

통계적기법을 이용한 신호위반 분석 (충청북도 4지 신호교차로를 중심으로)

Red Light Violations Analysis Using Statistical Methods - in case of Chungbuk 4-Legged Signalized Intersections -

박 정 순 Park, Jeong Soon	정희원 · 도로교통공단 충북지부 · 공학박사 (E-mail : js1487@hanmail.net)
김 윤 환 Kim, Yun Hwan	정희원 · 충북도청 교통주무관 · 박사수료 (E-mail : corea551@korea.kr)
정 우 택 Jung, Woo Teak	비희원 · 도로교통공단 사고조사처장 · 박사수료 (E-mail : jw2004@hanmail.net)

ABSTRACT

This case study investigated red light violations at CBD, suburban and rural signalized intersections in chungbuk. The goal of this study is to understanding the collection between red light violations and various driver, vehicles and environmental factors. This study uses descriptive statistics analysis and logistics analysis with SPSS 12.0 software. The major results of this study are as follows. First, red light violations occurred at rural and CBD more than suburban area. Second, About 81.1% of the violators were traveling at or below the posted speed limit. Moreover, 77.3% of the violations occurred within 2 seconds after the on set of red light. Finally, the logistic regression model, which is statistically significant(chi-square=0.000, McFadde=0.265)was developed, and includes the local type(CBD/suburban/rural), violators' gender, season, vehicle type, time of day, vehicle speed as the independent variables. In this study did not find significant relationship between red light violators' age and their driving behavior approaching signalized intersections.

KEYWORDS

red light violation, red light camera, CBD/suburban/rural, posted speed limit, signalized intersection.

요지

본 연구는 충청도내 도심부/도시외곽부/지방부 신호교차로에서의 신호위반에 관한 것이다. 연구의 목적은 신호위반과 다양한 인적, 차량 및 도로환경요인의 관계를 이해하고자 함에 있다. 본 연구의 기술통계와 로지스틱 분석을 위해서 SPSS 12.0을 이용하였다. 분석된 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 신호위반은 도시외곽부보다는 지방부와 도심부에서 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 둘째, 신호위반 운전자의 81.1%가 제한속도 이하로 주행하였으며, 77.3%는 적색등화후 2.0초 이내에 교차로에 진입하다 단속되었다. 마지막으로, 로지스틱 회귀분석에 의해 통계적으로 유의한 모형식이 개발 되었다(chi-square=0.000, McFadde=0.265). 개발된 모형의 독립변수로는 지역(도심부/도시외곽부/지방부), 운전자 성별, 계절, 차종, 주야간, 주행속도를 포함하고 있다. 본 연구에서는 신호위반 운전자의 연령과 신호교차로 접근부에서의 운전행태 간의 밀접한 관련성은 발견하지 못하였다.

핵심용어

신호위반, 신호위반 단속장비, 도심부/도시외곽부/지방부, 제한속도, 신호교차로

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

2008년도 교통사고 통계에 따르면, 신호위반 교통사고는 전체 교통사고 215,822건의 12.2%를 차지하고 있으며 매년 증

가 추세를 보이고 있다. 이러한 신호위반 교통사고를 감소시키기 위해 신호등의 시인성을 높이거나, 운전자의 준법의식 함양 프로그램 강화 등을 통한 원인 개선도 필요하나 교통경찰에 의한 집중적이고 철저한 단속이 가장 효과적인 방법으로 알려져

있다. 그러나 인력에 의한 단속은 효율이 떨어질뿐만 아니라 다양하고 순간적인 위반형태에 대한 증거력 확보 및 공정성 시비 등의 많은 문제점을 내포하고 있다. 이러한 배경에서 2001년부터 도입된 신호위반 단속장비는 인력에 의한 단속보다 효율성·공정성·지속성의 측면에서 단속의 효과를 높이고 운전자의 자의적인 신호 준수를 유도하여 지속적으로 교통사고를 억제하고 감소시킬 수 있는 방법이라 판단된다. 신호위반에 의한 사고피해는 운전자 자신뿐만 아니라 다른 사람의 소중한 생명은 물론 심리적 피해 및 교통지체 피해까지 고려하면 사회적 손실은 막대하다. 이러한 신호위반에 의한 교통사고의 심각성을 인식하여 본 연구에서는 충청도내 28개 신호위반 단속장비에서 수집한 단속자료들(인적요인, 차량요인 및 도로환경요인)과 신호위반과의 관련성을 살펴보고, 운전자의 적색등화후 교차로 진입 시간에 영향을 미치는 요인들을 통계적 기법을 통해 분석하고자 함이다.

1.2. 연구의 내용 및 방법

신호위반의 발생원인은 일반적으로 인적요인, 차량요인 및 도로환경요인 등으로 구분할 수 있다. 이러한 요인들은 단독요인에 의해서 일어나는 경우도 있지만 대부분의 신호위반은 순간적으로 발생하며 복합적인 요인에 따라 확률적으로 발생됨과 동시에 주변 환경에 의해 차이가 발생하므로 신호위반 특성에 대한 과학적 분석이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 충청도내의 도심부/도시외곽부/지방부 신호교차로 28개 지점을 대상으로 단속장비 설치후 1년동안 수집된 단속자료와 지점별 설치이력 등을 이용하여 관련자료를 정리한다. 정리된 자료의 통계적 분석을 위해 SPSS 12.0의 로지스틱모형을 이용하며, 본 연구의 수행 흐름은 그림 1과 같다.

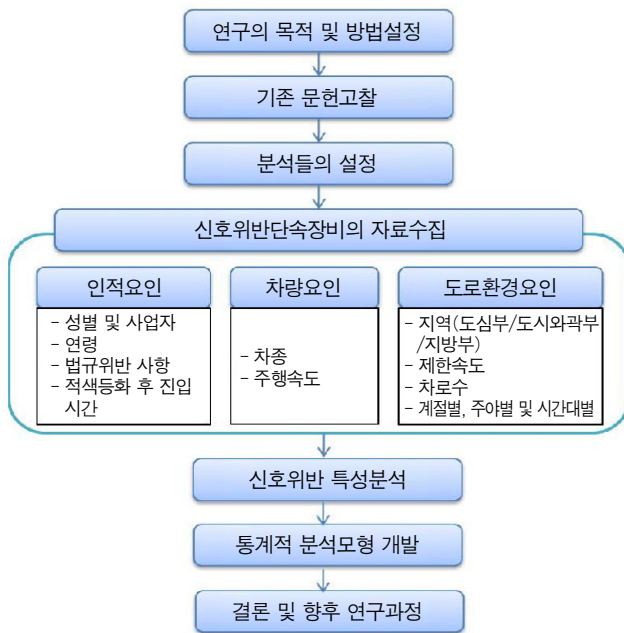


그림 1. 연구수행 흐름도

2. 기존 문헌 고찰

2.1. 국내연구

정옥영(2001)은 대구지역 신호위반 운전자 700명을 대상으로 한 의식조사 연구에서 전체 운전자의 73.6%가 황색신호시간에 신호위반을 한다고 하였다. 도로교통공단(2004)은 신호위반 단속장비의 설치에 따라 교차로내 교통사고가 32.3% 감소된다고 하였다. 김명석(2006)은 신호위반단속장비 24개 지점의 설치 전·후 1년간의 교통사고자료를 분석한 결과, 교통사고건수는 15.9%, 인명피해는 중상자, 경상자가 각각 16.3%, 14.9% 감소한 것으로 나타났다. 박정순(2008)은 청주시의 4지 신호교차로 181개소의 교통사고 자료를 이용하여 사고유형별 특성분석과 예측모형을 개발하였다. 김형준(2009)은 충북지역의 4지 신호교차로의 신호위반 단속장비를 대상으로 설치 전·후의 교통사고 특성분석과 사고모형을 개발하였다. 신호위반 단속장비의 설치에 따라 교통사고는 429건에서 340건으로 20.7%의 감소효과가 있다고 하였다.

2.2. 국외연구

신호위반에 영향을 미치는 인적요인으로는 연령, 성별, 승차인원, 안전벨트 및 운전경력 등이 있으며, 이에 관련된 연구를 정리하면 다음과 같다. 연령별로는 고령운전자는 젊은 운전자에 비해 신호위반 사고율이 상대적으로 낮으며(Kraus and Quiroga, 2004), 30세 이하의 연령그룹 특히 18세~25세의 젊은 운전자들이 신호위반을 많이 하는 경향이 있으며, 성별로는 남성이 여성에 비해 신호위반율이 높은 것으로 나타났다(Retting et al, 1999). 교차로 운영 및 기하구조요인(신호시간, 정지시거, 접근속도, 종단경사 및 교차로폭)에 의한 신호위반 사고에 관한 연구는 다음과 같다. 황색신호시간이 3.5초보다 적은 교차로에서 운전자의 신호위반 사고율이 높으며(Brewer et al, 2002), 황색신호시간이 지나치게 긴 경우 운전자들은 이를 녹색시간의 연장으로 생각하여 교차로 진입률이 높으므로 전적색신호의 적용이 필요하다고 하였다(Eccles and McGEE, 2001). 신호등의 위치가 차량정지선에서 가까울수록 운전자의 신호위반율은 감소되며, 교차로 접근속도가 높을수록 운전자의 정지율이 낮아지므로 신호위반을 많이 하는 경향이 있다. 또한 교차로 유입부의 종단경사가 클수록 신호위반이 늘어나며 큰 규모의 교차로가 작은 교차로에 비해 신호위반 사고가 많이 발생한다(Chang et al, 1985). 교통량, 시간대, 요일 및 날씨에 영향을 받은 신호위반 관련연구들은 다음과 같다. 도시부 신호교차로들 중 교차로 규모와 교통량이 많은 곳에서 신호위반 사고가 많이 발생하는 경향이 있다(Porter and England, 2000, Brewer et al, 2002). 시간대별로는 교통량이 집중되는 출퇴근 시간대에(Retting et al, 1998). 그리고 주말보다는 평일에 신호위반율이 높다고 하였다(Lum and Wong, 2003, Kamyab et al, 2002, Retting et al, 1998). 폭우와 폭설과 같은 날씨와

운전자의 신호위반 행동 관련성 연구에서는 기상조건과 운전자의 신호위반과는 특별한 관련성을 찾아볼 수 없다고 하였다 (Retting et al, 1998). Mohamedshah(2000)는 캘리포니아의 1,756개 신호교차로에서 4년간 발생한 4,709건의 신호위반 사고를 활용하여 신호위반 사고예측모형을 개발하였으며, 관련 변수로는 AADT, 횡단차로수, 좌회전차로 유무, 신호운영방법 등이 선정되었다. J. Bonneson(2002)은 신호위반 사고예측모형 개발에 관한 연구를 통해 운전자의 신호위반은 접근 교통류율, 신호주기, 황색신호시간, 주행속도, 교차로 횡단거리, 차량군 비율, 배면 신호등의 유무 및 검지기의 활용 등과 밀접한 관계가 있다고 하였다.

2.3. 기존연구와의 차별성

신호위반이 교통사고에 있어서 중요한 원인임을 중시하여 외국에서는 인적요인, 차량요인 및 도로환경적 요인 등을 고려한 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 국내에서는 신호위반행동과 관련된 운전자 심리와 심리적 요인을 대상으로 한 연구가 대부분이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기존 연구의 한계를 극복하기 위해 신호교차로에 설치된 단속장비에서 수집한 위반차량의 주행속도, 제한속도와의 차이, 적색등화 후 진입시간 및 발생시간 등의 관련 자료를 이용한 특성분석과 운전자의 적색등화 후 교차로 진입시간에 영향을 미치는 주요인들을 통계적기법을 통해 찾아내는데 의의가 있다.

3. 분석 틀의 설정

3.1 자료수집 및 정리

본 연구의 신뢰성 향상을 위해 다음의 절차에 따라 관련 자료를 수집 정리한다. 첫째, 충청지방경찰청이 충청도내 4지 신호교차로 28개소에 설치·운영하고 있는 신호위반 단속장비를 대상으로 설치후 1년간의 단속자료를 이용하며¹⁾ 조사지점은 표 1과 같다. 둘째, 단속장비가 설치된 지역의 교통류 특성 및 개발밀도 등을 고려하여 도심부(10개소), 도시외곽부(8개소) 및 지방부(10개소)로 구분한다. 셋째, 단속장비는 신호위반과 속도위반 차량을 적발해낸다. 따라서 본 연구에서는 지역별 신호위반 특성분석을 위해 신호위반 관련자료만을 적출하여 분류한다. 넷째, 단속장비는 차량소유자가 직접 차량을 운전한다는 가정 하에 범규위반내용을 차량소유자에게 직접 통보한다. 따라서 본 연구에서도 사업용 차량을 제외한 일반차량은 소유자의 자가운전으로 가정하여 분석을 한다.

1) 28개 단속장비의 운영개시일부터 운영종료일까지의 전체 단속건수는 214,826건으로 파속단속건수는 123,834건(57.6%)이며 신호위반단속건수는 91,002건(42.3%)이다. 방대한 관련자료를 정리·분석하는 것은 현실적으로 불가능하여 본 연구에서는 부득이 단속장비 설치후 1년간의 단속자료를 이용한다.

표 1. 신호위반 단속장비 조사지점

구분	운영 개시일	운영 종료일	차로수 (편도)	제한 속도	도로명	
도 심 부	1	03.10.01	07.12.31	3	60	사 직 로
	2	03.08.23	07.05.10	2	60	사 직 로
	3	03.10.01	07.12.27	3	60	남부우회
	4	03.10.01	07.12.31	3	60	청 남 로
	5	03.09.09	06.04.27	2	60	36번국도
	6	03.09.09	05.03.09	3	60	하 소 로
	7	05.04.08	07.12.31	2	50	상 당 로
	8	04.06.01	07.12.29	3	60	북부우회
	9	05.01.01	07.12.31	3	60	북부우회
	10	06.03.01	07.12.31	2	60	36번국도
도 시 외 곽 부	1	03.10.01	07.12.31	3	70	흥 덕 로
	2	03.09.09	07.12.31	3	70	충주시도
	3	04.06.01	06.08.28	3	70	용 산 로
	4	04.12.23	07.12.31	3	70	동부우회
	5	05.01.01	07.12.31	2	60	단 재 로
	6	05.01.01	06.12.01	3	80	2순환로
	7	07.01.01	07.12.31	3	60	흥 덕 로
	8	06.03.02	07.12.31	3	60	용 두 로
지 방 부	1	03.10.01	07.12.31	2	70	36번국도
	2	03.09.09	07.12.31	3	80	36번국도
	3	06.05.09	07.12.31	2	70	달 천 로
	4	03.09.09	07.12.31	3	80	36번국도
	5	03.09.09	07.12.31	2	60	17번국도
	6	04.12.23	07.12.31	2	80	36번국도
	7	04.12.26	07.12.31	2	60	25번국도
	8	04.12.31	07.12.31	2	80	38번국도
	9	06.03.01	07.12.31	3	70	19번국도
	10	06.03.01	07.12.31	2	80	36번국도

3.2. 단속기능 및 설치현황

3.2.1. 단속기능

단속장비는 교통신호제어기와 연계하여 일정한 속도이상(10km/h)을 주행하면서 신호위반을 하는 차량은 모두 단속할 수 있으며 교차로 및 단일로에서 발생하는 각각의 신호위반 형태와 차로 이용방법 위반 등을 구분하여 단속할 수 있다. 신호위반 단속은 적색현시가 시작되고 설정값(100~1,000msec) 이후 정지선을 통과한 차량에 한해서 적용되도록 구성된다. 단속장비의 효율성을 위해 적색신호시에는 신호위반을 단속하고, 유효 녹색신호시에는 속도위반을 단속한다. 신호위반 단속자료는 제어기번호, 위반장소, 위반년월일, 위반시분초, 위반종류, 제한속도, 실주행속도, 적색등화 후 진입시간, 신호등 종류, 신호등형태 및 차량통과 종료시간으로 구성된다.

3.2.2. 설치현황

단속장비가 설치된 지점의 위치별 차로수와 제한속도는 표 2와 같다.

표 2. 설치위치별 차로수 및 제한속도

구 분	차로수(편도)		제한속도(km/h)			
	2	3	50	60	70	80
도 심 부(10개소)	4	6	1	9	-	-
도시외곽부(8개소)	1	7	-	3	4	1
지 방 부(10개소)	7	3	-	2	3	5
총 계(28개소)	12	16	1	14	7	6

도심부는 주거단지나 도심 업무단지와 같은 대규모 교통유발 지역에 위치하여 차로수와 제한속도가 낮다. 도심부에는 10개의 단속장비가 제한속도 60km/h 이하의 2, 3차로에 설치되어 있다. 도시외곽부는 지역간 이동 기능과 도심으로의 접근 기능이 있는 도로로서 통행길이가 비교적 길고 통행밀도가 도심부에 비해 낮은 특징이 있다. 도시외곽부에는 8개의 단속장비가 60~70km/h의 3차로에 설치되어 있다. 지방부는 지역간 이동의 골격을 형성하는 도로로서 통행길이가 길고 통행밀도도 비교적 높으며 단속장비가 설치된 도로의 제한속도는 70~80km/h, 차로수는 2차로가 대부분이다.

3.3. 신호위반 특성분석

교차로 또는 횡단보도에서 발생하는 신호위반은 위반유형과 운전자의 의지 그리고 발생시간대에 따라 각기 다른 특성을 보

표 3. 신호위반의 특성과 유발 원인²⁾

원 인 구 분	신 호 위 반 원 인	위 반 유형	운전자 의 지	위 반 시간대
불필요한 지체	신호무시 (불필요한 지체)	회피 가능	고의적	적색 등화중 (수시)
	적은 교통량은 안전하다고 판단			
혼잡 및 교통 체증	혼잡, 심각한 지체	회피 불가능	고의적	적색 등화후 초기
	적색등화 후 2초 이내 안전 판단			
제 동 불가능	차량군내에서 적신호는 녹색신호 연장으로 간주	회피 불가능	무의식 또는 교통환경	적색 등화중 (수시)
	심각한 종단경사			
	높은 주행속도			
운 전 부주의	짧은 황색신호시간	회피 불가능	무의식 또는 교통환경	적색 등화중 (수시)
	갑작스런 신호변화			
	무의식중 신호무시			
	졸음운전 등			
	장애물에 의한 시거장애			
	신호등 오작동 또는 판단 오류			

2) J. Bonneson., K. Zimmerman(2004), "Development of guidelines for identifying and treating locations with a red-light running problem", Report No. FHWA/TX-05/0-4196-2, Texas Department of transportation Engineers, Washington, Texas,

이고 있다.

J. Bonneson(2003)은 신호위반 사고자료를 이용한 연구에서, 운전자 측면에서의 신호위반 특성과 원인을 표 3과 같이 정리하고 있다. 신호위반의 위반유형은 신호위반에 대한 회피가능 또는 회피불가능으로 구분하였으며, 신호위반 여부에 대한 운전자의 의지는 고의성 여부로 구분하고 있다. 또한 신호위반의 발생시간대에 대해서는 적색등화 후 2초 이내는 안전할 것이라는 자의적 판단은 선행차량과의 짧은 차두 간격을 유지하며 신호위반을 해도 괜찮다는 생각에 기인한다고 하였다.

다양한 신호위반의 특성 중에서 단속장비에서 수집한 차량의 법규위반 여부, 위반시간, 속도차(주행속도-제한속도), 적색등화 후 진입시간 등의 자료를 활용하여 특성분석을 하고자 한다. 표 4는 단속장비 설치후 1년 동안에 수집된 단속실적을 나타낸 것이다.

표 4. 과속 및 신호위반 단속실적 (설치후 1년)

구 분	전체 단속건수	과속위반건수	신호위반건수
도 심 부 (10개소)	23,183	13,224 (57.1%)	9,959 (42.9%)
도시외곽부 (8개소)	35,155	23,096 (65.7%)	12,059 (34.3%)
지 방 부 (10개소)	26,720	10,414 (39.0%)	16,306 (61.0%)
총 계 (28개소)	85,058	46,734 (54.9%)	38,324 (45.1%)

전체 단속건수를 도심부, 도시외곽부 및 지방부로 분류하여 과속위반과 신호위반에 대해 비교한 결과, 과속위반은 도시외곽부>도심부>지방부의 순이며 신호위반은 지방부>도심부>도시외곽부의 순으로 분석되었다. 김효종(1995)은 광주시의 신호교차로 59개소를 대상으로 한 연구에서 주도로와 부도로의 진입교통량의 차이가 클수록 교통사고가 많이 발생한다는 것을 입증하였다. 이는 교차로 전체교통량은 사고와 무관하며 오히려 교차되는 도로의 교통량 분포가 교통사고와 상관성이 높다는 Mc. Donald와 Webb(1955)의 이론을 뒷받침하는 것으로 진입교통량 차이가 클수록 교통사고가 많이 발생하므로 가로망 계획시 비슷한 교통량의 교차 형태가 교통사고 감소 측면에서 바람직하다고 하였다.

표 5는 지역별 주도로와 부도로의 교통량 차이를 나타낸 것이다. 지방부는 다른 지역에 비해 교차도로간 교통량 차이가 크며 신호위반도 많아 주도로와 부도로의 교통량 차이가 신호위반에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 지역별 과속위반과 신호위반의 차이는 제한속도, 교차도로의 교통량 차이와 교통경찰의 단속 여부 등에 의해 좌우될 것으로 판단 된다.

표 5. 주·부도로의 교통량 차이 (단위 : 대/일)

구 분	주·부도로 교통량 차이		교차로당 평균 교통량 차이
	최소	최대	
도심부 (10개소)	6,019	30,372	15,672
도시외곽부 (8개소)	1,069	33,624	16,254
지방부 (10개소)	588	39,920	11,621

그림 2는 월별 신호위반 분포를 나타낸 것이다. 휴가 및 관광 성수기인 7월~10월 사이에 지방부에서 신호위반이 많이 일어난 반면에 겨울철인 12월~2월 사이에는 도시부와 지방부의 편차가 심하지 않고 다른 계절에 비해 신호위반이 적은 것으로 분석되었다.

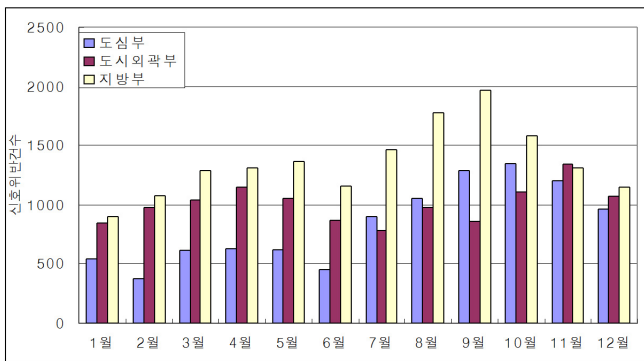


그림 2. 월별 신호위반 분포

그림 3은 시간대에 따른 신호위반 분포를 나타낸 것이다. 심야 및 새벽시간대까지는 비교적 단속건수가 적는데 비해 출근 시간대를 지나 10시 이후로 단속건수가 증가추세를 보이다가 점심시간대(12:00~14:00)에 다소 감소하고 퇴근시간 전까지 다시 높아지는 추세를 보인다.

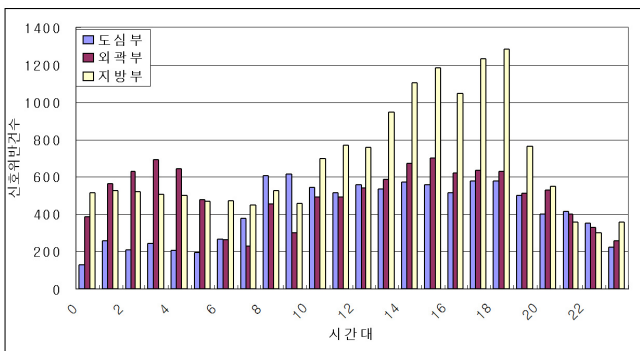


그림 3. 시간대에 따른 신호위반 분포

이같은 추세의 원인은 심야 및 새벽시간대의 경우 교통량 자체가 적기 때문에 단속건수도 적은 것으로 판단되며, 교통량 대비 단속비를 측면에서는 다른 결과를 보일 것으로 판단된다. 심야 및 새벽시간대에는 도시외곽부와 지방부에서, 출근시간대

에는 도심부에서 그리고 낮 시간대는 지방부에서 신호 위반율이 높은 것으로 나타났다.

표 6은 제한속도에 따른 신호위반 현황을 살펴보기 위한 것이다. 전반적으로 도심부보다는 지방부에서 신호위반이 많으며, 전체 단속건수의 81.1%가 제한속도 이하에서 신호위반이 일어난 것으로 분석되었다. 반면에, 제한속도를 초과한 신호위반 비율은 도시외곽부>도심부>지방부의 순인 것으로 나타났다.

표 6. 제한속도에 따른 신호위반 현황

구 분	전체 신호위반건수	제한속도	
		이하	초과
도심부 (10개소)	9,959	7,959 (80.0%)	2,000 (20.0%)
도시외곽부 (8개소)	12,059	8,875 (74.0%)	3,184 (26.0%)
지방부 (10개소)	16,306	14,245 (87.3%)	2,061 (12.7%)
총 계 (28개소)	38,324	31,079 (81.1%)	7,245 (18.9%)

교통사고 및 과속방지를 위해 신호위반과 과속단속을 강화함으로써 차량의 접근속도를 줄이는 효과는 있지만, 교차로별 특성을 고려하지 않은 일관된 단속기준 적용으로 여러 가지 문제점을 야기하고 있다.

표 7. 적색등화 후 진입시간 비교

구 분	총 신호 위반건수	적색등화후 진입시간(초)		
		≤2.0	2.1~5.0	5.1≤
도심부 (10개소)	9,959	9,092 (91.3%)	242 (2.4%)	625 (6.3%)
도시외곽부 (8개소)	12,059	7,891 (65.4%)	634 (5.2%)	3,534 (29.3%)
지방부 (10개소)	16,306	12,641 (77.5%)	928 (5.7%)	2,737 (16.8%)
총 계 (28개소)	38,324	29,624 (77.3%)	1,804 (4.7%)	6,896 (18.0%)

표 7은 신호위반차량의 적색등화 후 진입시간을 나타낸 것이다. 전체 위반차량의 77.3%가 적색등화 후 2.0초 이내에 교차로를 진입하였다. 이것은 선행차량과의 짧은 차두간격을 이용하여 신호위반을 하여도 안전할 것이라는 자의적 해석 때문이라 판단된다. 그리고 적색등화 후 2.0초 초과 신호위반 비율이 가장 많은 지역은 도시외곽부로서 전체의 34.5%인 것으로 나타났다.

그림 4는 신호위반차량의 속도차에 따른 분포를 나타낸 것이다. 주행속도와 제한속도간의 속도차는 -65km/h~39km/h로써 지역별 특이점은 없으며 평균속도는 -11.50km/h~9.10km/h로

전체 신호위반차량의 약 80%가 제한속도이하로 주행중에 신호위반을 한 것으로 분석되었다. 실제 과속단속은 단속장비의 기계적 오차 $\pm 5\%$ 를 고려하여 제한속도보다 약 12km/h를 상회하여 단속기준을 설정하고 있다.

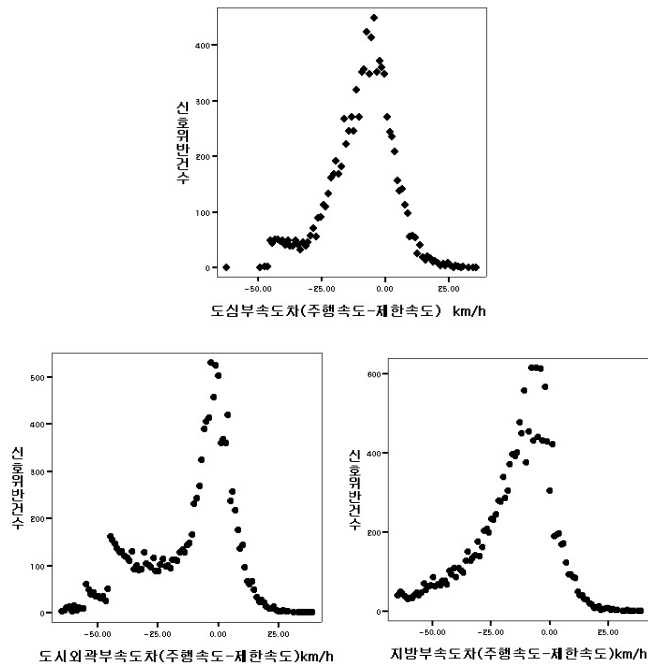


그림 4. 신호위반차량의 속도차에 따른 분포

그러나 일반적으로 도심부 제한속도가 50km/h~60km/h이며 도시외곽부와 지방부의 제한속도가 70km/h~80km/h임을 고려할 때, 신호위반 차량이 교통사고로 이어질 경우 피해정도는 엄청날 것으로 판단된다. 시간대별에 따른 주행속도와 제한속도의 차이는 교통량이 적은 심야시간대에 높은 속도를 보이

고 있는 것으로 나타났으며 낮 시간대에 다소 떨어지다가 야간에는 점차 속도가 높아지는 U자 형태의 속도패턴을 보인다.

이러한 결과는 교통량이 많은 시간대에는 운전자의 의지대로 속도 선택을 할 수 없는 경우가 많고, 원활한 교통류 일지라도 차두간격이 짧은 경우 운전자의 속도선택에 많은 어려움이 있기 때문이라 판단된다. 표 8은 신호위반차량의 적색등화 후 진입시간과 속도차(주행속도-제한속도)의 관계를 나타낸 것이다. 적색등화 후 진입시간이 2.0초 이내인 차량과 제한속도 이하의 신호위반 비율은 전체의 59.4%이다. 적색등화 후 진입시간이 2.0초를 초과하거나, 제한속도를 넘는 과속의 신호위반 비율은 40.6%(15,547건)이다. 신호위반에 의해 발생하는 일반적인 교차로내 사고유형은 좌회전 및 직진차량에 의한 측면직각 충돌사고이다. 측면직각 충돌사고는 정면충돌 및 후미추돌사고와는 다른 특성으로 사고의 심각도가 높기 때문에 각별한 관심이 요구된다.³⁾

4. 모형개발 및 결과분석

4.1 분석모형

Lum & Wong(1993)은 적색등화 후 진입시간이 2.0초를 초과하는 운전자에 대해 고의적 신호위반에 의한 것이라 하였다. 표 7에 나타난 바와 같이 전체 위반차량의 77.3%가 적색등화 후 2.0초 이내에 교차로를 진입하였으며 나머지는 2.0초를 초과하여 진입하였다.

따라서 로지스틱 회귀분석을 신호위반 확률모형에 적용함에 있어, 본 연구에서는 단속자료 구성요소들이 적색등화 후 진입시간에 어떠한 영향을 미치는지를 통계적으로 알아보기 위해 적색등화 후 2.0초 이내 진입차량을 "0"으로, 2.0초를 초과한

표 8. 적색등화 후 진입시간과 속도차 관계

속도차 (km/h)	적색등화 후 진입시간(sec)											누계	비율 (%)
	<0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.1≤		
≤-25	791	934	394	287	145	89	79	58	50	54	5,018	7,899	20.6
-20	748	691	290	166	69	36	26	17	13	6	508	2,570	27.3
-15	1,116	1,029	419	204	78	29	29	12	11	10	440	3,377	36.1
-10	1,529	1,511	594	247	123	44	23	13	12	5	332	4,433	47.7
-5	2,397	2,099	720	350	152	58	28	19	12	8	235	6,078	63.6
0	2,880	2,183	847	351	144	43	20	8	5	2	165	6,648	80.9
5	1,740	1,324	505	234	80	34	18	8	3	2	88	4,036	91.4
10	859	686	279	104	50	13	4	2	3	1	48	2,049	96.8
15	273	276	129	40	26	6	2	0	0	0	31	783	98.8
20	97	91	38	20	2	6	3	1	1	1	12	272	99.5
25	39	34	19	6	2	2	0	0	0	0	9	111	99.8
>25	18	22	10	6	3	0	0	0	0	0	9	68	100.
누계	12,487	10,880	4,244	2,015	874	360	232	138	110	89	6,895	38,324	100.
비율(%)	32.6	61.0	72.0	77.3	79.6	80.5	81.1	81.5	81.8	82.0	100		

3) 박정순외 3인(2008.12), "신호교차로의 측면직각 충돌사고 특성과 심각도", 한국도로학회논문집 제10권 제4호, pp. 199~211.

차량을 "1"로 기호화하였다.

$$P(F_i = \frac{1}{X_i}) = \frac{\exp[f(X_i, \beta)]}{1 + \exp[f(X_i, \beta)]} \quad (1)$$

여기서, F_i = 신호위반에 따른 종속변수
 X_i = 신호위반에 영향을 미치는 독립변수
 $f(X_i, \beta)$: X_i 와 β 로 구성된 함수

위의 로지스틱 함수는 X_i 와 β 에 대하여 비선형이지만 식 2와 같이 선형식으로 변환시킬 수 있다.

$$P' = \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) \quad (2)$$

위의 식에 식 1을 대입하면 다음과 같다.

$$P' = f(X_i, \beta) \quad (3)$$

이와 같은 변환을 로지스틱 변환이라 하고, P' 을 로짓(Logit)이라 부른다. 모형의 설명력과 적합도를 검증하기 위해 ρ^2 (우도비)를 사용하였으며, ρ^2 는 0과 1사이의 값을 갖는데 1에 가까울수록 적합도가 높은 모형으로 평가된다. ρ^2 가 어느 정도 되어야 모형의 적합도가 좋다고 말할 수 있는 일반적 기준은 없지만, 0.2와 0.4사이의 값만 가지면, 모형의 적합도가 좋다고 평가할 수 있으며(McFadden, 1976)⁴⁾ 식 4와 같이 계산된다.

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(0)} \quad (0 \leq \rho^2 \leq 1) \quad (4)$$

$L(\hat{\beta})$: log likelihood function
 $L(0)$: restricted log likelihood

4.2. 변수구성 및 기초통계량

모형개발을 위해 단속장비가 설치된 지역의 특성(도심부/도시외곽부/지방부)과 신호위반 단속자료의 구성요소인 운전자(남자/여자/사업용), 연령, 계절, 차종, 주·야간, 속도차(주행속도-제한속도)를 독립변수로 활용하였다. 이승환(2003)은 도심부 2개 지점과 지방부 1개 지점의 신호교차로를 대상으로 한 연구에서 정지율에 따른 딜레마 구간의 범위(시간)는 도심부의 경우 지방부보다 약간 빠른 값으로 나타내며 전반적으로 3.2초~4.87초의 범위라고 하였다. 이는 국내의 황색현시가 3초임을 감안할 때 황색현시가 종결되고 적색현시로 변경된 이후라도 교차로를 통과하는 차량 비율이 높아 치명적 사고에 대

한 잠재성이 높다고 하였다.⁵⁾ 단속자료 구성요소들에 대한 기술통계 분석은 표 9와 같으며, 로지스틱모형을 통해 신호교차로에서 적색등화 후 2.0초 이내 진입과 2.0초 초과 진입한 위반차량의 오즈비 Exp(B)를 도출하였다. 이를 통해 각 변수들이 신호위반차량의 적색등화 후 진입시간에 어떠한 영향을 미치는지를 파악할 수 있다. 단속장비가 설치된 지역을 도심부/도시외곽부/지방부로 구분하였으며, 차량운전자는 남자, 여자와 사업용 운전자로 분류하였다. 단속장비는 위반차량을 적발한 후, 차적조회를 통해 법규위반사항(위반사항, 장소, 시간, 속도, 영상 등)을 차량소유자에게 통보하는 기능을 수행하기 때문에 영업용 차량(택시, 버스)과 업무용 차량의 경우는 사업자에게 위반사항을 통보한다.

일반적으로 젊은 운전자들은 고의적인 과속운전, 음주운전 및 신호위반을 하는 반면에, 61세 이상의 고령운전자들은 물체의 세부적인 것을 구별하는 능력인 시력이 점점 감소하면서 접근차량, 교통신호 및 표지판을 확인하고 운전 조작하는데 필요한 속도추정능력, 거리판단능력에 따른 의사결정이 젊은 운전자보다 크게 낮아 법규위반 비율이 전체의 49.6%를 차지하는 것으로 분석되었다. 이러한 고령운전자의 신호위반이나 과속위반 등은 의도된 행동이라기보다는 위험지각에 따른 반응시간 지연 등 노화에 따른 운전 적성과 관련이 높은 것으로 판단된다. 차종분류는 일반승용차와 탑승객 12인 이상의 승합차(버스포함), 화물차, 특수차 및 농업용 차량으로 승용차의 신호위반율은 전체의 82.5%로 가장 높았으며, 화물차와 농업용차량은 지방부에서 많은 것으로 분석되었다.

표 9. 변수 기술통계 분석

변수명	분류	빈도	%	입력값
적색등화 후 진입시간	2.0초 이내	29,639	77.3	0
	2.0초 초과	8,685	22.7	1
지역	도심부	9,968	26.0	0
	도시외곽부	12,052	31.4	1
	지방부	16,304	42.5	2
운전자	남자	26,564	69.3	0
	여자	7,554	19.7	1
	사업용 운전자	4,206	11.0	2
연령	≤30세	700	1.8	0
	31~40	1,575	4.1	1
	41~50	3,730	9.7	2
	51~60	9,110	23.8	3
	61~	19,003	49.6	4
	사업용	4,206	11.0	5

〈표 계속〉

4) 김강수(2002). "Stated Preference 조사설계 및 분석방법론에 관한 연구 (2단계)", 교통개발연구원, pp. 37~38.

5) 이승환의 2인(2003). "신호교차로 황색현시에서의 운전자 형태 및 딜레마 구간 연구방안", 대한교통학회지 제21권 제4호, pp 7~16.

변수명	분류	빈도	%	입력값
계절	겨울	7,880	20.6	0
	봄	9,040	23.6	1
	여름	9,405	24.5	2
	가을	11,999	31.3	3
차종	승용차	31,630	82.5	0
	승합차	985	2.6	1
	화물차	5,328	13.9	2
	특수차	264	0.7	3
	농업용차량	117	0.3	4
주야	주간	20,897	54.5	0
	야간	17,427	45.5	1
속도차	≤제한속도	31,005	80.9	0
	제한속도<	7,319	19.1	1

4.3. 모형개발 결과

표 10은 신호위반차량의 적색등화 후 진입시간에 영향을 미치는 주요 요인들과의 관계를 로지스틱 회귀분석을 통해 도출한 결과이다. 독립변수들은 차량운전자의 연령을 제외하고는 모두 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 모형의 적합성을 검증하기 위한 ρ^2 (우도비)는 0.265이며, χ^2 -test 실시 결과 (df 14)는 10889.648이다. 지방부를 기준으로 할 때 도시는 2.0초 이내의 진입률이 높고, 도시교외부는 2.0초 이내 진입률이 낮은 것으로 나타났다. 사업용 차량운전자에 비해 남자와 여자 모두 적색등화 후 2.0초 이내 진입률이 높은 것으로 나타났다. 이는 대부분의 사업용 차량운전자들은 적색등화 후 진입시간 2.0초를 초과하는 신호위반을 한다는 것을 의미한다.

가을을 기준으로 한 계절 간 비교에서는 다른 계절에 비해 가을의 신호위반 차량들이 적색등화 후 2.0초 이내 비율이 높은 것으로 나타났다. 농업용 차량을 기준으로 한 비교에서는 특수차를 제외하고는 모두 음의 계수를 나타내고 있다. 주간 신호위반차량들은 적색등화 후 진입시간 2.0초 이내 비율이 높은 반면에, 야간에는 2.0초를 초과하는 신호위반 비율이 높은 것으로 분석되었다. 이는 제한속도 이상으로 과속하는 차량들의 대부분은 적색등화 후 진입시간이 2.0초를 초과하는 것을 의미한다. 모형개발에 있어서 다른 변수들은 다 포함된 반면에 연령 변수는 통계적으로 신뢰성이 낮은 것으로 나타났다.

5. 결론 및 향후 연구과제

5.1. 결론

충북도내 도심부/도시외곽부/지방부에 설치된 28개의 신호위반 단속장비에서 수집한 자료에서 도출된 신호위반의 특성은 다음과 같다. 첫째, 과속위반은 도시외곽부>도심부>지방부의 순으로 발생하였으며, 신호위반은 지방부>도심부>도시외곽부의 순으로 발생한 것으로 나타났다. 둘째, 월별 신호위반 분포에서는 휴가 및 관광성수기인 7월~10월 사이에 지방부에서 신호위반이 많이 일어났다. 셋째, 심야시간대에는 도시외곽부와 지방부에서, 출근시간대에는 도심부에서, 그리고 낮 시간대는 지방부의 신호위반율이 높은 것으로 나타났다. 넷째, 제한속도에 따른 신호위반 현황으로는 전반적으로 도심부(도심부/도시외곽부)보다는 지방부에서 신호위반이 많으며, 전체 단속건수의 81.1%가 제한속도 이하에서 신호위반을 한 것으로 분석되었다. 반면 제한속도 초과 비율은 도시외곽부>도심부>지

표 10. 모형개발 결과

독립변수		B	S.E	Wald	df	Sig	Exp(B)
Intercept		-.833	.246	11.444	1	.001	
지역	도심부 vs 지방부	-1.050	.044	577.980	1	.000	2.017
	도시외곽부 vs 지방부	.702	.032	485.047	1	.000	2.017
운전자	남자 vs 사업용 차량	-.481	.054	78.825	1	.000	.618
	여자 vs 사업용 차량	-.412	.061	44.879	1	.000	.663
계절	겨울 vs 가을	.635	.041	240.612	1	.000	1.887
	봄 vs 가을	.460	.040	133.755	1	.000	1.585
	여름 vs 가을	.135	.041	10.802	1	.001	1.143
차종	승용차 vs 농업용차량	-.987	.229	18.619	1	.000	.373
	승합차 vs 농업용차량	-1.121	.243	21.198	1	.000	.326
	화물차 vs 농업용차량	-.989	.230	18.431	1	.000	.372
	특수차 vs 농업용차량	.890	.271	10.751	1	.001	2.435
주,야	주간 vs 야간	-2.237	.033	4606.986	1	.000	.107
속도차	제한속도이하 vs 제한속도초과	1.806	.053	1149.078	1	.000	6.088
-2 log likelihood		3696.962		Model Chi-square		10889.648(Sig .000)	
Nagelkerke R-square		.376		McFadden R-square		.265	

방부의 순으로 나타났다. 다섯째, 적색등화 후 진입시간 비교에서는 위반차량의 77.3%가 적색등화후 2.0초 이내에 교차로에 진입하였으며, 적색등화 후 2.0초를 초과하여 교차로에 진입한 비율은 22.7%인 것으로 나타났다. 그리고 제한속도 이하로 주행하는 차량의 적색등화 후 2.0초 이내 진입비율은 전체의 59.4%이며, 적색등화 후 진입시간이 2.0초를 초과하거나 제한속도를 넘는 과속 신호위반 비율은 40.6%로 분석되었다. 여섯째, 신호위반차량의 적색등화 후 진입시간과 속도차(주행속도-제한속도)의 관계에서는 제한속도 이하의 차량이 적색등화 후 2.0초 이내 진입비율은 전체의 59.4%이며, 적색등화 후 진입시간이 2.0초를 초과하거나 제한속도를 넘는 과속 신호위반 비율은 40.6%로 분석되었다.

적색등화 후 진입시간에 영향을 미치는 주요요인을 추출하기 위한 모형개발 결과는 다음과 같다. 첫째, 모형의 적합성을 검증하기 위한 ρ^2 (우도비)는 0.265이며, 유의확률은 0.000으로서 신뢰수준 95%($\alpha=0.05$)를 만족하고 있다. 둘째, 지방부, 사업용 차량운전자, 가을, 농업용차량, 야간 및 제한속도 초과를 기준으로 할 때, 음(-)의 변수는 도시부, 남자, 여자, 승용차, 승합차, 화물차 및 주간으로 분석되었으며, 양(+)의 변수는 도시교외부, 겨울, 봄, 여름 및 특수차로 분석되었다.

5.2. 향후 연구과제

본 연구의 목적은 도심부/도시외곽부/지방부의 단속장비에 서 수집한 자료를 기초로 신호위반의 특성분석과 예측모형을 개발하는 것이다. 다음과 같은 사항들은 보완한 향후 연구가 수행된다면, 교통사고 예방을 위한 안전대책 마련에 기초자료로 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 첫째, 통계적 기법을 이용한 신호위반 특성분석과 적색등화 후 진입시간에 영향을 미치는 주요요인을 추출함에 있어서 충북지역을 연구 대상으로 하였으나, 향후 연구에서는 타 지역과의 비교 검토가 요구된다. 둘째, 전체 교통사고의 12.2%에 해당하는 신호위반 관련사고의 심각성을 고려하여 향후 연구에서는 신호위반 사고를 기반으로 한 연구가 진행되길 바란다.

참고 문헌

김강수(2002), "Stated Preference 조사설계 및 분석방법론에 관한 연구(2단계)", *교통개발연구원*, pp. 37~38.
 김형준(2009), "무인신호위반 단속장비 설치에 따른 교통사고분석 및 모형개발", *충북대학교대학원 석사학위논문*.

김효중(1995), "교차 교통량 특성이 교통사고에 미치는 영향에 관한 연구", *대한국도·도시계획학회지 「국도계획」*, 제31권 제2호(통권76호), pp. 255~266.
 박정순(2008), "신호교차로의 측면직각 충돌사고 특성과 심각도", *한국도로학회논문집*, 제10권 제4호, pp. 199~211.
 박정순(2008), "청주시 4지 신호교차로의 특성을 고려한 사고모형 개발", *충북대학교대학원 박사학위논문*.
 이승환의 2인(2003), "신호교차로 황색현시에서의 운전자 형태 및 딜레마 구간 연구방안", *대한교통학회지*, 제21권 제4호, pp. 7~16.
 C.Y. David Yang and Wassim G.Najm(2006), "Analysis of red light violation data collected from intersections equipped with red light photo enforcement cameras", *NHTSA*.
 Helai Huang, Hoong Chor Chin, and Alan Heng Hock Heng(2006), "Effect or red light cameras on accident risk at intersections", *TRR, Journal of the TRB*, No.1969, pp. 18~26.
 J. Bonneson., K. Zimmerman, and M. Brewer(2002), "Engineering countermeasures to reduce red-light-running", Report No. FHWA/TX-03/4027-3, *Texas Department of Transportation Engineers*, Washington, Texas.
 J. Bonneson., K. Zimmerman, and C. Quiroga(2003), "Review and evaluation of enforcement issues and safety statistics related to red-light-running". Report No. FHWA/TX-04/4196-1, *Texas Department of Transportation Engineers*, Washington, Texas.
 J.S.Miller, R.Khandelwal, and N. J. Garber(2006), "Safety impacts of photo-red enforcement at suburban signalized intersections", *TRR, Journal of the TRB*, No.1969, pp. 27~34.
 Lum, K.M and Wong, Y.D.(2003), "Impacts of red light camera on violation characteristics", *JTE*.
 Mohamedshah, Y.M., L.W. Chen, and F.M. Council(2000), "Association of selected intersection factors with red light running crashes", *Proceedings of the 70th annual ITE (2000)*.
 Stephen E.Hill and Jay K.Lindly(2003), "Red light running prediction and analysis", *UTCA*.

접 수 일 : 2010. 4. 21
 심 사 일 : 2010. 4. 23
 심사완료일 : 2010. 8. 23