

청주시 4지 신호교차로의 후미추돌사고 분석

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

박 정 순

김 태 영

박 병 호

(충북대학교 도시공학과 박사수료) (충북대학교 도시공학과 박사과정) (충북대학교 도시공학과 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 내용 및 방법
 - II. 이론적 배경
 - 1. 후미추돌사고 연구의 동향
 - 2. 기존 연구와의 차별성
 - III. 분석틀의 설정
 - 1. 4지 신호교차로사고 특성분석
 - 2. 후미추돌사고 특성분석
 - 3. 분석모형 설정
 - IV. 가설검정
 - 1. 귀무가설 설정
 - 2. 귀무가설 검정
 - V. 모형개발 및 결과분석
 - 1. 변수간의 상관관계
 - 2. 추정모형 개발 및 결과
 - VI. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

2004년도 청주시의 총 교통사고는 3,115건이 발생했으며, 4지 신호교차로 교통사고는 1,183건(38%)으로 그 중 후미추돌사고는 308건(약 26%)이 발생하였다. 신호교차로에 발생하는 후미추돌사고는 도로환경요인(신호운영방법, 교차로 기하구조 형태, 종단경사, 노면상태 등)과 인적요인(운전자의 심리상태) 그리고 차량요인 등 복합적인 관계에 의해 발생한다. 이러한 후미추돌사고는 후행차량이 선행차량의 후미를 추돌하여 선행차량 운전자에게 심한 목뼈 부상을 일으키게 하거나 여러 가지 형태의 대형 사고를 일으키는 원인이 되기도 한다.

2004년도 청주시 4지 신호교차로 전체를 대상으로 사고자료를 분석한 결과 106개 교차로에서 308건의 후미추돌사고가 발생하였다. 후미추돌사고에 있어서 심각사고(사망사고를 포

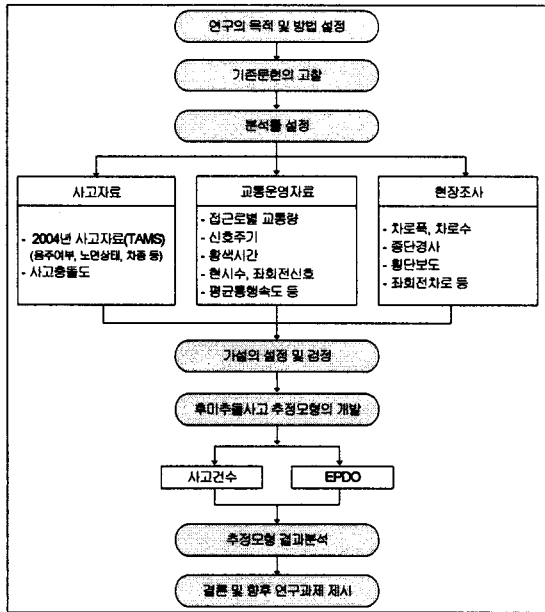
함하는 중상이상의 사고)는 239건(77.6%)이 발생했으며, 물피사고는 69건(22.4%)에 지나지 않아 후미추돌사고의 심각도가 매우 높음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 후미추돌사고의 심각성을 인식하고 사고의 특성분석과 사고추정모형을 개발하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

4지 신호교차로에서 발생하는 후미추돌사고 특성분석과 추정모형 개발을 위해 충북지방경찰청의 2004년도 사고분석자료(TAMS)¹⁾를 이용하여 사고 당시의 날씨, 노면상태, 시간, 차종, 법규위반여부 등의 자료를 얻었다. 또한 도로교통안전관리공단(이하 공단)의 사고충돌도를 통해 사고위치, 사고유형 등의 자료와 공단에서 자체 조사한 「2004년 청주시 전자교통신호체계 운영 및 교통량자료」를 통해 신호운영 및 교통조건에 대한 자료를 수집하였다. 그리고 현장조사를 통해서 일평균교통량(ADT), 평균

1) 운전자의 연령, 성별, 운전경력 등 인적요인에 대한 자료는 개인정보 보호라는 관련규정상 취득할 수 없음.

통행속도, 차로폭, 종단경사, 현시수, 횡단보도수 등과 같은 자료를 수집하였으며, 이러한 관련변수들을 정리한 후 통계프로그램인 LIMDEP 8.0으로 다중회귀분석과 포이송회귀분석을 이용하여 사고추정모형을 개발하였다.



<그림 1> 연구수행과정도

II. 기존 문헌 고찰

1. 후미추돌사고 연구의 동향

교통사고는 여러 요인 중 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 후미추돌사고건수 관련 모형을 대상으로 한 연구가 활발히 진행되고 있다.

1) 인적요인 관련 연구

Kostyniuk and Eby(1998)는 선행차량이 갑자기 정지하거나 급감속을 할 때 후행차량 운

전자의 인지 및 반응여부에 따라 후미추돌사고가 발생한다고 하였다. ITS Joint Program Office(1999)는 후미추돌사고 원인의 약 92%는 후행 운전자의 주의력 결핍, 선행차량과의 짧은 차간거리, 추종 실패 때문이라고 그의 논문에서 밝혔다.

Singh(2003)는 후미추돌사고는 운전자의 연령과 성별에 따라 위험요인에 대한 인지반응의 차이가 있음을 규명하였다.

2) 차량요인 관련 연구

Strandberg(1998)는 그의 논문에서 차량의 크기 및 형태에 따라 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 없어서 선행차량이 갑작스럽게 정지를 하거나 급감속을 할 경우 사고가 발생하므로 운전자의 시거확보가 후미추돌사고 예방에 매우 필수적이라고 주장하였다.

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

신호교차로에 있어서 후미추돌사고는 신호운영방법, 교차로 기하구조 형태, 종단경사, 노면상태 등과 같이 인적요인이나 차량요인과는 무관한 도로환경 요인에 의해서도 발생할 수도 있다.

Roess(2004)는 신호교차로에 있어서 연속되어 이동하는 교통류를 신호규제에 의해 단절시킬 경우에 후속의 차량들은 이를 인지하지 못하여 추돌사고로 연계되는 경우가 있음을 밝혀냈다.

Yan(2005)은 신호교차로에서 후미추돌사고의 특성분석을 위해 관련변수를 도로환경적 요인뿐만 아니라 인적·차량요인(중앙분리대, 사고지점의 차로수, 제한속도, 노면상태, 운전자의 연령, 성별, 운전경력, 음주, 약물복용, 차종 등)을 복합적으로 이용하여 이항 로지스틱 회귀모형을 개발하였다.

4) 사고건수 관련연구

Poch and Mannering(1996)은 음이항 회귀식을 이용하여 7년간(1987~1993년) 66개 4지 신호·비신호교차로 접근로를 대상으로 후미추돌사고건수 모형을 개발하였다.

Mitra(2002)는 8년간(1992~1999) 싱가포르에 4지 신호교차로 52개소의 주·부도로를 대상으로 후미추돌사고건수 모형의 개발을 위해 Zero-inflated Poission(ZIP)식을 이용하였다.

5) 국내 연구

엄광태·이영인(2002)은 후미추돌사고의 위험에 대해, 선행차량이 급정지할 경우 선행차량과 추돌하지 않기 위한 최소안전정지시거와 두 차량간의 차간거리를 비교하여 계산하였다. 하지만 다중추돌사고와 같이 복잡하게 발생한 후미추돌사고의 위험에 대해서는 설명하지 못하는 한계를 갖고 있다.

정성봉(2004)은 서울시 도시고속도로 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 대상으로 활발하게 연구되고 있다. 그러나 아직까지 국내의 연구들은 후미추돌사고에 대한 연구가 미흡한 편이며 대부분의 연구들은 위험도평가에 대한 모형만을 개발하고 있다. 따라서 본 연구는 청주시의 4지 신호교차로 전체에서 발생한 후미추돌사고를 대상으로 사고당시의 인적/차량/도로환경 자료를 이용하여 추돌사고의 특성분석과 추정모형을 개발함에 의의가 있다고 할 수 있다.

III. 분석틀의 설정

1. 4지 신호교차로사고 특성분석

우리나라의 교통사고분석에서는 충돌당시의 사고유형에 따라 차대사람, 차대차(정면충돌, 추돌, 나란히 접촉, 측면직각, 접촉, 차로변경 접촉, 기타), 차량단독(고정물체, 전복, 추락, 차내 사고), 차대 열차, 기타 등 14가지로 구분하고 있다.

<표 1> 4지 신호교차로사고 특성분석

사고 유형	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
건수	300	22	81	12	67	17
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	9	10	10	24	4
사고 유형	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)
건수	121	34	0	118	7	42
사고 유형	(25)	소계				
건수	10	1,183				

Hauer(1988)는 차대 차 교통사고 형태를 차량 진행방향에 따라 15개 패턴으로 구분하고 있으며 미국의 FHWA(2004)²⁾에서는 사고유형을 22개로 구체화하여 분석하고 있다. 그러나 이러한 구분은 모호한 표현으로 판단되어, 본 연구에서는 미국 FHWA(2004)에서 제시한 22개 사고유형을 기본 패턴으로 하되 이륜차사고와 유턴 사고패턴을 추가하여 <표 1>과 같이 총 25개의 유형으로 세분화하였다.

2. 후미추돌사고 특성분석

<표 2>와 같이 후미추돌사고를 심각사고와 물피사고로 구분하여 분석한 결과, 심각사고는 전체사고의 77.6%를 차지하여 후미추돌사고의 대부분이 중상 이상의 사고로 이어지고 있음을 알 수 있다.

2) FHWA(2004), "Signalized Intersections: Informationl Guide", p.131

<표 2> 후미추돌사고 특성분석

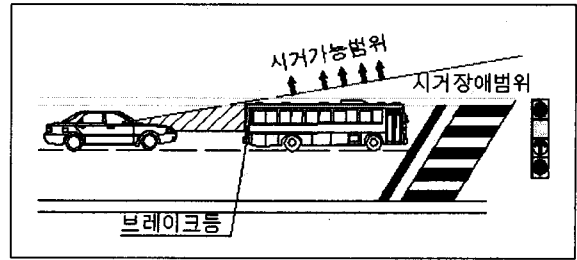
구분	계	심각 사고	물피 사고	비율 (%)
시간대	주간	134	107	27
	야간	174	132(1)	42
	계	308	239	69
사고위치	유입부	232	180(1)	52
	유출부	44	34	10
	횡단보도	17	12	5
	교차로내	12	10	2
	기타	3	3	0
사고차종 ³⁾	승용차	218	173(1)	45
	영업용	9	8	1
	봉고	18	15	3
	트럭	44	36	8
	이륜	9	2	7
	기타	10	5	5
	노면상태 ⁴⁾	건조	183	144(1)
습기	31	23	8	
결빙	93	71	22	
기타	1	1	0	
사고원인	신호위반	0	0	0
	중앙선침범	2	0	2
	과속	0	0	0
	거리미확보	7	7	0
	교차로운행	1	0	1
	음주	75	55(1)	20
	안·불	221	176	45
	기타	2	1	1

주) ()의 내용은 사망사고건수임

이는 후행차량이 선행차량을 추돌시, 운전자 및 탑승자는 차량이 앞으로 갑자기 가속하게 됨에 따라 탑승자의 상체는 차량과 같은 속도로 이동하나, 머리는 상체와 견고하게 지지되지 못하기 때문에 상체보다 0.5~0.6배 늦게 이동하여 피해자의 약 50% 이상이 목상해나 중상이상의 피해를 입기 때문이다.

사고를 발생시간대별로 비교하면, 주간보다는 야간에 사고가 더 많이 발생하였으며, 발생위치로는 유입부에서 전체 추돌사고의 75.3%가 일어났다. 사고차종(후행차량)으로는 승용차가 218대로 전체 사고의 70.7%를 차지하였다. 그리고 <그림 2>와 같이 전방의 신호등 및 교통류상황을 파악하기 어려운 경우, 즉 선행차량이 대형차량인 경우에 발생한 사고는 62대(20.1%)에 해당하였으며⁵⁾ 추돌사고로 인한 운전자의 피해정도는 모두가 중상이상의 심각사고인 것으로 나타났다.

- 3) 사고차종에 있어서 영업용은 택시와 버스를 나타내며, 트럭에는 대형, 중형, 소형 트럭을 모두 포함함
- 4) 12월~2월까지의 동절기로 도로의 노면이 결빙된 것으로 가정함
- 5) 대형차량에는 트럭(대, 중, 소) 및 버스를 포함함

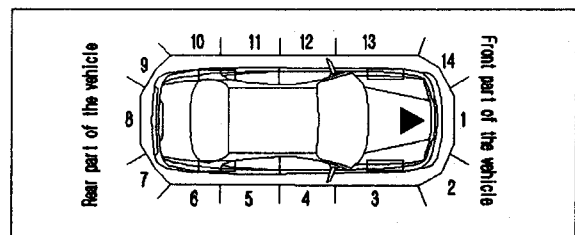


<그림 2> 대형차량에 의한 전방시거장애

노면상태에서는 건조한 노면의 경우 59.4%의 사고가 발생하였으며 결빙되어 미끄러운 노면의 경우 30.2%의 사고가 발생하였다. 사고원인에 따라 분류하면, 안전운전의무불이행사고(이하 안·불)가 219건(71.1%), 음주운전사고가 75건(24.4%) 발생하였다. 안·불이 많은 비중을 차지하는 이유는 운전자가 안전운전을 하지 않은데 그 원인이 있겠으나, 좀 더 정확한 원인으로 표현될 수 있는 대부분의 교통사고도 안·불로 집계됐기 때문이다.

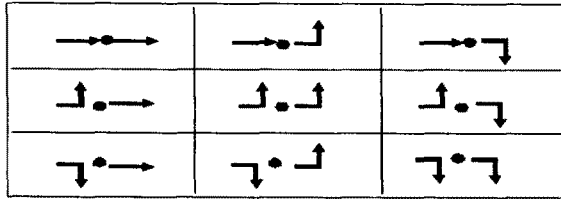
법적으로 안·불이라는 용어 속에는 신호위반, 중앙선 침범, 과속 등의 개념도 포함되어 있고 매우 포괄적으로 적용하고 있어 교통사고원인의 정확한 집계에는 다소 부족한 표현이라 판단된다. 과속에 의한 도시부 신호교차로 사고분석은 가해차량의 스키드 마크나 요마크가 없는 한 당시 주행속도를 예측하기 어렵기 때문에 비중이 낮은 것으로 분석되었다.

후미추돌사고는 선행차량과의 안전거리를 유지하지 못하여 발생하는 사고로서 <그림 3>의 DHSMV의 차량충돌 위치 표기법에 따라 선행차량의 7, 8번 또는 9번 부분과 후행차량의 1, 2번 또는 14번 부분이 서로 충돌하게 된다. 두 차량의 차두간격이 좁을수록 위험하며, 일정한 차두간격을 유지하고 있는 경우, 선행차량의 속도보다 후행차량의 속도가 높을수록 사고의 위험성은 더욱 커진다.



<그림 3> DHSMV의 차량충돌 위치 표기법⁶⁾

이러한 후미추돌사고는 동일방향, 동일차로에서 발생하는 특성을 고려하여 <그림 4>와 같이 9개의 유형으로 세분화할 수 있다.



<그림 4> 후미추돌사고 유형 분류

3. 분석모형 설정

1) 독립변수 정리

후미추돌사고와 도로환경적 요인과의 관계 규명을 위해 다섯 가지로 구분하여 관련 자료를 수집하였으며 수집방법 및 정의는 다음과 같다.

<표 3> 후미추돌사고 독립변수 정의

독립변수	정 의	기호	평균	범위
1. 일평균교통량 (ADT)	첨두시간교통량× 일평균 보정계수 (=13.9)	X ₁	50,971	19,348~108,475
2. 평균통행속도	교차로 유입부의 한달 평균통행속도	X ₂	40.19	28~63
3. 중단경사 (%)	횡단보도를 기준으로 한 상향중단경사	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)⁷⁾ 적용

- 6) Xuedong Yan, Essam Radwan(2005), "Characteristics of Rear-End Accidents at Signalized Intersections using Multiple Logistic Regression Models", AAP, p.985.
7) 이두희(2005), "횡단보도 보행자의 동태적 행위관련 안전예측모형 개발", 대한토목학회논문집 제25권 제3호 pp.439~445.

각 년도	보정계수
2000	13.7
2001	13.9
2002	14.0
2003	14.0
평균값	13.9

- ② 평균통행속도는 청주시내 6개 가로축상에 설치된 충북지방경찰청 다기능단속카메라의 2004년도 2월1일~2월29일간 차량 통행속도 검지자료(5분간격×24시간 검지)와 공단의 청주시 주요가로축 상시 주행조사 자료를 이용하였음
③~⑨ 후미추돌사고발생지점의 도로환경요인에 대해서는 현장 조사와 청주시 전자교통신호운영 자료를 이용하였음

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.

<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

후미추돌사고는 106개 교차로, 308건의 사고로 교차로당 2.907건이 발생하였다. 이를 백만 진입차량당 사고율(MEV)로 환산하면 0.146건이며 대물피해환산법(EPDO)에 의한 사고건수는 7.519이다.

따라서 본 연구에서는 후미추돌사고의 심각성 및 교통사고 원인에 대한 다각적 분석을 위해 포아송 회귀분석을 이용하여 후미추돌사고건수와 대물피해환산법(EPDO)에 의한 사고건수를 종속변수로 선정하였다.

<표 5> 종속변수 선정

독립변수	정 의	기호	평균	범위
1. 후미추돌 사고건수	106개 교차로에서 발생한 308건의 후미추돌사고	Y ₁	2.90	1~17
2. EPDO 사고건수	사망사고×12+부상사고×3+ 물적피해, 사고치명도에 따라 가중치 부여	Y ₂	7.51	1~43

IV. 가설검정

1. 귀무가설 설정

도로환경 요인이 후미추돌사고에 미치는 영향분석을 위한 기초단계로서, 기존의 논문에서 연구되지 않았던 가설을 규명하고자 한다. 후미추돌사고가 많이 발생하는 유입부의 평균통행

속도, 유입부의 종단경사, 좌회전전용신호 및 좌회전전용차로 여부와 후미추돌사고의 관계를 검증하기 위한 귀무가설은 다음과 같다.

<p>귀무가설 I : 유입부의 평균통행속도에 대한 평균사고건수, 평균사고율 및 EPDO는 동일하다.</p> <p>귀무가설 II : 유입부의 종단경사에 대한 평균사고건수, 평균사고율 및 EPDO는 동일하다.</p> <p>귀무가설 III : 각 접근로별로 좌회전전용신호가 모두 존재하는지 여부에 대한 평균사고건수, 평균사고율 및 EPDO는 동일하다.</p> <p>귀무가설 IV : 각 접근로별로 좌회전전용차로가 모두 존재하는지 여부에 대한 평균사고건수, 평균사고율 및 EPDO는 동일하다.</p>

2. 귀무가설 검증

1) 귀무가설 I의 검증

교차로 유입부의 평균통행속도를 40km/h 미만(1그룹)과 40km/h 이상(2그룹)으로 구분한 가설검정결과는 <표 6>와 같다.

<표 6> 귀무가설 I의 검증결과

■ 평균통행속도에 대한 검증

구분 (교차로수)	평균 사고건수	평균사고율 (MEV)	EPDO
1 (46)	3.478	0.171	8.848
2 (60)	2.466	0.130	6.500

주) 그룹별 범위 1 그룹 : 40km/h 미만, 2 그룹 : 40km/h 이상

■ 가설 검증결과

구분	검정값 =0				
	t	유의확률 (양쪽)	평균차	95% 신뢰구간 하한 상한	
평균사고건수	1.906	0.059	1.011	-0.040	2.064
평균사고율	2.290	0.024	0.041	.005	0.077
EPDO	1.667	0.099	2.347	-0.445	5.140

귀무가설 I의 검증결과, 평균사고율은 신뢰수준 95%에서 차이가 있었으며 평균사고건수와 EPDO는 신뢰수준 90%에서 차이가 있다고 결론지을 수 있다. 또한 평균통행속도가 40km/h 미만인 교차로수가 40km/h 이상인 교차로수보다 적지만 후미추돌사고의 평균사고건수, 사고율, EPDO는 더 높았다. 이는 후미추돌사고의 특성

을 잘 설명하는 것으로 평균통행속도가 낮은 상태에서 운전자의 운전조작 미숙과 전방 주시 태만 등에 의해 사고가 빈번하게 발생하고 있음을 의미한다.

2) 귀무가설 II의 검증

교차로 유입부의 종단경사에 대한 가설검정 결과는 <표 7>와 같으며, 종단경사가 1%이하(1그룹)인 경우보다 1.5%이상(2그룹)에 속하는 교차로에서의 평균사고건수, 평균사고율(MEV), EPDO가 더 높은 것으로 분석되었다. 이러한 종단경사에 따른 평균사고건수, 평균사고율, EPDO는 동일하다는 귀무가설은 신뢰수준 95%에서 차이가 있다고 결론지을 수 있다. 이는 신호교차로 유입부의 종단경사가 후미추돌 사고 등에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

<표 7> 귀무가설 II의 검증결과

■ 종단경사에 대한 검증

구분 (교차로수)	평균 사고건수	평균사고율 (MEV)	EPDO
1 (53)	2.245	0.126	5.588
2 (53)	3.507	0.169	9.151

주) 그룹별 범위 1 그룹 : 1.0% 이하, 2 그룹 : 1.5% 이상

■ 가설 검증결과

구분	검정값 =0				
	t	유의확률 (양쪽)	평균차	95% 신뢰구간 하한 상한	
평균사고건수	-2.544	0.012	-1.320	-2.350	-0.291
평균사고율	-2.409	0.018	-0.043	-0.079	-0.007
EPDO	-2.369	0.020	-3.264	-5.996	-0.531

3) 귀무가설 III의 검증

각 접근로별로 좌회전전용신호가 모두 존재하는지 여부에 대한 가설검정 결과는 <표 8>에 나타나 있다.

<표 8> 귀무가설 III의 검증결과

■ 좌회전전용신호 여부에 대한 검증

구분 (교차로수)	평균 사고건수	평균사고율 (MEV)	EPDO
1 (26)	1.846	0.234	5.038
2 (80)	3.250	0.441	8.325

주 : 그룹별 범위

1 그룹 : 좌회전전용신호 무 (비보호, 좌회전금지 등)

2 그룹 : 좌회전전용신호 유 (좌회전전용신호, 선행좌회전 등)

■ 가설 검정결과

구분	검정값 =0				
	t	유의확률 (양측)	평균차	95% 신뢰구간	
				하한	상한
평균사고건수	-2.315	0.023	-1.404	-2.606	-0.201
평균사고율	-3.226	0.002	-0.206	-0.333	-0.079
EPDO	-2.039	0.044	-3.286	-6.483	-0.090

좌회전전용신호가 4방향 모두 있는 교차로는 80개소, 하나도 없는 교차로는 26개소로 조사되었다.

4) 귀무가설 IV의 검정

<표 8>의 좌회전전용신호 여부에 대한 가설 검정결과와 마찬가지로 <표 9>의 좌회전전용차로 여부에 대한 각 그룹별 교차로수는 약 3배 정도 차이를 보이고 있다.

<표 9> 귀무가설 IV의 검정결과

■ 좌회전전용차로 여부에 대한 검정

구분 (교차로수)	평균 사고건수	평균사고율 (MEV)	EPDO
1 (91)	2.222	0.360	6.604
2 (15)	5.267	0.573	13.067

주) 그룹별 범위 1 그룹 : 좌회전전용차로 무
2 그룹 : 좌회전전용차로 유

■ 가설 검정결과

구분	검정값 =0				
	t	유의확률 (양측)	평균차	95% 신뢰구간	
				하한	상한
평균사고건수	-3.827	0.000	-2.750	-4.175	-1.325
평균사고율	-2.653	0.009	-0.213	-0.372	-0.053
EPDO	-3.352	0.001	-6.462	-10.284	-2.639

그러나 가설검정결과 좌회전전용신호와 전용차로가 없는 교차로에서 평균사고건수 및 사고율, EPDO가 낮게 분석되었다. 따라서 청주시의 4지 신호교차로에서는 좌회전전용신호와 좌회전차로가 후미추돌사고발생에 상당한 영향을 미치는 요인으로 나타났으며, 사고예방과 교통지체 최소화를 위해서는 현지역건에 부합되는 좌회전 처리방안에 대한 검토가 필요한 것으로 나타났다.

V. 모형의 개발 및 결과분석

1. 변수간의 상관분석

종속변수인 후미추돌사고건수(Y_1)와 EPDO 사고건수(Y_2)와 관련변수의 상관분석을 위하여 신뢰수준을 95%($\alpha=0.05$)로 하였으며 변수 간 상관분석 결과는 <표 10>와 같다.

<표 10> 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

종속변수와 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 이용한 단계적 회귀분석(Stepwise Regression Analysis)을 실시하였다. 또한 단계적 회귀분석모형의 한계를 극복하기 위해 Limdep 8.0을 이용, 포아송 회귀분석을 통해 설명력이 높은 모형을 구축하였다.

2. 추정모형 개발 및 결과

1) 사고건수 추정모형개발 및 결과

(1) 다중회귀분석

후미추돌사고의 심각성 및 특성분석에 있어서 유의성이 떨어지는 변수들이 제거되는 단계별 회귀분석(Stepwise Regression Analysis)을 이용하여 후미추돌사고 추정모형을 개발하였다.

<표 11> 사고건수 다중회귀분석 추정모형

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	0.000
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		
중단경사 (X ₃)	.363	.125	2.907	.004		
좌회전전용신호 (X ₄)	1.146	.434	2.641	.010		

<표 11>의 결과, 후미추돌사고건수(Y₁)에 대한 설명계수 (R²)=0.534이며, F값이 28.917, 유의확률이 0.000으로 모형이 통계적으로 유의하며 주요 변수는 일평균교통량(ADT), 평균통행속도, 중단경사, 좌회전전용신호로 분석되었다.

(2) 포아송 회귀분석

교통사고는 일반적으로 불규칙하게 발생하기 때문에 선형모형으로 분석하기에는 다소 한계가 있다. 따라서 이와 같은 한계를 해결하여 교통사고의 특성을 충분히 반영하기 위해 비선형 회귀 분석 방법인 포아송 회귀분석을 이용하여 추정모형을 개발하였다.

<표 12> 사고건수 포아송 회귀분석 추정모형

종속 변수	모형식	독립 변수	R _P ²	R _D 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		

따라서, 후미추돌사고(Y₁)는 일평균교통량이 많을수록, 평균통행속도가 낮을수록, 중단경사가 높을수록, 각 접근로별로 좌회전전용신호가 있는 교차로에서 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 모형 개발결과, 모형의 설명력(R_P²)은 0.711로 나타나 종속변수가 가지고 있는 정보의 71.1%를 독립변수의 변동으로 설명할 수 있는 설명력이 높은 모형이 구축되었다.

2) EPDO 추정모형개발 및 결과

(1) 다중회귀분석

후미추돌사고로 인한 피해정도를 가늠하기 위해 대물피해환산법(EPDO)에 의한 사고(Y₂)와 관련변수들에 대해 단계별 회귀분석(Stepwise Regression Analysis)을 이용 EPDO 사고에 대한 모형을 개발하였다.

<표 13> EPDO 다중회귀분석 추정모형

모형	모형식					R ²
1	Y = 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	유의 확률
1	.501	.481	5.219	2.067	25.350	.000
관련 변수	비 표준화계수		t	유의 확률		
	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 12>의 결과, EPDO사고건수(Y₂)에 대한 모형의 설명계수 (R²)=0.501이며, F값이 25.350, 유의확률이 0.000으로 모형이 통계적으로 유의하며, 주요변수로는 일평균교통량(ADT), 평균통행속도, 상향중단경사, 좌회전전용신호가 주요 영향요인인 것으로 나타났다.

(2) 포아송 회귀분석

사고건수 추정모형개발에서와 같이 선형회귀 모형의 한계 탈피와 후미추돌사고의 특성과 사고의 피해정도를 충분히 반영시키기 위해 비선형회귀 분석방법인 포아송 회귀분석을 이용하여 EPDO 사고 추정모형을 개발하였다.

<표 14> EPDO 포아송 회귀분석 추정모형

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		

모형개발결과, 모형의 설명력(R_p^2)은 0.638로 나타나 종속변수가 가지고 있는 정보의 63.8%를 독립변수의 변동으로 설명할 수 있는 설명력이 높은 모형이 구축되었다. 독립변수는 다중회귀분석과 동일한 성격의 교차로에서 후미추돌사고의 심각도가 높은 것으로 분석되었다.

VI. 결론 및 향후연구과제

1. 결론

본 연구는 2004년도 청주시 4지 신호교차로 전체를 대상으로 후미추돌사고의 특성분석과 사고추정모형을 개발하는데 목적을 두었다. 교통사고는 불규칙적이며 간헐적으로 발생하기 때문에 이산분포를 따르는 포아송 회귀분석을 이용하였으며 모형개발결과는 다음과 같다.

후미추돌사고의 심각성 및 특성분석을 위해 EPDO 모형식의 설명력(R_p^2)은 0.638로 변수들 간의 상관관계가 비교적 높게 나타났으며 주요 영향요인으로는 일평균교통량(ADT), 평균통행속도, 종단경사, 좌회전전용신호로 분석되었다.

① ADT(일평균교통량)은 교통사고에 밀접한 관련성이 있는 변수로 확인되었기 때문에 교통량이 집중되는 교차로의 안전성 확보를 위한 신호체계 개선, 기하구조개선, 야간조명시설 보강 등 다각적인 개선이 요망된다.

② 후미추돌사고가 발생한 교차로 접근로의 평균통행속도는 청주시내 주요 교차로에 설치된 다기능단속카메라로 2004년 2월 한달동안 조사된 자료와 청주시 신호체계 개선을 위한 공단의 상시 주행조사 자료를 이용하였다. 후미추돌사고는 고속도로나 자동차전용도로와 같은 연속류 도로의 사고특성과는 달리 신호교차로 유입부에서 주로 발생하는 사고로서 선행차량과의 안전한 거리 미확보와 제동력 손실 등 주행속도가 낮은 유입부에서 주로 발생하였다.

③ <표 2>의 후미추돌사고 특성분석결과, 후미추돌사고의 75.3%가 하향경사보다는 상향경사 유입부에서 많이 발생하였다. 유입부의 종단경사는 운전자의 순간적인 제동력 상실과 노면 미끄럼으로 인한 사고를 유발할 수 있기

때문에 선행차량과의 충분한 안전거리 확보와 도로포장면에 대한 시설 개선이 필요하다.

④ 사고가 발생한 교차로들은 규모나 교통량에 무관하게 좌회전신호가 운영되기도 하고, 좌회전전용신호의 부여가 어려운 곳에서조차 신호를 부여하고 있어 현장상황에 맞게 신호체계의 변화가 요망된다.

결론적으로, 후미추돌사고의 원인으로는 많은 교통량, 선행차량과의 완충공간(Space cushion)부족에 의한 추종 실패와 짧은 차간거리에서의 앞차와의 상대적인 속도, 차간거리 변화에 대한 운전자의 지각 실수, 효율적이지 못한 좌회전처리방법과 교차로 유입부의 종단경사 등에 기인한다고 할 수 있다.

2. 향후 연구과제

본 연구에서 제시한 사고추정모형은 향후 아래와 같은 과제를 보완해야 한다.

첫째, 사고특성분석은 인적요인과 차량요인 등을 복합적으로 검토하였지만 사고추정모형 개발에 있어서는 도로환경 요인만을 고려하였으므로 향후 연구에서는 인적요인과 차량요인 등을 복합적으로 고려한 모형개발이 필요하다.

둘째, 연구의 신뢰도 향상을 위해 다양한 교차로형태 및 신호유무에 따른 교차로간의 비교연구가 요구된다.

셋째, 후미추돌사고가 발생한 교차로와 발생하지 않은 교차로를 통합하여 분석함으로써 후미추돌사고의 불규칙적인 이산적 특성이 반영된 사고 추정모형의 개발 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 김동준(2004), "개별차량의 감속을 고려한 후미추돌사고 위험도 모형 개발", 서울대학교 대학원 석사학위논문.
2. 류승욱(2005), "고속도로 교차점의 기하구조와 교통사고의 관계분석 및 모형분석", 충북대학교 박사학위논문.
3. 박병호·류승욱(2006), "위험한 고속도로 교차점 및 연결로의 규명", 한국지역개발학회지 제18권 제2호, pp.23~42.

4. 박정순(2006), “도로환경요인과 교통사고의 상관성분석 및 사고예측모형 개발, 대한교통학회 제 53회 학술발표회”, pp 350-359.
5. 이두희(2005), “횡단보도 보행자의 동태적 행위관련 안전예측모형 개발”, 대한토목학회논문집 제 25권 제3호 pp.439~445.
6. 엄광태, 이영인(2002), “미시적 시뮬레이터를 이용한 도로 안전성 평가”, 대한교통학회 제42회 학술발표회.
7. 정성봉(2003), “미시적 주행특성을 이용한 도로의 평면선형 안전성 평가 모형개발”, 서울대학교 토목공학과 도시공학전공, 박사학위논문.
8. 도로교통안전관리공단(2005), “2004년도 청주시 전자교통신호체계 운영자료 및 교통량조사자료.”
9. Xuedong Yan, Essam Radwan(2005), Characteristics of rear-end accidents at signalized intersections using multiple logistic regression model”, AAP 37, pp.983-995.
10. Xuesong Wang, Mohamed Abdel-Aty(2006), “Temporal and spatial analyses of rear-end crashes at signalized intersections”, AAP 1325.
11. FHWA(2004), “Signalized Intersections : Informational Guide”.