

■ 論 文 ■

청주시 4지 신호교차로의 후미추돌사고 분석

Analysis of Rear-End Accidents at 4-legged Signalized Intersections in Cheongju

박 병 호

(충북대학교 도시공학과 교수)

박 정 순

(충북대학교 도시공학과 박사수료)

목 차

- | | |
|---|---|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경 및 목적</p> <p>2. 연구의 내용 및 방법</p> <p>II. 기존문헌 고찰</p> <p>1. 후미추돌사고 연구의 동향</p> <p>2. 기존 연구와의 차별성</p> <p>III. 분석틀의 설정</p> <p>1. 4지 신호교차로사고 특성분석</p> | <p>2. 후미추돌사고 특성분석</p> <p>3. 분석모형 설정</p> <p>IV. 모형개발 및 결과분석</p> <p>1. 변수간의 상관분석</p> <p>2. 추정모형개발 및 결과</p> <p>V. 결론 및 향후 연구과제</p> <p>참고문헌</p> |
|---|---|

Key Words : 후미추돌사고, 포아송회귀분석, 심각사고, 선행차량, 후행차량
 Rear-end accident, Poisson regression analysis, Severe accident, Struck vehicle, Striking vehicle

요 약

본 연구는 청주시 4지 신호교차로의 후미추돌사고를 다루고 있다. 연구의 목적은 후미추돌사고의 특성을 분석하고, 교통사고, 교통량 및 기하구조 사이의 관계를 설명하는 모형을 개발하는데 있다. 이를 위해 본 연구는 2004년 106개 교차로에서 발생한 308건의 후미추돌사고 자료를 이용한다.

분석된 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 후미추돌사고 중 심각사고는 77.6%로 매우 심각한 것으로 분석되었다. 둘째, 주간보다는 야간에 그리고 교차로 유입부에서 더 많은 후미추돌사고가 발생하였다. 특히, 대형 선행차량의 사고가 더 심각한 것으로 분석되었다. 마지막으로, 본 연구에서 개발된 다중회귀모형과 포아송회귀모형 모두 통계적 신뢰성이 매우 높은 것으로 분석되었다.

This study deals with the rear-end accidents of 4-legged signalized intersections in Cheongju. The objectives are to analyze the characteristics of the accidents and to develop the models which explain the relations among the accidents, traffic volumes and geometric structures. In pursuing the above, the study uses the data 308 rear-end accidents occurred at the 106 intersections (2004).

The main results analyzed are as follows. First, the rear-end accidents were analyzed to be serious, because the ratio of severe accidents is 77.6%. Second, the more accidents were occurred of in the night than the daytime and in the approaching sections of intersections. In particular, the accidents of large-size struck vehicles were analyzed to be more serious. Finally, the multiple and Poisson regression models developed in this study are all analyzed to be statistically significant.

이 논문은 2006년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비에 의하여 연구되었음.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

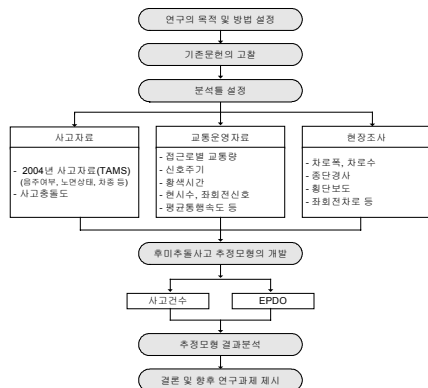
2004년도 우리나라의 총교통사고 220,755건 중 후미추돌사고가 차지하는 비율은 약 25%에 해당하는 55,262건이며 청주시의 경우 4지 신호교차로 교통사고 1,183 건 중 308건(약 26%)이 후미추돌사고에 해당한다. 신호교차로의 후미추돌사고는 신호운영방법, 교차로 기하구조 형태, 종단경사, 노면상태 등의 도로환경요인에 의해 발생하기도 하지만 운전자의 심리상태와 차량요인 등의 복합적인 관계에 의해서도 발생한다.

후미추돌사고는 후행차량이 선행차량의 후미를 추돌시, 차량이 앞으로 갑자기 가속하게 됨에 따라 탑승자의 상체는 차량과 같은 속도로 이동하나 머리는 상체와 견고하게 지지되지 못하기 때문에 상체보다 늦은 속도로 이동하게 된다. 이러한 이유로 상체와 머리는 각각 서로 다른 운동을 하게 되어 탑승자의 대부분이 목 상해와 같은 심각한 피해를 입게 된다.

이러한 후미추돌사고의 심각성을 인식하여 본 연구에서는 청주시의 4지 신호교차로를 대상으로 후미추돌사고의 특성분석과 모형개발에 그 목적을 두고 있다.

2. 연구의 내용 및 방법

후미추돌사고 특성분석을 위해 충북지방경찰청의 2004년도 사고관리자료(TAMS)와 사고당시의 날씨, 노



〈그림 1〉 연구수행과정도

면상태, 시간, 차종, 범규위반여부 등의 자료를 얻었으며,¹⁾ 도로교통안전관리공단(이하 공단)의 사고충돌도를 통해 사고위치, 사고유형 등의 자료를 파악하였다.

신호운영 및 교통조건은 공단에서 자체 조사한『2004년 청주시 전자교통신호체계 운영 및 교통량자료』와 현장조사를 통해 관련 자료를 수집 정리하였다. 그리고 사고모형 개발을 위해서 통계프로그램인 LIMDEP 8.0으로 다중회귀분석과 비선형회귀분석인 포이송회귀모형을 이용하였다.

II. 기존 문헌 고찰

1. 후미추돌사고 연구의 동향

교통사고는 여러 요인중 하나 또는 그 이상이 복합적으로 결합되어 사고가 발생하게 되므로 종합적인 측면에서 근본적인 사고유발 요인을 살펴보아야 한다. 즉, 사고영향인자들 사이의 복잡하고도 미묘한 상호관계가 교통사고와 이들 요인간의 관계를 객관적이고도 논리적으로 분석하고 설명하는 데 걸림돌이 되고 있으며 어떠한 모형식도 교통사고와의 관계를 100% 명확하게 규명하지 못하는 한계가 있다. 후미추돌사고의 원인을 규명하기 위한 기존의 많은 연구들은 인적요인과 차량요인을 주로 이용하였으며 최근에는 도로환경적 요인과 후미추돌사고 건수 관련 모형을 대상으로 한 연구가 활발하다.

1) 인적요인 관련 연구

Kostyniuk and Eby(1998)는 선행차량이 갑자기 정지하거나 급감속을 할 때 후행차량 운전자의 인지 및 반응여부에 따라 후미추돌사고가 발생한다고 하였으며, ITS Joint Program Office(1999)에서는 후미추돌사고 원인의 약 92%는 후행 운전자의 주의력 결핍, 선행차량과의 짧은 차간거리, 추종 실패 때문이라고 밝혔다. 또한 Singh (2003)은 후미추돌사고 위험에 대한 인지반응의 차이는 운전자의 연령과 성별에 따라 다음을 규명하였다.

2) 차량요인 관련연구

Strandberg(1998)는 차량의 크기 및 형태에 따라

1) TAMS(Traffic Accident Management System)의 약자. 운전자의 연령, 성별, 운전경력 등 인적요인에 대한 자료는 개인정보 보호라는 관련규정상 취득할 수 없다.

운전자의 시야와 제동력 등이 달라지기 때문에 본인의 차량 외에 다른 형태의 차량을 운전해 보는 것이 후미추돌사고 예방에 매우 필요하다고 하였으며 선행차량의 운전행태는 후속차량에 많은 영향을 끼친다고 주장하였다.

Graham(2001)은 선행차량의 크기가 후행차량보다 클 경우, 후행차량의 운전자는 선행차량으로 인해 전방의 교통상황을 제대로 확인할 수 없기 때문에 선행차량이 갑작스럽게 정지하거나 급감속시, 후미추돌사고가 발생하므로 사고 예방을 위해서는 선행차량과의 안전거리 확보와 운전자의 시거확보가 필요하다고 하였다. Abdel-Aty and Abdelwahab (2004)은 후미추돌사고를 대상으로 Nested Logit structure 모형을 이용하여 차량의 형태(승용차, 소형트럭, 대형트럭, 밴, SUV) 및 선행차량 및 후행차량과의 관련성에 대한 연구를 수행하였으며 승용차와 트럭간의 사고는 대부분 후행차량 운전자의 시거장애와 주의력 결핍에 좌우된다는 것을 밝혀냈다.

3) 도로환경적 요인 관련연구

신호교차로의 후미추돌사고는 신호운영방법, 교차로 기하구조 형태, 종단경사, 노면상태 등과 같이 인적요인과 차량요인과는 무관한 도로환경 요인에 의해서도 발생할 수 있다.

Roess(2004)는 신호교차로에 있어서 연속되어 이동하는 교통류를 신호규제에 의해 단절시킬 경우에는 후속의 차량들은 이를 인지하지 못하여 추돌사고로 연계되는 경우가 있음을 밝혀냈다. 또한 Yan(2005)은 신호교차로에서 후미추돌사고의 특성분석을 위해 이항 로지스틱 회귀모형을 활용하였으며 관련변수로는 도로환경 요인뿐만 아니라 인적·차량요인(중앙분리대, 사고지점의 차로수, 제한속도, 노면상태, 운전자의 연령, 성별, 운전경력, 음주, 약물복용, 차종 등)을 복합적으로 이용하였다.

4) 사고모형개발 관련연구

E.Hauer(1988)은 캐나다 토론토시의 145개 신호교차로를 대상으로 오전, 오후 침두 및 비침두시간의 각 접근 교통류 패턴을 이용한 15개의 사고유형으로 분류하였다. 그리고 각각의 유형에 대해 음이항회귀분석을 통해 모형식을 개발하였다. Poch and Mannering(1996)은 음이항회귀식을 이용하여 7년간(1987~1993년)의 66

개 4지 신호·비신호교차로 접근로를 대상으로 후미추돌사고건수 모형을 개발하였으며, Mitra(2002)는 싱가포르의 8년간(1992~1999) 4지 신호교차로 52개소의 주·부도로를 대상으로 Zero-inflated Poission(ZIP)식을 이용해 후미추돌사고건수 모형을 개발하였다.

5) 국내 연구

김효중(1997)은 전라남도의 1994년도 교통사고 다발지점 227개소, 3,997건의 교차로 및 커브구간 교통사고자료와 교통량자료를 이용하여 후미추돌, 측면직각, 측면접촉, 정면충돌, 보행자사고, 이륜차사고, 도로이탈/전복 등 7개의 사고유형별 예측모형을 개발하였다.

남궁헌(2001)은 광주광역시 4지 신호교차로 사고예측 모형개발을 위해 1996~1998년도(3년간)의 교통사고 잦은 지점 73개소의 교통사고자료와 교통량 자료를 이용하여 교통사고유형별 예측모형을 개발하였다.

엄광태·이영인(2002)은 후미추돌사고의 위험에 대해 선행차량이 급정지할 경우 선행차량과 추돌하지 않기 위한 최소안전정지시거와 두 차량간의 차간거리를 비교하여 계산하였으나 다중추돌사고와 같이 복잡하게 발생한 후미추돌사고의 위험에 대해서는 설명하지 못하였다. 정성봉(2004)은 서울시 도시고속도 1, 3차로를 대상으로 사고발생 가능성이라는 개념을 도입하여 구간별·차로별 후미추돌사고의 위험도를 평가하는 모형을 개발하였다.

2. 기존 연구와의 차별성

후미추돌사고와 관련된 외국의 연구들은 인적요인, 차량요인, 도로환경적요인 등을 고려한 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있는 반면에 아직까지 국내연구는 적은 편이다. 이들 연구의 대부분은 신호교차로 중 교통사고가 일정기준이상 발생한 일부 교차로만을 표본으로 선정하였거나,²⁾ 수년간 사고 잦은 곳으로 선정된 지점들의 일부만을 대상으로 하였다는 것이다. 그리고 신호교차로가 아닌 연속류 도로에서 발생한 후미추돌사고에 대한 위험도 평가 모형을 개발하였다는 한계를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기존 연구의 한계를 극복하기 위해 후미추돌사고가 발생한 청주시의 4지 신호

2) 『교통사고 잦은 곳』 선정기준은 교통사고 발생건수(인피+물피)가 동일지점에서 1년간 다음 기준 이상으로 발생한 지점을 말한다.
- 특별시 및 광역시 7건, 일반시 5건, 기타 지역은 3건

교차로 전체를 대상으로 후미추돌사고에 많은 영향을 줄 것으로 판단되는 인적·차량·도로환경 자료를 이용한 사고의 특성분석과 사고모형개발에 의의가 있다고 할 수 있다.

III. 분석틀의 설정

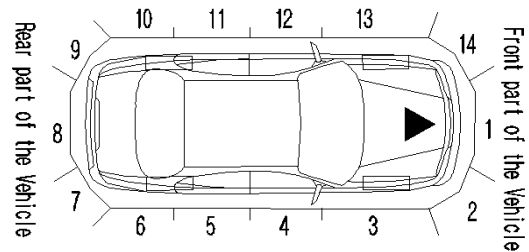
1. 4지 신호교차로사고 특성분석

우리나라의 교통사고분석에서는 충돌 당시의 사고유형에 따라 차대 사람, 차대 차(정면충돌, 추돌, 나란히 접촉, 측면직각, 접촉, 차로변경 접촉, 기타), 차량단독(고정물체, 전복, 추락, 차내 사고), 차대 열차, 기타 등 14가지로 구분하고 있다. Hauer(1988)는 차대 차 사고 형태를 차량 진행방향에 따라 15개 패턴으로 구분하고 있으며 미국 FHWA(2004)에서는 사고 유형을 22개로 구분하여 제시하고 있다.³⁾ 따라서 본 연구에서는 미국 FHWA(2004)에서 제시한 22개 사고유형을 기본 패턴으로 하고, 우리나라에서 근거리 교통수단과 배달용

으로 많이 이용되고 있는 이륜차관련 사고(22~23)와 유턴사고(24) 유형을 추가하여 <표 1>과 같이 총 25개의 사고유형으로 세분화하여 분석하였다.

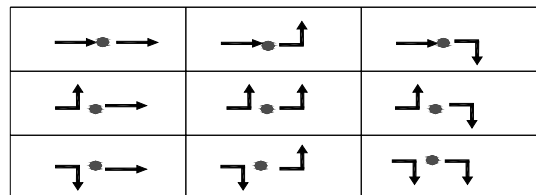
2. 후미추돌사고 특성분석

선행차량과의 안전한 거리를 유지하지 못하여 발생하는 후미추돌사고는 <그림 1>의 미국 DHSMV⁴⁾의 차량 충돌 위치 표기법에 따라 후행차량의 앞부분(1, 2번 또는 14번)이 선행차량의 후미(7, 8번 또는 9번)를 추돌하여 선행차량 운전자의 심한 목뼈 부상을 일으키게 하거나 후행차량 운전자의 심각한 사고를 일으키는 원인이 되기도 한다⁵⁾.



<그림 1> 미국 DHSMV의 차량충돌 위치 표기법⁶⁾

후미추돌사고는 일반적으로 동일방향의 동일차로에서 선행차량과 후행차량간의 충돌에 의해 발생하는 사고로서 <그림 2>와 같이 9개의 유형으로 세분화할 수 있다.



<그림 2> 후미추돌사고 유형 분류

우리나라에서는 교통사고로 인한 피해정도를 인피사

<표 1> 4지 신호교차로사고 특성분석

사고 유형	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
건수	300	21	81	12	67	18
사고 유형	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
건수	7	8	6	121	138	10
사고 유형	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
건수	10	10	4	9	24	4
사고 유형	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)
건수	122	34	0	118	7	42
사고 유형	(25)	소계				
건수	10	1,183				

3) FHWA(2004), "Signalized Intersections: Information Guide", p. 131

4) 미국 DHSMV (Department of Highway Safety & Motor Vehicle)

5) 우리나라의 교통사고처리지침에서는 차량충돌사고시 가해차량 및 피해차량의 파손부위, 상태 정도와 차량진행방향 등에 대해서 조사하도록 하고 있으며, 사고관리자료(TAMS)에서는 단순히 사고발생일시 및 장소, 피해정도, 사고유형(차종)과 사고개요 만을 입력하고 있다.

6) Xuedong Yan, Essam Radwan(2005), "Characteristics of Rear-End Accidents at Signalized Intersections using Multiple Logistic Regression Models", AAP, p.985.

고(사망사고+부상사고)와 물피사고로 구분하고 있다. 이에 본 연구에서는 후미추돌사고로 인해 탑승자가 직접적으로 피해를 입은 인피사고를 심각사고로, 단순히 차량이 파손된 사고를 물피사고로 분류하였다⁷⁾.

〈표 2〉의 308건의 후미추돌사고 중 탑승자가 직접적으로 피해를 입은 심각사고는 전체의 77.6%(239건)로 다른 사고유형들보다 심각도가 높은 것으로 나타났다. 이는 후행차량이 선행차량을 추돌시, 탑승자는 차량이 앞으로 갑자기 가속하게 됨에 따라 상체는 차량과 같은 속도로 이동하나, 머리는 상체와 견고하게 지지되지 못하기 때문에 상체보다 0.5~0.6배 늦게 이동하게 된다. 이러한 이유로 상체와 머리는 각각 서로 다른 운동을 하게 되어 대부분이 목 상해와 같은 심각한 피해를 입기 때문이라 판단된다⁸⁾.

주간(07:00~18:00)보다 야간(18:00~07:00)에 추돌사고가 많이 발생하고 있다⁹⁾. 이것은 야간운행시에는 시거의 확보가 주간보다 용이하지 않기 때문에 선행차량과의 충분한 안전거리 확보와 운영시설, 노면표시 등을 직시하기 어려울 뿐만 아니라 운전자의 심리적 요인으로 판단된다. 그리고 사고위치로는 유입부에서 75.3%(232건)의 추돌사고가 일어났으며, 노면상태는 노면 건조한 경우 59.4%(183건), 겨울철과 같이 노면이 결빙되어 미끄러운 경우 30.2%(93건)의 사고가 발생하였다.¹⁰⁾ 따라서 후미추돌사고는 노면상태와는 관련성이 적으며 다른 여러 가지 요인들에 의해 사고가 발생하는 것으로 판단된다.

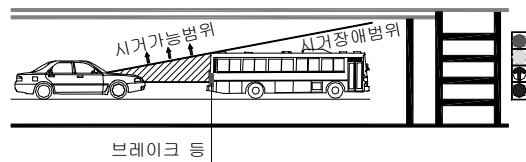
사고차종(후행차량)으로는 승용차가 218건으로 전체 사고의 70.7%로 가장 많은 비율을 보였으며, 다음으로 트럭(후행차량)으로 44건 14.3%를 차지하였다¹¹⁾.

〈그림 3〉과 같이 대형차량이 선행차량인 경우 발생한 사고는 전체 후미추돌사고의 20.1%(62건)로 후행차량(소형차)은 전방의 신호등 및 교통류상황을 쉽게 파악하기 어렵기 때문에 선행차량의 브레이크 등에 대한 의존

〈표 2〉 후미추돌사고 특성분석

구분		계	심 각 사고	물 피 사고	비 율 (%)
시간대	계	308	239	69	
	주간	134	107	27	
	야간	174	132(1)	42	56.2%
사고위치	유입부	232	180(1)	52	75.3%
	유출부	44	34	10	
	횡단보도	17	12	5	
	교차로내	12	10	2	
	기타	3	3	0	
노면상태	건조	183	144(1)	39	59.4%
	습기	31	23	8	
	결빙	93	71	22	30.2%
	기타	1	1	0	
사고차종	승용차	218	173(1)	45	70.7%
	영업용	9	8	1	
	봉고	18	15	3	
	트럭	44	36	8	
	이륜	9	2	7	
	기타	10	5	5	
사고원인	신호위반	0	0	0	
	중앙선침범	2	0	2	
	과속	0	0	0	
	거리미확보	7	7	0	
	교차로운행	1	0	1	
	음주	75	55(1)	20	24.4%
	안·불	221	176	45	71.1%
	기타	2	1	1	

주) ()의 내용은 사망사고건수임



〈그림 3〉 대형차량에 의한 전방시거장애

도가 높아져 다른 차종간 사고유형보다 높은 사고율을 보이는 것으로 판단된다¹²⁾.

7) 건설교통부(2002.10), "사고 잦은 곳 개선사업 업무편람 작성연구", p.133
 - 교통사고 : 도로교통법 제2조에 규정하는 도로에서 차의 교통으로 인하여 발생한 인적·물적피해가 따르는 사고를 말한다.
 - 인피사고 : 인명피해가 발생한 사망사고와 부상사고를 합친 사고를 말함.
 - 사망사고 : 교통사고가 주원인이 되어 사고 발생시로부터 30일 이내에 사망자가 발생한 사고를 말함. (1999년까지는 72시간내 사망)
 - 부상사고 : 교통사고가 주원인이 되어 3주 이상의 치료를 요하는 부상자가 발생한 『중상사고』와 5일 이상 3주미만의 치료를 요하는 부상자가 발생한 『경상사고』, 그리고 5일 미만의 치료를 요하는 부상자가 발생한 『부상신고사고』를 통틀어 말함.
 - 물피사고 : 교통사고로 인하여 사고당사자의 손상은 없지만 물적인 피해를 수반한 사고를 말함.
 8) 이재완·윤경환·박경진(2000), "후방추돌시 탑승자 목 상해 감소를 위한 연구", 한국자동차공학회논문집, 제8권 제3호, pp.130~138.
 9) 경찰의 사고관리자료(TAMS)에서는 주야시간대 구분을 주간(07:00~18:00), 야간(18:00~07:00)으로 하고 있다.
 10) 12월~2월까지의 동절기로 도로 노면이 결빙된 것으로 가정한다.
 11) 사고차종은 영업용은 택시와 버스를, 트럭에는 대형, 중형, 소형 트럭을 모두 포함한다.
 12) 〈표 2〉는 후행차량(가해차량)에 대해서만 분석한 것이며, 사고자료를 이용하여 선행차량이 대형차량인 경우에 대해 계분석한 것이다.

경찰이 조사한 후미추돌사고의 원인으로는, 안전운전의무불이행(이하 안·불)이 전체 사고의 71.1%에 해당하는 221건이고, 음주운전사고는 24.4%(75건)를 차지하는 것으로 나타났다. 이처럼 안·불이 많은 비중을 차지하는 이유는 운전자가 안전운전을 하지 않은데도 원인이 있겠으나, 법적으로 안·불이라는 용어 속에는 신호위반, 중앙선 침범, 과속 등의 개념을 포함하고 있어 경찰의 교통사고 처리과정에서 좀 더 정확한 원인으로 표현될 수 있는 대부분의 교통사고를 안·불로 처리하고 있는 실정이다. 그리고 고속도로 및 지방부 도로와 같은 연속류 도로에서 발생한 교통사고와는 달리 신호에 의해 제어되는 도시부 신호교차로에서의 과속에 의한 사고 비중이 낮은 것은 가해차량의 스키드 마크나 요 마크가 없는 한, 사고당시의 주행속도를 추정하기가 어렵기 때문이라고 판단된다.

3. 분석모형 설정

1) 독립변수 정리

후미추돌사고와 도로환경요인과의 관계 규명을 위해 4지 신호교차로를 유입부, 유출부, 횡단보도, 교차로내, 기타로 구분하였으며 사고관련 자료를 정리하면 다음과 같다.

2) 종속변수 선정

본 연구는 2004년도 청주시의 4지 신호교차로 교통사고 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 후미추돌사고를 대상으로 한 것으로 교통사고 분석방법에 따라 <표 4>와 같이 비교할 수 있다.

후미추돌사고는 106개 교차로, 308건으로 교차로당 평균사고건수는 2.907건이며, 백만진입차량당 사고율(MEV)로 환산하면 0.146건이다. 그리고 사고의 심각도를 나타내는 대물피해환산법(EPDO)에 의한 사고건수는 7.519건이다.

후미추돌사고의 심각성 및 교통사고 원인에 대한 다각적 분석을 위해 본 연구에서는 <표 5>의 후미추돌사고건수와 대물피해환산법(EPDO)에 의한 사고건수를 종속변수로 선정하여 다중회귀분석과 비선형회귀모형인 포아송회귀분석을 실시하였다.

<표 3> 후미추돌사고 독립변수 정의

독립변수	정의	기호	평균	범위
1. 일평균교통량(ADT)	첨두시간교통량×일평균보정계수 (=13.9)	X ₁	50,971	19,348~108,475
2. 평균통행속도	교차로 유입부의 한달 평균통행속도	X ₂	40.19	28~63
3. 종단경사(%)	횡단보도를 기준으로 한 상향종단경사	X ₃	1.38	0~8.60
4. 좌회전전용 신호 여부	교차로 전체에 대한 좌회전전용신호 여부 (유:1, 무:0)	X ₄	0.75	0~1
5. 좌회전전용 차로 여부	교차로 전체에 대한 좌회전전용차로 여부 (유:1 무:0)	X ₅	0.142	0~1
6. 최대차로폭원(m)	접근로 최대차로폭원	X ₆	3.85	3.0~5.5
7. 최소차로폭원(m)	접근로 최소차로폭원	X ₇	3.03	2.5~3.5
8. 횡단보도수	접근로의 횡단보도 유무(유:1 무:0)	X ₈	0.623	0~1
9. 황색시간	교차로 주도로의 황색신호시간	X ₉	3.53	3~4

주) 각 변수 값은 다음의 자료를 기초로 조사되었다.
 ① 일평균 교통량(ADT)은 공단의 「2004년 청주시 전자교통신호 운영관련 교통량 조사자료」와 이두희(2005)의 연구에서 활용한 대전시 일평균 보정계수(=13.9)¹³⁾를 적용함
 ② 평균통행속도는 청주시내 6개 가로속에 설치된 충북지방경찰청 다기능단속카메라의 2004년도 2월1일~2월29일간 차량통행속도 검지자료(5분간격×24시간 검지)와 공단의 청주시 주요가로속 상시 주행조사 자료를 이용하였음
 ③~⑨ 후미추돌사고발생지점의 도로환경요인에 대해서는 현지 조사와 청주시 전자교통신호운영 자료를 이용하였음

<표 4> 후미추돌사고 비교

지점수	총 후미추돌 사고건수	평균 사고건수 (건/지점/년)	평균사고율(MEV)	대물피해 환산법(EPDO)
106	308	2.907	0.146	7.519

<표 5> 종속변수 선정

독립변수	정의	기호	평균	범위
1. 후미추돌사 고건수	106개 교차로, 308건의 사고	Y ₁	2.90	1~17
2. EPDO	사망사고×12+부상사고×3+물피 사고치명도에 따라 가중치 부여	Y ₂	7.51	1~43

IV. 모형의 개발 및 결과분석

1. 변수간의 상관분석

변수간의 상관관계를 분석하기 위하여 신뢰수준을

13) 이두희(2005), "횡단보도 보행자의 동태적 행위관련 안전예측모형 개발", 대한토목학회논문집 제25권 제3호, pp.439~445.

95%($\alpha=0.05$)로 하였으며 사고건수(Y_1)와 EPDO(Y_2)를 종속변수로, 일평균교통량(ADT)(X_1), 평균통행속도(X_2), 종단경사(X_3) 좌회전전용신호(X_4), 좌회전전용차로(X_5), 최대차로폭(X_6), 최소차로폭(X_7), 횡단보도수(X_8), 황색시간(X_9)을 독립변수(X_i)로 이용하였다.

상관 분석결과는 <표 6>과 같으며 주요 내용은 다음과 같다.

첫째, 후미추돌사고건수(Y_1)와 밀접한 양의 상관관계를 가지고 있는 것으로는 일평균교통량(ADT)(X_1), 좌회전전용차로(X_5), 좌회전전용신호(X_4), 종단경사(X_3) 등이다. 그리고 음의 상관관계를 갖는 요인은 평균통행속도(X_2), 최대차로폭(X_6)등 인 것으로 분석되었다.

둘째, 사고의 심각도를 나타낸 EPDO(Y_2)의 경우, 사고건수(Y_1)와 동일한 변수들이 상관관계를 나타내고 있음을 알 수 있다.

따라서 후미추돌사고건수(Y_1)와 EPDO(Y_2)는 일평균교통량(ADT)이 많으며, 좌회전전용차로와 좌회전전용신호가 있는 교차로, 그리고 종단경사가 심하며 평균통행속도가 낮은 교차로에서 추돌사고가 많이 발생하며 사고의 심각도가 높은 것으로 나타났다.

2. 추정모형개발 및 결과

1) 사고건수

(1) 다중회귀분석

<표 7>의 후미추돌사고건수(Y_1)에 대한 단계별 회귀 분석 결과, 모형의 설명력(R^2)은 0.534로서 모형이 통계적으로 유의하며, 양의 상관변수는 일평균교통량(ADT),

<표 7> 다중회귀모형 (1)

모형	모형식	R^2
1	$Y_1 = 2.477 + 0.093X_1 - 0.141X_2 + 0.363X_3 + 1.146X_4$	0.534

모형	R_2	수정된 R_2	추정된 표준오차	Dubin-Watson	F	유의 확률
1	.534	.515	1.908	2.207	28.917	.000

관련변수	비 표준화계수		t	유의 확률
	B	표준오차		
(상수)	2.477	1.500	1.652	.102
ADT (X_1)	.093	.011	8.580	.000
평균통행속도 (X_2)	-.141	.033	-4.248	.000
종단경사 (X_3)	.363	.125	2.907	.004
좌회전전용신호 (X_4)	1.146	.434	2.641	.010

종단경사, 좌회전전용신호이며 음의 상관변수는 평균통행속도인 것으로 분석되었다.

(2) 포아송회귀분석

교통사고는 일반적으로 불규칙하게 발생하기 때문에 선형모형의 한계 극복과 후미추돌사고 특성을 충분히 반영하기 위해 포아송회귀분석을 이용하였다.

<표 8>의 모형개발 결과, 후미추돌사고(Y_1)는 일평균교통량(ADT)이 많을수록, 평균통행속도가 낮을수록, 종단경사가 클수록, 각 접근로별로 좌회전전용신호가 있

<표 8> 포아송회귀모형 (1)

종속 변수	모형식	독립 변수	R_p^2	R_b^2
Y_1	$Y_1 = \exp(0.9695 + 0.0246X_1 - 0.044X_2 + 0.092X_3 + 0.413X_4)$	X_1	0.711	0.637
		X_2		
		X_3		
		X_4		

<표 6> 변수간 상관분석 결과

	Y_1	Y_2	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
Y_1	1.00										
Y_2	0.91	1.00									
X_1	0.63	0.62	1.00								
X_2	-0.31	-0.30	-0.09	1.00							
X_3	0.16	0.16	-0.02	0.10	1.00						
X_4	0.22	0.20	0.10	0.06	-0.01	1.00					
X_5	0.35	0.31	0.44	-0.06	-0.01	0.17	1.00				
X_6	-0.21	-0.16	-0.26	0.14	-0.03	-0.15	-0.34	1.00			
X_7	0.19	0.00	0.02	0.08	-0.13	-0.04	-0.01	0.14	1.00		
X_8	0.14	0.12	-0.02	-0.14	-0.05	0.46	0.15	-0.13	-0.25	1.00	
X_9	-0.01	0.01	-0.14	-0.16	-0.17	0.00	-0.11	0.03	-0.02	0.14	1.00

주) pearson 상관계수

는 교차로에서 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 모형의 설명력(R_p^2)은 0.711로 나타나 종속변수가 가지고 있는 정보의 71.1%를 독립변수의 변동으로 설명할 수 있어 다중회귀모형보다는 비교적 설명력이 높은 모형이 개발되었다.

2) EPDO

(1) 다중회귀분석

후미추돌사고로 인한 사고 피해정도를 가늠하기 위해 대물피해환산법(EPDO)에 의한 사고(Y_2)와 관련변수들에 대해 단계별회귀분석을 이용하여 추정모형을 개발하였다.

〈표 9〉 다중회귀모형 (II)

모형	모형식	R^2
1	$Y_2 = 6.003 + 0.241X_1 - 0.350X_2 + 0.957X_3 + 2.604X_4$	0.501

모형	R^2	수정된 R^2	추정된 표준오차	Dubin-Watson	F	유의확률
1	.501	.481	5.219	2.067	25.350	.000

관련 변수	비 표준화계수		t	유의확률
	B	표준오차		
(상수)	6.003	4.102	1.464	.146
ADT (X_1)	.241	.030	8.164	.000
평균통행속도 (X_2)	-.350	.091	-3.858	.000
중단경사 (X_3)	.957	.342	2.801	.006
좌회전전용신호 (X_4)	2.604	1.187	2.193	.031

〈표 9〉의 모형개발 결과, EPDO(Y_2)에 대한 모형의 설명력(R^2)은 0.501로서, 관련변수들은 후미추돌사고 건수(Y_1)와 동일하며 일평균교통량(ADT)이 많을수록, 평균통행속도가 낮을수록, 중단경사가 크고, 좌회전전용신호가 있는 교차로에서 사고의 심각도가 높은 것으로 분석되었다.

(2) 포아송회귀분석

사고건수 추정모형개발과 같이 선형회귀모형의 한계 탈피와 사고의 특성과 피해정도를 충분히 반영시키기 위해 비선형회귀 분석방법인 포아송회귀분석을 이용한 EPDO 사고추정모형을 개발하였다.

〈표 10〉의 모형개발 결과, 모형의 설명력(R_p^2)은

0.638로 나타나 종속변수가 가지고 있는 정보의 63.8%를 독립변수의 변동으로 설명력이 높은 모형이 개발되었다. 그리고 관련변수로는 다중회귀모형의 영향요인과 동일한 변수들이 후미추돌사고의 심각도에도 영향을 끼치고 있는 것으로 분석되었다.

〈표 10〉 포아송회귀모형 (II)

종속 변수	모형식	독립 변수	R_p^2	R_D^2
Y_2	$Y_2 = \exp(1.870 + 0.025X_1 - 0.042X_2 + 0.095X_3 + 0.344X_4)$	X_1	0.638	0.576
		X_2		
		X_3		
		X_4		

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

청주시 4지 신호교차로에서 발생한 후미추돌사고를 대상으로 분석한 사고특성은 다음과 같다.

첫째, 동일방향, 동일차로에서 발생하는 사고특성을 감안하여, 선행차량과 후행차량의 진행방향에 따라 9개의 유형으로 세분화할 수 있다.

둘째, 차량 운전자 및 탑승자가 직접적으로 피해를 입은 심각사고(사망+부상사고)는 전체의 77.6%로 다른 사고유형들보다 사고의 심각도가 높다.

셋째, 주간(07:00~18:00)보다 야간(18:00~07:00)에 많이 발생하고 있다. 이것은 야간 운행시에는 시거의 확보가 주간보다 용이하지 않기 때문에 선행차량과의 안전거리 확보와 운영시설, 노면표시 등을 직시하기 어려울 뿐만 아니라 운전자의 심리적 요인이 추가되어 차이가 큰 것으로 판단된다.

넷째, 고속도로나 자동차전용도로와 같은 연속류 도로의 사고특성과는 달리 신호교차로의 후미추돌사고는 유입부에서 대부분 발생한다. 이것은 선행차량과의 안전거리 미확보, 선행차량에 의한 시거장애, 낮은 주행속도에서의 순간적인 제동력 상실이 있으며, 유입부의 중단경사로 인한 미끄럼 사고와 불합리한 좌회전전용운영에 기인한다고 할 수 있다.

다섯째, 사고차종(후행차량)은 주로 승용차로 분석되었다. 그리고 선행차량이 대형차량인 경우에는 후행차량이 전방의 신호등 및 교통상황을 인지할 수 없고 단순히

선행차량의 브레이크 등을 많이 의존하므로 다른 차종간 사고유형보다 높은 사고율을 보인다.

교통사고, 교통량 및 기하구조 사이의 관계를 규명하는 모형개발 결과는 다음과 같다.

첫째, 후미추돌사고(Y_1)에 대한 다중회귀모형의 설명력(R^2)은 0.534, 포아송회귀모형의 설명력(R_p^2)은 0.711로 분석되었다. 그리고 일평균교통량(ADT)이 많을수록, 평균통행속도가 낮을수록, 종단경사가 클수록, 각 접근로별로 좌회전전용신호가 있는 교차로에서 많이 발생하는 것으로 나타났다.

둘째, EPDO(Y_2)에 대한 다중회귀모형의 설명력(R^2)은 0.501, 포아송회귀모형의 설명력(R_p^2)은 0.638으로 분석되었다. 후미추돌사고는 일평균교통량(ADT)이 많으며, 평균통행속도가 낮고, 종단경사가 크며, 각 접근로별로 좌회전전용신호가 있는 교차로에서 사고의 심각도가 높은 것으로 나타났다.

이러한 후미추돌사고의 예방을 위한 도로환경적 측면에서의 개선방안은 다음과 같다.

첫째, 유입부 종단경사는 운전자의 순간적인 제동력 상실과 노면 미끄러짐으로 인한 사고를 유발할 수 있으므로, 사고예방을 위해서는 도로 포장의 제동력강화 및 미끄러짐방지를 위한 시설 개선이 필요할 것으로 판단된다.

둘째, 신호교차로는 신호에 의해 각 방향별 통행권을 부여하므로 무리한 신호운영은 사고를 유발할 소지가 높다. 따라서 교차로의 도로기하구조 특성, 규모, 교통량 및 교통안전을 감안하여 신호체계를 효율적으로 운영한다면 많은 사고유형들을 예방할 수 있을 것이다.

2. 향후 연구과제

본 연구의 목적은 청주시 4지 신호교차로를 대상으로 후미추돌사고 특성분석과 사고모형을 개발하는 것이다. 아래의 향후 연구과제들을 보완한 연구가 수행된다면, 후미추돌사고가 발생 가능한 교차로의 투자우선순위 선정과 추가적인 교통안전대책을 마련하는데 기초 자료로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

첫째, 사고특성분석은 인적요인과 차량요인 등을 복합적으로 검토하였지만, 모형개발에서는 도로환경요인만을 고려하였으므로 향후 연구에서는 인적요인과 차량요인 등을 복합적으로 고려한 모형개발이 요구된다.

둘째, 연구의 신뢰도 향상을 위해 다른 교차형태 및 비신호교차로와의 비교 검토가 필요하다. 또한 미사고

발생 교차로를 통합·분석함으로써 불규칙적이고 이산적 특성이 반영된 사고모형개발이 필요하다.

셋째, 본 연구에서는 한해년도의 자료만을 활용하여 사고모형을 개발하였으나, 향후 연구에서는 다년간의 자료를 바탕으로 한 다양한 사고모형개발이 요구된다.

참고문헌

1. 건설교통부(2002), "사고 잦은 곳 개선사업 업무편람 작성연구", p.133.
2. 김동준(2004), "개별차량 감속을 고려한 후미추돌 사고 위험도 모형개발", 서울대학교대학원 석사학위논문.
3. 김효종(1997), "교통사고 유형에 미치는 영향요인 분석에 관한 연구", 전남대학교대학원 박사학위논문.
4. 남궁현(2001), "신호교차로 교통사고 예측모형의 개발 및 적용", 전남대학교대학원 석사학위논문.
5. 도로교통안전관리공단(2005), "2004년도 청주시 전자교통신호체계 운영자료 및 교통량조사자료."
6. 박병호·류승욱(2006), "위험한 고속도로 교차점 및 연결로의 규명", 한국지역개발학회지 제18권 제2호, pp.23~42.
7. 박정순·김태영·유두선(2007), "도로환경요인과 교통사고의 상관분석 및 사고추정모형 개발 (청주시 4지 신호교차로를 중심으로)", 대한교통학회지, 제25권 제2호, 대한교통학회, pp.63~72.
8. 박정순·김태영·박병호(2007.5), "청주시 4지 신호교차로의 후미추돌사고 분석.", 대한교통학회 제56회 학술발표회, 대한교통학회, pp.247~256.
9. 이두희(2005), "횡단보도 보행자의 동태적 행위관련 안전예측모형 개발", 대한토목학회논문집 제25권 제3호 pp.439~445.
10. 이재완·윤영한·박경진(2000), "후방추돌시 탑승자 목 상해 감소를 위한 연구", 한국자동차공학회 논문집 제8권 제3호, pp.130~138.
11. 엄광태·이영인(2002), "미시적 시뮬레이터를 이용한 도로 안전성 평가", 대한교통학회 제42회 학술발표회, 대한교통학회, p.152.
12. 정성봉(2003), "미시적 주행특성을 이용한 도로의 평면선형 안전성 평가 모형개발", 서울대학교 토목공학과대학원 박사학위논문.

13. Abdel-Aty, M. Abdelwahab, H(2004), "Modeling Rear-end Collision including the Role of Driver's Visibility and Light Truck Vehicles using a Nested Logit Structure", AAP 36, pp.447~456.
14. E.Hauer, J.C.N. Ng, and J.Lovell(1988), "Estimation of Safety at Signalized Intersections", TRR 1185, pp.48~61.
15. FHWA(2004), "Signalized Intersections : Informational Guide".
16. Graham, J.(2001), "Civilizing the Sport Utility vehicle". Issues Sci, Technol. 17(2), pp.57~72.
17. ITS Joint Proqraming Office(1999), "Problem Area Descriptions: Motor Vehicle Crashes-Data Analysis and VI Program Emphasis", Washington, DC.
18. Kosttyniuk, L., Eby, D(1998), "Exploring Rear-End Roadway Crashes from the Driver's Perspective", Human Factors Division, Transportation Research Institute, Michigan University, Ann, Arbor.
19. Poch,M., Mannering, F(1996), "Negative Binomial Analysis of Intersection Accident Frequencies", J. Transport. Eng.122, pp.105~113.
20. Roess, G.P. Prassas. E.S.,McSahne, R(2004), "Traffic Engineering 3rd ed." Pearson Prentic-Hall.
21. Strandberg. L(1998), "Winter braking tests with 66 drivers, different tires and disconnectables ABS", Paper presented at International Workshop on Traffic Accident Reconstruction, Tokyo.
22. Xuedong Yan, Essam Radwan(2005), "Characteristics of Rear-End Accidents at Signalized Intersections using Multiple Logistic Regression Model", AAP 37, pp.983~995.
23. Xuesong Wang, Mohamed Abdel-Aty(2006), "Temporal and Spatial Analyses of Rear-End Crashes at Signalized Intersections", AAP 1325.

✉ 주 작성자 : 박병호

✉ 교신저자 : 박병호

✉ 논문투고일 : 2007. 5. 19

✉ 논문심사일 : 2007. 7. 4 (1차)

2007. 7. 20 (2차)

2007. 7. 31 (3차)

✉ 심사판정일 : 2007. 7. 31

✉ 반론접수기한 : 2008. 2. 29