 관련성이 높을 것으로 판단되는 19개의 변수를 선정하였다. 독립변수는 교통량, 상충비, 중차량비 등의 운영행태 자료와 중앙교통섬 직경, 회전차로 수 등의 기하구조 자료로 구성된다. 이 중 주차 허용 및 보차분리 등급 등의 변수는 더미 변수를 활용하여 구축하였다. 변수의 정의 및 평균, 표준편차, 최소·최댓값의 기초 통계는 표 4와 같다.

고령 운전자의 회전교차로 사고모형 개발

표 4. 변수의 정의 및 기초통계

Table 4. Definitions of variables and basic statistics

변수 Variable	정의 Definition	평균 Mean	표준 편차 Std. Dev.	최솟값 Min.	최댓값 Max.
Y_1	교통사고 건수(65세 이상) number of accident(more than 65 years old)	1.0	1.4	0.0	5.0
Y_2	교통사고 건수 number of accident	13.9	13.5	0.0	55.0
X_1	ADT(일평균 교통량) ADT(average daily traffic)	13675.3	9310.8	1179.3	36857.8
X_2	중앙교통섬 직경(m) diameter of central island(m)	20.9	8.5	7.2	44.0
X_3	회전 차로 수 number of circulatory roadway lanes	1.4	0.5	1.0	3.0
X_4	회전차로 폭(m) width of circulatory roadway(m)	5.9	2.6	2.4	13.0
X_5	주차(주차 금지 0, 주차 허용 1) parking(0 no parking, 1 parking)	0.4	0.5	0.0	1.0
X_6	보차분리 등급(미분리 0, 분리 1) segregation level of pedestrian and vehicle	0.6	0.5	0.0	1.0
X_7	교차로 면적(m ²) area of intersection(m ²)	3044.7	1760.4	614.9	7754.8
X_8	접근로 수 number of approaches	4.4	1.1	3.0	7.0
X_9	평균 접근 차로 수 average number of approach lanes	1.4	0.4	1.0	2.5
X_{10}	평균 접근 차로 폭(m) average width of approach lanes(m)	6.0	3.0	2.8	20.8
X_{11}	돌출형태의 분리교통섬 수 number of raised splitter island	0.6	1.1	0.0	4.0
X_{12}	노면표시형태의 분리교통섬 수 number of painted splitter island	2.5	1.9	0.0	6.0
X_{13}	접근로 평균 횡단보도 수 average number of crosswalk by approach	0.9	0.4	0.0	1.6
X_{14}	유출입지점 수 number of entry and exit point	3.8	3.1	0.0	10.0
X_{15}	감속시설 수 number of speed reduction facility (speed table and speed hump)	0.8	1.6	0.0	6.0
X_{16}	조명시설 수 number of lighting	4.2	2.9	0.0	10.0
X_{17}	총 표지판 수 number of total sign	5.0	3.0	0.0	12.0
X_{18}	중차량비(중차량/ADT)(%) heavy vehicle ratio(heavy vehicle/ADT)(%)	7.7	6.4	0.0	33.5
X_{19}	상충비(상충차량/ADT)(%) conflict ratio(conflict vehicle/ADT)(%)	2.0	3.7	0.0	23.3

4. 다중공선성 분석

모형개발에 앞서 선정된 변수들 간의 다중공선성 검증을 시행하였다. 다중공선성은 일반적으로 VIF(variation inflation factor) 계수를 통해 판단하며, 이 계수 값이 10.0이상일 경우 다중공선성이 존재한다고 판단한다. 선정된 변수들의 VIF 값은 표 5에 나타나듯이 8.0이하로 분석되어, 다중공선성은 없다고 판단하였다.

표 5. 다중공선성 진단
Table 5. Test of multicollinearity

변수 Variable	공차 Tolerance	VIF	변수 Variable	공차 Tolerance	VIF
X_1	0.20	4.94	X_{11}	0.19	5.18
X_2	0.17	5.86	X_{12}	0.15	6.66
X_3	0.35	2.82	X_{13}	0.31	3.27
X_4	0.27	3.73	X_{14}	0.25	3.95
X_5	0.40	2.49	X_{15}	0.36	2.77
X_6	0.33	3.03	X_{16}	0.30	3.35
X_7	0.13	7.90	X_{17}	0.22	4.60
X_8	0.19	5.22	X_{18}	0.33	3.03
X_9	0.26	3.91	X_{19}	0.42	2.36
X_{10}	0.18	5.48		-	

IV. 사고 모형 개발 및 논의

1. 모형 개발

모형 개발에 앞서 회전교차로에서 발생한 고령운전자와 전체운전자가 사고 건수에서 통계적으로 유의미한 차이가 있는지를 살펴보기 위해 다음과 같은 귀무가설을 설정하고, 대응표본 t-검정을 통해 설정된 가설을 검정하였다. 검정결과, 유의확률 0.00으로 귀무가설을 기각하여 두 집단은 통계적으로

로 유의미한 차이가 있는 것으로 분석된다(표 6).

H_0 : 회전교차로에서 발생한 고령운전자와 전체 운전자의 평균사고건수는 동일하다.

표 6. 대응표본 t-검정(고령 및 전체 운전자)
Table 6. Paired samples t-test(elderly and all drivers)

Classification	Mean	Std. deviation	Std. error mean
Elderly drivers	0.98	1.44	0.22
All drivers	13.93	13.48	2.10

Paired differences			t	Sig. (2-tailed)
Mean	Std. deviation	Std. error		
-12.95	12.61	1.97	-6.58	0.00

회전교차로 고령 운전자의 사고 모형 개발 결과는 표 7과 같다. 개발된 모형은 전술한 표 3의 통계 값을 통해 포아송 모형으로 구축되었다. 모형에 채택된 변수는 교통량(ADT), 교차로 면적, 접근로 수 및 노면표시형태의 분리교통섬 수이며, 이들 변수는 모두 통계적(신뢰수준 95%)으로 유의하다. 또한 우도비(ρ^2)는 0.217로 개발된 모형은 설명력이 있는 것으로 판단된다.

교통량은 사고의 발생 빈도와 가장 밀접한 연관성이 있는 변수로, 이는 사고 노출빈도로 설명된다. 교통량이 증가하면 노출빈도가 증가하여, 사고와 양의 상관관계를 갖는 것으로 판단된다.

교차로 면적은 사고와 양의 상관관계로 나타났으며, 이는 상충지점의 증가가 원인인 것으로 판단된다. 과도하게 설계된 교차로 면적은 교차로 내에 주차 등의 다른 토지이용을 발생시키며, 이는 사고의 원인이 되는 것으로 판단된다. 또한 과도하게 큰 교차로 면적은 넓은 회전자로를 가지게 되며,

이는 회전하는 차량을 적절하게 유도하지 못하게 되어, 불필요한 상충을 발생시킬 가능성을 내포하게 된다.

회전교차로에서 고령 운전자 사고는 접근로 수와 강한 양의 상관관계를 나타내는 것으로 분석된다. 이는 무신호로 운영되는 회전교차로의 특성에서 기인하며, 5지 이상 회전교차로의 경우 진입차량 간의 상충이 많이 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

노면표시형태의 분리교통섬의 수는 사고와 음의 상관관계로 분석되었으며, 이는 분리교통섬이 회전차량과 진·출입 차량 간 상충을 제어하는 역할을 수행하기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 고령 운전자와 비교·분석을 위해 개발한 전체 운전자 사고모형은 음이항 모형으로 구축되었으며, 교통량, 접근로 수, 평균 접근차로 폭 및 감속시설 수가 유의한 변수로 채택되었다. 모형의 우도비(ρ^2)는 0.201로 설명력이 있는 것으로 판단된다.

교통량 및 접근로 수는 고령 운전자 사고 모형과 같이 사고와 양의 상관관계를 나타낸다. 이는 마찬가지로 사고 빈도 및 상충지점의 증가가 원인인 것으로 판단된다.

접근 차로 폭은 사고와 양의 상관관계를 보이는 것으로 분석되며, 이는 차로 폭이 넓어지면 접근 속도 증가를 가져오기 때문인 것으로 판단된다. 또한 차로 폭의 제어는 교차로에서 차량의 진행 방향을 유도하고, 잘못된 방향으로의 진입 및 불법 유턴을 예방한다. 과도하게 설계된 진입 차로 폭은 이러한 기능을 못하기 때문에 사고 증가의 원인이 된 것으로 판단된다.

감속시설 수는 사고와 음의 상관관계를 가지는 것으로 분석되며, 이는 회전교차로에서 차량이 저속으로 진입하는 것으로 유도하기 때문인 것으로 판단된다.

표 7. 고령 및 전체 운전자 사고 모형

Table 7. Accident models of elderly and all drivers

구분 Classification		고령 운전자 Elderly drivers	전체 운전자 All drivers
상수 Constant	Coeff.	-3.44	-0.40
	t-ratio	-3.84	-0.72
	p-value	0.00	0.47
X_1 (ADT)	Coeff.	6.0E-05	8.01E-05
	t-ratio	2.84	5.58
	p-value	0.00	0.00
X_7 (교차로 면적)	Coeff.	2.3E-04	-
	t-ratio	2.64	-
	p-value	0.01	-
X_8 (접근로 수)	Coeff.	0.53	0.20
	t-ratio	2.98	1.97
	p-value	0.00	0.05
X_{10} (접근 차로 폭)	Coeff.	-	0.10
	t-ratio	-	2.81
	p-value	-	0.00
X_{12} (노면표시형태의 분리교통섬 수)	Coeff.	-0.32	-
	t-ratio	-2.96	-
	p-value	0.00	-
X_{15} (감속시설 수)	Coeff.	-	0.13
	t-ratio	-	1.96
	p-value	-	0.05
α		1.262	2.92
Vuong		-1.869	-1.245
ρ^2		0.217	0.201

2. 모형 논의

전술한 모형 개발 부분에서 회전교차로에서 고령 운전자 및 전체 운전자의 사고 모형을 구축하였다. 회전교차로 사고의 경우, 고령 운전자는 주로 상충과 관련된 변수들이 사고 원인이 되는 것으로 분석된다. 반면, 전체 운전자의 경우 상충과 관련된 변수와 속도 제어와 관련된 변수가 동시에 채택되었다. 이는 고령 운전자의 경우 일반적으로 반사 및

인지 능력이 떨어지는 것을 인지하고 있기에 과속과 같은 운전 습관을 가지지 않기 때문인 것으로 판단된다. 이런 점은 운전자의 리스크 보정을 통해 설명할 수 있는데, 리스크 보정은 위험을 인지한 운전자가 위험을 감소시키기 위해 스스로 속도를 줄이는 행동을 하는 것을 의미한다(Mannering and Chandra, 2014).

또한 사고와 양의 상관관계를 나타내는 변수 중 교차로 면적은 교차로의 용량 및 주변 토지이용과 연관되어 있기 때문에 무조건 감소시키는 방안은 가능하지 않다고 판단된다. 하지만 교차로의 면적이 과도하게 큰 경우, 불필요한 상충을 줄이기 위한 방법(불법 주차 금지 및 차량 유도 시설의 설치 등)을 통해 사고 발생 위험을 감소시키려는 노력이 필요하다고 판단된다.

분리 교통섬 및 감속시설은 회전교차로에서 반드시 설치해야 되는 시설로 정하고 있지만, 실제 운영되는 회전교차로의 경우 이러한 시설들이 모든 접근로에 설치되어 있지 않다. 이러한 시설들은 상충 및 속도관리에 도움이 되는 시설로 반드시 설치해야 한다고 판단된다.

접근 차로 폭이 넓은 경우 차로 폭을 줄이는 방안보다는 차로 수를 늘리거나 적절한 유도 시설을 설치하여 직진차량과 회전차량을 분리하는 분리교통섬의 설치 등이 필요하다고 판단된다. 이를 통해 상충을 제어하고, 차량을 적절하게 유도하는 것은 사고 감소에 도움이 될 것으로 사료된다.

V. 결 론

이 연구는 빠르게 초고령 사회로 진행되고 있는 시점에서 최근 많이 설치되고 있는 회전교차로를 대상으로 교통사고 모형을 개발하여, 사고 원인을 논의한 연구이다.

이를 위해 이 연구는 2007년 이전에 설치된 41

개 회전교차로의 7개년도 사고 자료를 통해 모형을 개발하였으며, 이를 통해 고령 운전자 및 전체 운전자의 사고에 영향을 미치는 요인을 파악하는데 중점을 두었다. 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 고령 운전자 및 전체 운전자를 대상으로 통계적으로 유의한 회전교차로 사고 모형을 개발하였다.

둘째, 고령 운전자 사고에 영향을 미치는 변수는 교통량, 교차로 면적, 접근 차로 수 및 노면표시형태의 분리교통섬 수 인 것으로 분석되었다. 또한 전체 운전자의 경우는 고령 운전자와는 달리 교통량, 접근로 수, 평균 접근차로 폭 및 감속시설 수가 사고에 영향을 미치는 변수로 분석되었다.

마지막으로, 고령 운전자의 사고는 교차로 내에서 발생하는 상충이 주원인이며, 전체 운전자는 상충과 속도가 모두 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 운전자의 리스크 보정에 기인하며, 고령 운전자의 경우 회전교차로 진입할 때 감속하기 때 문인 것으로 판단되었다.

이 연구는 국내에서 많이 연구되지 않은 회전교차로에서 고령 운전자의 사고를 대상으로 연구를 수행한 점에 의의가 있다고 판단되나, 다음과 같이 몇 가지 연구의 한계를 지닌다.

첫째, 고령 운전자의 장애 및 시력 등과 같은 개인 특성을 반영하지 못한 점에서 연구의 한계를 지닌다.

둘째, 이 연구는 통행우선권의 준수 여부 등과 같이 회전교차로의 안전성에 큰 영향을 미치는 운영행태에 관한 내용을 반영하지 못한 점에서 연구의 한계를 지닌다.

마지막으로 회전교차로의 사고 발생 요인에 영향을 줄 수 있는 사고 원인 및 위치 등을 고려하지 못한 점에서 연구의 한계를 지닌다.

향후 이러한 내용을 보완한 연구가 필요하다고 판단된다.

인용문헌

References

1. 국가경쟁력강화위원회, 2009. 「기초법질서 확립을 위한 교통운영체계 선진화방안」, 서울.
Presidential Council on National Competitiveness, 2009. *Advanced Methods of Traffic Operation System for Establishing the Basic Orders*, Seoul.
2. 교통안전공단, 2013. 「교차로 교통사고 현황 분석」, 서울.
Transportation Safety Authority, 2013. *Analysis of Intersection Traffic Accident*, Seoul.
3. 김경환·박길수·박병호, 2012a. “운영유형별 도시부 원형교차로 사고모형”, 「한국안전학회지」, 27(2): 110-115.
Kim, K-H., Park, K-S. and Park, B-H., 2012. “Traffic Accident Models of Urban Circular Intersections by Operational Type”, *The Korean Society of Safety*, 27(2): 110-115.
4. 김경환·박병호, 2012b. “연립방정식을 이용한 운전 유형별 회전교차로 사고모형”, 「대한교통학회지」, 30(5): 3-8.
Kim, K-H. and Park, B-H., 2012. “Simultaneous Equation Models for Evaluating Roundabout Accidents According to Different Driving Types”, *Journal of Korean Society of Transportation*, 30(5): 3-8.
5. 김상욱·장일준·이철기, 2009. “고령운전자 사고취약 도로형태 분석 및 개선방안 연구”, 「한국ITS학회」, 8(6): 163-173.
Kim, S-O., Chang, I-J. and Lee, C-K., 2009. “Analysis of the Vulnerable Roadway Designs for Elderly Drivers and Its Improvement Schemes”, *The Journal of Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, 8(6): 163-173.
6. 나희·박병호, 2012a. “ZAM을 이용한 원형교차로 원 인별 사고모형 개발”, 「한국도로학회논문집」, 14(2): 101-108.
Na, H. and Park, B-H., 2012. “Accident Models of Circular Intersection by Cause Using ZAM”, *Journal of Korean Society of Road Engineers*, 14(2): 101-108.
7. 나희·박병호, 2012b. “로터리 사고발생 위치별 사고 모형 개발”, 「한국도로학회논문집」, 14(4): 83-91.
Na, H. and Park, B-H., 2012. “Developing Accident Models of Rotary by Accident Occurrence Location”, *Journal of Korean Society of Road Engineers*, 14(4): 83-91.
8. <http://taas.rota.or.kr>.
9. 박길수, 2011. “원형교차로 유형별 교통사고모형 개발”, 충북대학교 박사학위논문.
Park, K-S., 2011. “Development of Traffic Accident Models by Type of Circular Intersection”, Ph. D. Dissertation, Chungbuk National University.
10. 박민규·박병호, 2013. “국내 로터리의 연령대별 사고모형”, 「한국도로학회논문집」, 15(2): 121-129.
Park, M-K. and Park, B-H., 2013. “Accident Models of Rotary by Age Group in Korea”, *Journal of Korean Society of Road Engineers*, 15(2): 121-129.
11. 박병호·한수산·김경환, 2012a. “로터리 교통사고 심각도 분석”, 「국토계획」, 47(2): 123-131.
Park, B-H., Han S-S. and Kim K-H., 2012. “Analysis on the Traffic Accident Severity of Rotary”, *Journal of Korean Planners Association*, 47(2): 123-131.
12. 박병호·한수산, 2012b. “기상상태에 따른 국내 원형교차로 사고모형”, 「한국안전학회지」, 27(6): 178-184.
Park, B-H. and Han S-S., 2012. “Accident Models of Circular Intersections by Weather Condition in Korea”, *The Korean Society of Safety*, 27(6): 178-184.
13. 박병호·한상욱·김경환, 2009. “고령운전자 교차로 사고의 특성 및 모형 : 청주시 4지 신호교차로를 중심으로”, 「한국도로학회」, 11(4): 33-40.
Park, B-H., Han, S-W. and Kim, K-H., 2009. “Characteristics and Models of Intersection Accidents by Elderly Drivers in the Case of Cheongju 4-legged Signalized Intersections”, *Journal of Korean Society of Road Engineers*, 11(4): 33-40.

14. 신승균·조민상, 2010. “고령운전자의 특성분석을 통한 교통사고 예방에 관한 연구”, 『한국치안행정논집』, 7(2): 157-185.
Shin, S-G. and Cho, M-S., 2010. “A Study on Traffic Accident Prevention through Older Driver's Characteristics Analysis”, *Journal of Korean Public Police and Security Studies*, 7(2): 157-185.
15. 양석정, 2014. “시·군별 고령운전자 교통사고 영향 요인 및 사고 심각도 분석”, 전북대학교 석사학위 논문.
Yang, S-J., 2014. “Analysis of the Influential Factors of Elderly Drivers' Traffic Accidents and Accident Severity by City and Gun”, Master's Degree Dissertation, Chonbuk National University.
16. 임삼진·박준태·김영일·김태호, 2012. “고령운전자 운전 및 신체특성을 반영한 교통사고 분석 연구”, 『대한교통학회지』, 30(6): 37-46.
Lim, S-J., Park, J-T., Kim, Y-I. and Kim, T-H., 2012. “Analysis of Elderly Drivers' Accident Models Considering Operations and Physical Characteristics”, *Journal of Korean Society of Transportation*, 30(6): 37-46.
17. 정연식·오세창·채찬들, 2011. 「고령 운전자 교통사고 감소방안」, 경기: 한국교통연구원.
Chung, Y-S., Oh, S-C. and Chae, C-D., 2011. *A Study on Transportation Safety to Reduce Traffic Accident of Elderly Drivers*, Gyeonggi: The Korea Transport Institute.
18. 한수산·김경환·박병호, 2011. “사고유형에 따른 원형교차로 사고모형”, 『한국도로학회논문집』, 13(3): 103-110.
Han, S-S, Kim, K-H. and Park, B-H, 2011. “Accident Models of Circular Intersections by Type in Korea”, *Journal of Korean Society of Road Engineers*, 13(3): 103-110.
19. 한수산·박병호, 2011. “차량유형별 로터리 사고모형”, 『대한교통학회지』, 29(6): 67-74.
Han, S-S. and Park, B-H., 2011. “Accident Models of Rotary by Vehicle Type”, *Journal of Korean Society of Transportation*, 29(6): 67-74.
20. Braitman, K. A., Kirley, B. B., Ferguson, S. and Chaudhary, N. K., 2007. “Factors leading to older drivers' intersection crashes”, *Traffic Injury Prevention*, 8(3): 267-274.
21. Lord, D., van Schalkwyk, I., Chrysler, S. and Staplin, L., 2007. “A strategy to reduce older driver injuries at intersections using more accommodating roundabout design practices”, *Accident Analysis & Prevention*, 39(3): 427-432.
22. Manring, F. L. and Bhat, C. R., 2014. “Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions”, *Analytic Methods in Accident Research*, 1: 1-22.
23. Oxley, J., Fildes, B., Corben, B. and Langford, J., 2006. “Intersection design for older drivers”, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9(5): 335-346.
24. Tollazzi, T., Renčelj, M., Rodošek, V. and Zalar, B., 2010. “Traffic safety of older drivers in various types of road intersections”. *PROMET-Traffic&Transportation*, 22(3): 193-201.
25. Washington, S. P., Karlaftis, M. G. and Manring, F. L., 2003. “Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis”, Florida: Chapman & Hall/CRC.

Date Received 2014-11-25
 Reviewed(1st) 2015-03-22
 Date Revised 2015-04-20
 Reviewed(2nd) 2015-04-21
 Date Revised 2015-05-18
 Reviewed(3rd) 2015-05-18
 Date Accepted 2015-05-19
 Final Received 2015-10-02