

■ 論 文 ■

운전자 특성 등을 고려한 무통제교차로의 간격수락 모델

A Gap-acceptance Model Considering Driver's Propensity at Uncontrolled Intersection

장 정 아

(한국전자통신연구원 텔레매틱스
연구부 연구원)

이 정 우

(아주대학교 건설교통공학과
박사과정)

최 기 주

(아주대학교 환경건설교통공학부
교수)

목 차

<p>I. 서론</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 연구의 배경 및 목적</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 연구의 방법론</p> <p>II. 이론적 배경</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 비신호/무통제 교차로에 관한 연구</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 간격수락모델</p> <p style="padding-left: 20px;">3. 운전자 행태 등을 고려한 간격수락모델</p> <p>III. 자료의 수집과 분석</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 조사개요</p>	<p style="padding-left: 20px;">2. 조사설계</p> <p style="padding-left: 20px;">3. 자료의 특성분석</p> <p>IV. 운전자 특성변수를 반영한 간격수락모델</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 개념</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 모형의 구성</p> <p style="padding-left: 20px;">3. 모형의 적용</p> <p style="padding-left: 20px;">4. 모형의 적용 결과</p> <p>V. 결론 및 향후과제</p> <p>참고문헌</p>
---	--

Key Words : 간격수락모델, 무통제 교차로, 운전자 행태, 로짓 모델, 교차로 안전
gap acceptance model, uncontrolled intersection, driver behavior, logit model,
intersection safety

요 약

무통제 교차로(uncontrolled intersection)는 교통신호기나 정지표지, 양보표지 등에 의한 통제가 없으며, 교통량도 많지 않은 교차로이다. 무통제 교차로에서의 간격수락(gap acceptance) 과정은 교차로 안전상, 그리고 흐름상 중요한 문제이다. 본 연구에서는 무통제 교차로 지역의 차량의 행태를 조사하여 간격수락상황을 규명하고, 운전자의 특성을 고려한 간격수락 모델을 개발하여 무통제 교차로에서의 차량 흐름을 파악하고자 한다. 이를 위하여 수원시 지역의 무통제 교차로의 지역을 현장 조사 및 비디오 조사를 하고 로짓모델로 간격수락모델을 모형화하였다. 그 결과, 무통제 교차로에서 간격수락을 위해 운전자가 기다리는 총시간, 차량의 진행방향이 우회전인 경우, 나이, 성별, 동승자 유무 등이 간격수락에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 특히 성별이 남성인 경우, 동승자가 있는 경우, 기다리는 시간이 길수록 수락간격이 더 빠른 특성을 보였다. 이러한 연구 결과는 무통제 교차로를 운행하는 운전자들은 교차로에서 통행의 의사결정을 함에 있어 그러한 운전자, 교통, 동승자조건등의 특성에 영향을 받는 것으로 나타나고 있는바 향후 교차로 설계나 교차로 안전정보제공 등에 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

Typically uncontrolled intersections are characterized by the absence of signal, stop and yield sign, and by very light traffic volume. In this study, a gap acceptance model for such uncontrolled intersections has been modeled. The motivation is to identify the behavior of drivers so that the traffic flow phenomena can be easily understood. For this, actual traffic survey was accomplished at intersections in Suwon and the data have been fed into modeling process. The logit model was used and the results showed that total delay experienced by drivers, turning right movement, age, sex, and the existence of passenger affected gap acceptance. For example, male drivers, with experiencing longer delay and having passenger(s) with them, accepted shorter gaps. These identified characteristics regarding gap acceptance could be used for facility design and/or safety oriented traffic information dissemination near uncontrolled intersections.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT성장동력기술개발(2006-S-024-03, USN인프라 기반 텔레매틱스 응용서비스 기술 개발) 사업의 일환으로 수행하였음.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

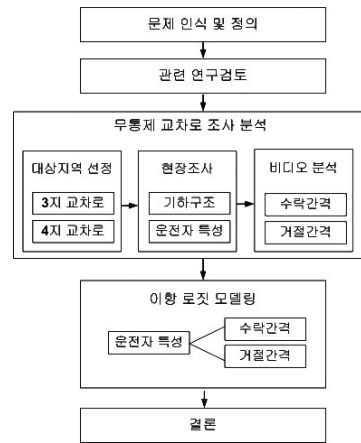
비신호교차로는 교차로에서 직진, 좌회전, 우회전하는 각 방향별 교통류가 신호 등에 의하여 통행권을 부여받지 못하고, 양보·정지 등의 교통제어 방법이나 운전자들의 판단과 통행 우선순위에 의하여 통행권을 부여받으면서 통과하는 교차로 지점을 말한다(도로용량편람, 2003). 비신호교차로는 도시부와 지방부에 걸쳐 연속적인 도로시설 내에 상당수 교차로 지점이 여기에 해당되며, 비신호교차로의 운행상태는 각 방향별 교통량과 상충이동류의 방향별 분포 비 등에 영향을 받는다. 이러한 비신호교차로는 ① 무통제 교차로, ② 양방향정지 교차로, ③ 전방향정지 교차로, ④ 로터리식 교차로의 네 가지로 구분하고 있는데, 우리나라는 많은 수의 비신호 교차로는 무통제 교차로 형태(uncontrolled intersection)로 운영되고 있다. 무통제 교차로는 교통신호기나 정지표지, 양보표지 등에 의한 통제가 없으며, 교통량도 거의 없는 교차로이다. 이러한 무통제 교차로에서의 차량의 진행은 복잡하고 고도의 상호작용의 결과로 운전자는 언제 어디서 어떻게 진행할지에 대한 의사결정을 하여야 한다. 이러한 의사결정상황에서 거리에 대한 인식, 차량의 속도 및 차량 자체의 특성 등에 대한 영향을 받게 된다. 일반적으로 비신호교차로 혹은 무통제교차로에서는 간격수락(gap acceptance)에 대한 실패로 운전자들은 교차로에서 사고를 발생하게 되는데, 통상적으로 차대차 교통사고는 측면 직각, 추돌, 차로변경접촉, 나란히 접촉, 접촉 등의 사고를 발생하게 된다. 따라서 비신호 교차로 혹은 무통제 교차로에서의 운전자 의사결정상황은 교차지점에서의 간격수락 과정을 운전자의 행태 변수를 이용하여 모델링함으로써 판단할 수 있으며, 구축된 모형은 교차로 안전과 효율성 측면에서 중요한 문제이다. 이러한 간격수락 모델링은 비신호교차로 혹은 무통제교차로에서의 운전자 안전 시스템의 설계를 하는데 필수적으로 요구되는 사항이기도 하다. 그러나 이러한 필요성에도 우리나라의 경우 무통제 교차로에서의 간격수락 모델에 대한 연구가 많지 않고, 운전자의 특성 변수를 고려한 간격 수락에 대한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 무통제 교차로 지역의 차량의 행태를 조사하였고, 간격수락상황을 규명하고 운전자의 특성 등을 고려한 간격수락 모델을 개발하였다. 이러한 무통제 교차로 상황에서의 다양한 교통공학적 특성을 모델링 연

구 결과는 정보통신기반 안전시스템의 설계 등에 활용할 수 있는 기반을 마련하는데 의의가 있다.

2. 연구의 방법론

연구의 주요 방법론은 현장 조사 데이터와 비디오 분석을 병행하여 기초 데이터를 취득하고 이후 운전자 특성에 따른 간격수락모델을 추정하였다. 주요 연구의 흐름은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구의 흐름도

II. 이론적 배경

1. 비신호/무통제 교차로에 관한 연구

교통 신호기 설치 및 관리 매뉴얼 (경찰청, 2005)에서 제시한 신호기 설치 최소교통량은 <표 1>과 같다. 이러한 요건에 충족하지 않은 도로는 비신호교차로로 운영이 되며 정지표지, 양보표지 등으로 운영하여야 한다. 이에 비해 무통제 교차로는 우선권을 부여하지 않는 형태로 운영이 되어야 하나 이에 대한 내용이 교통 신호기 설치 및 관리 매뉴얼에는 포함되어 있지 않다.

<표 1> 주/부도로에 따른 신호설치 최소교통량

전급로 차선수		주도로교통량 (대/시간)	부도로교통량 (대/시간)
주도로	부도로		
1	1	500	150
2이상	1	600	150
2이상	2이상	600	200
1	2이상	500	200

기존의 교통흐름에 진입하거나 교차하게 되는 운전자는 충돌 가능 차량과 자신과의 공간을 충분히 확인하게 된다. 한 지점에서 보았을 때 연속적인 차량의 도착사이의 시간은 시간간격(time gap)이라고 하고, 임계시간간격(critical time gap)은 운전자가 진입하거나 횡단하기 위해서 요구되는 연속적 차량의 최소시간을 의미하게 된다. 또한, 대기행렬이 있는 부도로의 차량들이 주도로의 차량간 간격이 굉장히 길 경우, 그 간격 사이를 통과한 부도로의 차량간의 평균 차두시간(headway)를 추종시간(follow-up time)이라고 한다. 국내외적으로 임계시간간격과 추종시간 조사를 살펴보면 <표 2>와 같다. <표 2>는 미국의 HCM(Highway Capacity Manual) 2000에서 제시하고 있는 비신호교차로에서의 임계간격값이다. 이에 비해 국내의 도로용량편람에 <표 3>과 같은 임계간격과 추종시간을 제시하고 있다.

비신호 교차로에 대한 연구는 해외의 경우, 간격수락에 관련된 이론을 기반으로 한 교차로 길이 모형 연구(Douglas W. Harwooda 등, 1999)와 운전자, 차량, 교통조건을 이용하여 비신호 교차로의 부도로에 있는 차량의 공격적인 정도 확률함수모형화 연구(Isam A. Kaysi 등, 2006)와 비신호 교차로에서 좌회전 차량의 대항 교통류에 대한 의사결정 및 수락간격에 대한 연구(Delphine Cody 등, 2007) 등이 있으며, 우리나라의 비신호 교차로에 대한 연구는 2000년대 용량산정을 위한 비신호 조사 분석 연구 등이 진행되었다.

<표 2> 기본 임계간격 & 추종시간(미국)

교통류	임계간격(초) (tc,base)		추종시간(초) (tf,base)
	주도로 2차로	주도로 4차로	
주도로에서의 좌회전	4.1	4.1	2.2
부도로에서의 우회전	6.2	6.9	3.3
주도로에서의 직진	6.5	6.5	4.0
부도로에서의 좌회전	7.1	7.5	3.5

자료: 미국 HCM (TRB, 2000)

<표 3> 양방향정지교차로에서의 임계간격 & 추종시간 (국내) (단위: 초)

구분	주방향	부방향			
		좌회전	좌회전	직진	우회전
임계간격	1×1 형태	4.2	4.6	4.5	3.7
	2×1 형태	4.9	5.2	5.4	4.4
추종시간	1×1 형태	2.5	3.0	2.7	2.8
	2×1 형태	2.5	3.0	2.7	2.8

자료: 도로용량편람 (대한교통학회, 2001)

2. 간격수락모델

무통제 교차로에서 도로의 차량의 존재여부, 상대적인 속도, 거리, 그리고 운전자가 선택하는 간격(gap) 등을 파악하기 위해, 임계간격과 추종시간과 관련된 간격수락모델(gap acceptance model)을 할 수 있다. 일반적으로 임계간격을 찾는 것이 중요한 문제인데, 각 개별 차량의 임계간격은 거절간격의 최대값보다 크고, 수락간격값보다 작다. 이러한 임계간격의 추정방법은 국제적으로 공인된 20여가지 이상의 많은 방법들이 존재한다고 한다(이슬기 등, 2003). 그의 연구인 "임계간격을 이용한 비신호 교차로의 시거 산정에 관한 연구"에서 제시된 임계간격 추정방법을 간략히 잠시 살펴보면 다음과 같다.

초기에 Raff와 Hart(1950)은 수락간격과 거절간격 곡선의 교차점을 임계간격으로 정의하였다. Ashworth(1968)은 주도로 교통량을 음지수 분포로 가정하고, 부도로 차량의 최소수락간격을 정규분포로 가정하여 임계간격의 추정식을 제안하였다. Fitzpatric(1991)은 로짓 기법으로 수락간격의 확률을 모델링하였고, Siegloch(1973)는 traffic flow theory에서 제시한 바와 같이 선형회귀분석으로 임계간격을 모델링 하였다. 또한 최우추정법으로 임계간격의 분포를 log-normal 분포로 가정하여 임계간격을 추정한 Troutbek(1992)와 고동석 등(2000)의 연구가 있었다. 이 중 우리나라의 고동석 등(2000)의 연구는 수도권 11개의 4지 교차로를 대상으로 임계간격과 추종시간을 조사 분석하였는데 임계간격은 2.8초~5.4초, 추종시간은 2.4초~2.9초로 나타났다. 그의 연구결과에 의하면 임계간격은 차량의 종류별로는 차이가 없으나, 이동류별로는 차이가 존재하였다. 추종시간의 경우는 이동류별로 차이는 없으나 차량의 종류별로는 차이가 존재함을 보였고, 우리나라의 임계간격과 추종시간의 기준이 국외보다 낮은 상황으로 조사 분석되었다. 자세한 내용은 "임계간격을 이용한 비신호 교차로의 시거 산정에 관한 연구"에 기술되어 있다.

3. 운전자 행태 등을 고려한 간격수락 모델

운전자 요인 등을 고려한 연구들을 살펴보면 다음과 같다. Madanat 등(1994)은 정지교차로에서의 간격수락 함수를 개발하기 위해 로짓 모델을 사용하였고, 교차로 효율성을 평가하기 위한 확률적 대기행렬 이론을 개발하였다. 이때 간격수락 행태를 묘사하기 위해 거절간

격의 수, 간격길이, 정지선에서의 지체, 대기행렬지체 등을 고려하였다. M. M. Hamed 등(1997)은 T-자형 교차로에서 운전자의 임계 간격에 영향을 주는 요인들을 분석하기 위해 binary probit model를 개발하였고, 그 모델에서는 운전자의 사회경제적 특성, time of day, 대기행렬의 앞에서 기다리는 시간을 포함하고 있다. Tarek Sayed(1997)은 비신호교차로의 안전을 추정하기 위해 교통상충기법을 사용하였는데, 그중 운전자의 특성을 반영하기 위해 간격수락에 대한 특성을 제시하였고, 나이와 성별에 따라 간격수락에 차이가 있음을 확인하였다. 또한, Isam Kaysi 등(2000)에서는 우선권이 존재하는 비신호교차로에서의 간격수락모델의 개념, 상충 개념을 제시하면서, 적합한 운전자 습득능력, 피로도, 공격적 성향 등과 교통류 상황을 묘사하였다. Isam A. Kaysi 등(2007)은 비신호교차로에서의 공격적 운전자 행태를 모델링함에 있어 운전자특성(성별, 연령), 차량 특성(연식, 성능), 통행특성(거절간격의 수, 대기시간, 주도로 속도)를 조사하여, binary probit model로 모델링하였다. 이러한 일련의 연구에서는 비신호교차로에서의 간격수락이 운전자의 특성이 중요한 요인으로 작용할 수 있음을 알려주고 있고, 로짓이라 프로빗 모델로 추정하는 것이 의미가 있음을 보이고 있다.

III. 자료의 수집과 분석

1. 조사개요

본 연구에서는 무통제 교차로를 선택하기 위해서 수

원 지역 교차로 3지/ 4지 교차로 각 1개 지역을 현장조사 및 비디오조사를 병행하여 실시하였다. 주요 조사방법은 이정우 등(2007)에 상세히 기술되어 있어 본 연구에서는 생략하도록 하겠다. 연구에서 적합한 무통제 교차로를 선택하기위해 수원시 전 지역에 대한 현장 조사를 실시하였으나 불법 주정차가 많고, 비디오 조사를 병행할 수 있는 높은 빌딩 등이 갖추어진 적절한 조사 지역에 대한 선정이 어려운 실정이었다. 이에 대표적인 <표 4>의 교차로 두 군데를 선정하게 되었다.

- 3지교차로: 2007년 8월 17일, 17시-19시
- 4지교차로: 2007년 8월 18일, 17시-19시

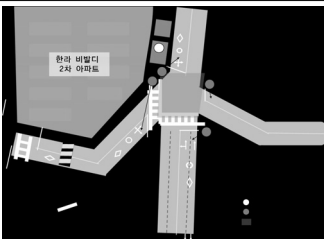
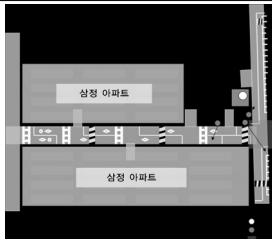


2. 조사설계

변수별 수락간격의 통계적 검증, 유입교통량과 임계 간격과의 관계를 분석하기에 앞서 <표 5>의 내용을 조사하였고, 절대 시각으로 개별 차량의 운전자 특성과 교통 특성을 비디오조사와 현장조사에 대하여 각각 일치시켰다.

<표 5> 조사항목

구분	조사항목
사전조사/기하구조 조사	○ 차로수, 인근 교차로까지의 거리, 차로폭, 접근로별 제한속도, 횡단보도 유무, 통제시설의 유무, 노면표시, 접근로간 각도
현장조사	○ 차량의 정지시간, 교통류, 남/여, 동승자수, 연령, 차종
비디오 조사	○ 교통량, 간격, 간격수용여부

<표 4> 조사지역의 기하구조 및 현황

	4지교차로(수원시 한라아파트앞)	3지교차로(수원시 삼정2차 앞 교차로)
교차로 기하구조 및 카메라 및 조사원 위치		
지역현황		

3. 자료의 특성분석

1) 기초자료분석

두 지역에서 조사된 208개의 차량에 대한 주요 변수별 자료수는 <표 6>과 같고, 조사된 시간의 교통량은 <표 7>과 같다. 교통량조사는 비디오 촬영으로 모든 접근로의 차량에 대하여 조사를 실시하였으며, 운전자 특성에 대한 조사는 일부차량에 대하여 간격(gap)수락의 의사결정이 이루어진 차량에 대하여 조사하였다.

<표 6> 교차로 종류별 조사결과

구분		4지교차로	3지교차로
성별	남자	88	62
	여자	39	19
동승자	유	29	28
	무	98	53
연령	40대 이상	44	44
	40대 이하	83	37
차량유형	승용차	112	61
	비승용차	15	20
합계		127	81

<표 7> 교통량 분포

(단위: 대/시)

구분	4지교차로				3지교차로			
	NB	SB	EB	WB	NB	SB	WB	
교통류	좌회전	24	39	116	7	42	-	66
	직진	41	79	46	39	115	133	-
	우회전	12	212	30	11	-	47	41
	소계	77	330	192	57	157	180	107

<표 8> 변수별 통계분석 결과

변수		평균 (초)	분산 (초 ²)	관측수 (개)
교통류	좌회전	9.20	57.96	123
	우회전	7.64	37.94	28
	직진	5.95	28.16	56
성별	남자	8.25	46.33	150
	여자	7.63	55.71	58
동승자	없음	8.10	50.97	151
	있음	8.02	43.73	57
연령	40대 이상	9.40	61.53	88
	40대 이하	7.11	37.61	120
차종	승용차	8.03	47.34	173
	비승용차	8.31	57.34	35

2) 기초통계분석

조사항목으로 설정된 변수인 교통류(좌/우회전, 직진), 성별(남 여), 동승자 유무, 연령(40대 이상/ 이하), 차종(승용차, 비승용차)에 대하여 수락간격을 각 변수별로 분석한 결과는 <표 8>과 같다.

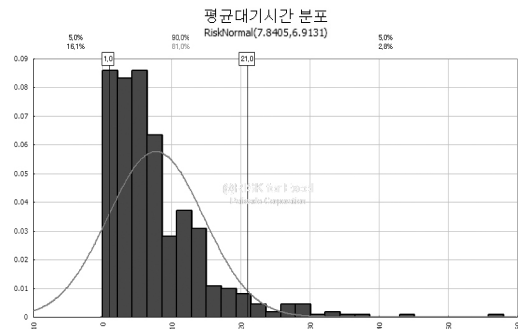
총 차량의 평균대기시간은 약 7.84초(표준편차 6.9초)로 <그림 2>와 같은 분포를 보이고 있다.

3) 거절간격과 수락간격 분포

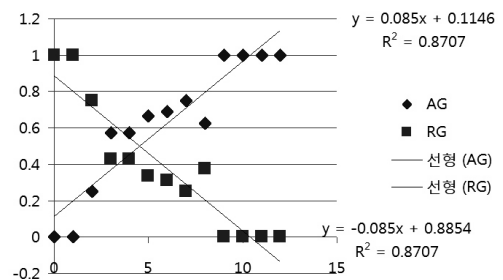
기초통계 분석에서 변수별 수락간격의 평균치에서 특히 교통류별 차이가 크게 나타났다. 이에 따라 교통류별로 수락간격과 거절간격 상대빈도수에 따른 임계간격을 도출하였으며, 회귀분석 방법으로 구한 회귀식은 다음과 같다. 여기서, 각 교통류의 회전방향에 따라 간격수락 모델이 다르게 도출되어 회전류별로 그 분포를 살펴보기로 한다.

먼저, 좌회전 교통류의 상대빈도수와 회귀식은 <그림 3>이며, 수락간격의 회귀식은

$$y_{LA} = 0.051x_{LA} + 0.164 \quad (1)$$



<그림 2> 평균대기시간 분포



<그림 3> 좌회전 교통류의 상대빈도수/회귀식

이며, R-square 값은 0.865이다. x_{LA} 는 좌회전 교통류의 수락간격이며, y_{LA} 는 좌회전 교통류의 수락한 상대빈도수이다. 거절간격의 회귀식은

$$y_{LR} = -0.051x_{LR} + 0.835 \quad (2)$$

이며, R-square 값은 0.865로 수락간격과 동일하다. 여기서 x_{LR} 은 좌회전 교통류의 거절간격이며, y_{LR} 는 좌회전 교통류의 거절한 상대빈도수이다. 이때의 임계간격은 6.57초이다.

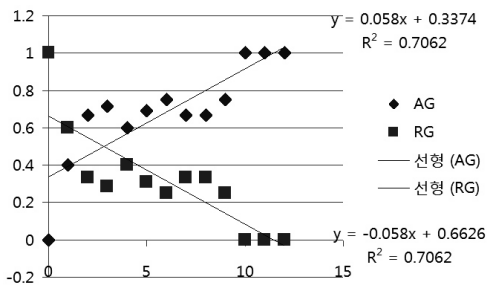
또한, 직진 교통류에서의 상대빈도수와 회귀식은 <그림 4>이며, 수락간격 회귀식은

$$y_{TA} = 0.064x_{TA} + 0.196 \quad (3)$$

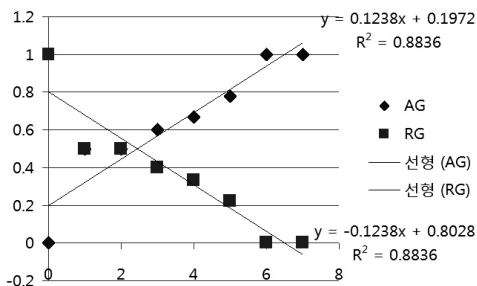
이며, R-square 값은 0.666이다. x_{TA} 는 직진 교통류의 수락간격이며, y_{TA} 는 직진 교통류의 수락한 상대빈도수이다. 거절간격의 회귀식은

$$y_{TR} = -0.064x_{TR} + 0.803 \quad (4)$$

이며, R-square 값은 0.666로 수락간격과 동일하다. 여기서 x_{TR} 은 직진 교통류의 거절간격이며, y_{TR} 는 직진 교통류의 거절한 상대빈도수이다. 이때의 임계간격은 4.74초이다.



<그림 4> 직진 교통류의 상대빈도수/회귀식



<그림 5> 우회전 교통류의 상대빈도수/회귀식

마지막으로 우회전 교통류의 상대빈도수와 회귀식은 <그림 5>이며, 수락간격의 회귀식은

$$y_{RA} = 0.117x_{RA} - 0.003 \quad (5)$$

이며, R-square 값은 0.692이다. x_{RA} 는 우회전 교통류의 수락간격이며, y_{RA} 는 우회전 교통류의 수락한 상대빈도수이다. 거절간격의 회귀식은

$$y_{RR} = -0.117x_{RR} + 1.003 \quad (6)$$

이며, R-square 값은 0.692로 수락간격과 동일하다. 여기서 x_{RR} 은 우회전 교통류의 거절간격이며, y_{RR} 은 우회전 교통류의 거절한 상대빈도수이다. 이때의 임계간격은 4.3초이다.

위의 회귀식을 통해 임계간격을 구하면, 좌회전의 경우 6.57초, 직진의 경우 4.74초, 우회전의 경우는 4.3초로 나타났으며, 좌회전의 임계간격이 가장 큰 것을 통해서 알 수 있듯이 좌회전 교통류가 더 긴 시간동안 사고 위험 부담을 가지고 있다고 판단할 수 있다.

IV. 운전자 특성변수를 반영한 간격수락모델

1. 개념

운전자의 행태와 관련된 무통제 교차로에 대한 통계적/수리적 모형을 위해서 먼저 수집된 데이터를 살펴보면 이산형/종속형 독립변수들과 간격의 수락과 거절이라는 이산형 종속변수들로 구분이 가능하다. 따라서 가능한 통계적/수리적 모형은 교통분야에서 널리 사용되어 온 로지모형(로지스틱회귀모형)이나 프로빗 모형이 후보가 된다. 여기서 선택과 대안의 선호도에 대한 것은 다양한 유형이 존재할 수 있는데, 본 연구에서와 같이 간격의 수락여부처럼 2가지 중 택일하게 되는 경우와 3가지 이상의 대안에 대하여 선택하는 경우로 나눌 수 있다. 연구에서는 사람의 성별, 나이, 교통량, 회전방향(직진, 좌회전, 우회전), 동승자유무, 연령, 차종, 교차로유형(4차 교차로/3차교차로) 등에 따라서 간격수락의 선택여부가 결정이 될 수 있다는 것을 모형화하고자 한다.

2. 모형의 구성

현재 조사된 지역은 정지나 양보표지가 존재하지 않

는 무통제 교차로로서, 간격을 수락하여 교차로를 진입하거나 진입하지 않을 것을 선택하는 이항선택환경에서 운전자 n이 간격을 수락할 확률은

$$P_n(i) = \Pr(V_i - V_j > \epsilon_j - \epsilon_i) \quad (7)$$

으로 나타낼 수 있다. 여기서 $V_i - V_j$ 는 관측 가능한 효용의 차이므로 수치적 계산이 가능하고 상수항으로 간주된다. 따라서 간격(gap)의 수락확률은 $\epsilon_j - \epsilon_i$ 에 의해서 결정된다. 현실적으로 관측 불가능한 효용 ϵ_i, ϵ_j 는 알 수 없을 뿐만 아니라 수치적 표현이 불가능하기 때문에 일정한 분포를 가정해야 된다. 물론 가장 바람직한 것은 대부분의 사회현상을 설명할 수 있는 정규분포가 가정되어야 하겠지만 정규분포는 분포함수의 적분이 초등수학으로 불가능하기 때문에 수식의 전개과정이 용이하지 않고 개발된 모형의 활용 역시 매우 제약되기 때문에 많은 수리학자들은 ϵ_i 가 정규분포와 유사한 웨이블(Weibull)분포를 가정한다. ϵ_i 의 분포를 정규분포로 가정해서 도출된 개별행태모형을 프로빗 모델이라 하고 웨이블 분포를 가정해서 도출된 모형을 로짓모델이라 하며, 대부분의 개별행태모형은 로짓모델 구조를 가지며 본 연구에서도 동일한 가정을 수용하였다. 관측 불가능한 효용 ϵ_i 가 웨이블 분포를 따른다고 가정하면 이항 선택개별행태모델(이항 로짓 모델)은 다음과 같은 형태를 가질 수 있다.

$$P(i) = \frac{\exp(V_i)}{\exp(V_i) + \exp(V_j)} \quad (8)$$

반면 관측 불가능한 효용 ϵ_i 가 웨이블 분포를 따른다는 전제 하에서 이항로짓모델은 다항로짓모델로 확장될 수 있다.

$$P(i) = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{i=1}^n \exp(V_i)} \quad \text{단, } i=1, 2, 3, \dots, n \quad (9)$$

본 연구에서 어떤 운전자 n이 상기 무통제 교차로에서 간격(gap)을 수락하여 교차로에 진입할 확률은 간격을 판단하여 통과 가능하다고 인식하는 효용이 간격을 수락하지 않고 다음을 기다리도록 인식하는 효용보다 클 확률과 같게 된다. 즉,

$$P_n(i) = \Pr(U_i > U_j) = \Pr(V_i + \epsilon_i > V_j + \epsilon_j) \quad (10)$$

으로 표현된다. 여기서 총 효용을 구성하는 인식 가능한 효용(V_i)과 인식 불가능한 효용(ϵ_i)이 산정될 수 있다면 대안의 선택확률은 쉽게 산정될 수 있다. 그러나 앞에서도 언급한 바와 같이 V_i 는 관측 가능한 효용이므로 산정될 수 있지만, ϵ_i 는 관측이 불가능한 효용이므로 산정이 불가능하기 때문에 ϵ_i 가 일정한 분포를 이루고 있음을 가정하게 된다. 이러한 형태가 가장 간단한 형태인 이항로짓모델의 이론적 구조이다. 연구에서 최종적으로 제시하게 되는 모형의 형태는 다음과 같다.

$$P(a) = \frac{e^{V_a}}{\sum_i e^{V_i}} = \frac{e^{\sum_k \theta_k X_{ka}}}{\sum_i e^{\sum_k \theta_k X_{ki}}} \quad (\text{단 } i=1, 0) \quad (11)$$

P(1) : 운전자가 간격을 선택하여 교차로에 진입할 확률

P(0) : 운전자가 간격을 거절하고 멈추어 있을 확률 (1-P(1))

여기서, 대안별 효용함수는 다음처럼 정립된다.

$$V_i = \theta_i X_i + d_i \quad (11)$$

V_i : 대안 i의 효용 (i=0 gap 거절, i=1 gap 수락)

θ_i : 독립변수의 계수

X_j : 속성변수 j, <표 9>에 독립변수로 상세 기술

d_i : 상수

모형에 대한 정산으로 종속변수와 설명변수의 관계를 규명하는 방법으로는 회귀분석법, 판별분석법, 최우추정법 등이 제시되고 있으며, 본 연구에서는 최우추정법에 의하여 모형을 정산하였다.

3. 모형의 적용

현재 조사된 주요 조사항목에서 고정 수치인 기하구조조사 자료를 제외하고는 교통류(회전류-직진, 좌회전, 우회전), 성별(남/여), 동승자유무(없음/있음), 연령(40대 이상/40대 미만), 차종(승용차/비승용차), 교차로유형(4지교차로/3지교차로)에 따른 간격의 수락여부(수락/거절)간의 관계를 이항로짓모델로 적용하였다. 즉 종속변수와 독립변수를 구분하면 <표 9>와 같다.

〈표 9〉 변수 속성

구분	변수명	속성	빈도수 (비율%)	
종속변수 (대안)	gap수락여부 (Accept)	거절: 0	305(59.3%)	
		수락: 1	209(40.7%)	
독립변수 (대안의 속성변수 및 일반적인 속성변수)	교차로에서 기다리는 누적시간(A.S.T)		초 평균: 7.84초	
	해당차량 의 교통류 형태	직진 (C3 T)	비존재: 0 존재: 1	364(70.8%) 150(29.2%)
		좌회전 (C3 L)	비존재: 0 존재: 1	213(41.4%) 301(58.6%)
		우회전 (C3 R)	비존재: 0 존재: 1	482(93.8%) 32(6.2%)
	상충접근 방향	동일 (C1 S)	비존재: 0 존재: 1	510(99.2%) 4(0.8%)
		반대 (C1 O)	비존재: 0 존재: 1	392(76.3%) 122(23.7%)
		왼쪽 (C1 L)	비존재: 0 존재: 1	274(53.3%) 240(46.7%)
		오른쪽 (C1 R)	비존재: 0 존재: 1	366(71.2%) 148(28.8%)
	상충방향 의 교통류 형태	직진 (C2 T)	비존재: 0 존재: 1	248(48.2%) 266(51.8%)
		좌회전 (C2 L)	비존재: 0 존재: 1	304(59.1%) 210(40.9%)
		우회전 (C2 R)	비존재: 0 존재: 1	476(92.6%) 38(7.4%)
	성별 (gender)		남:1 여:0	367(71.4%) 147(28.6%)
	동승자유무 (Ad.P)		없음: 0 있음: 1	356(69.3%) 158(30.7%)
	연령 (Age)		40대미만: 0 40대이상: 1	295(57.4%) 219(42.6%)
	차종 (Type)		승용차: 1 비승용차: 0	425(82.7%) 89(17.3%)
	교차로유형 (Intersection)		4지교차로: 1 3지교차로: 0	192(37.4%) 322(62.6%)

여기서 해당차량의 교통류 형태(C3_T, C3_R, C3_L), 상충접근방향(C1_S, C1_T, C1_L, C1_R), 상충방향의 교통류 형태(C2_T, C2_R, C2_L)에 대한 회전방향에 대한 개념은 〈표 10〉과 같다.

4. 모형의 적용 결과

앞에서 제시된 모형의 형태로 로짓모형의 변수를 최우추정법으로 추정하여 그 결과를 살펴보았다. 이때 SPSS의 로지스틱 회귀모형을 모듈을 이용하여 각 변수를 추정하였으며, 그 결과는 〈표 11〉과 같다. 〈표 11〉은 16개의 변수 중에 P-값이 비교적 작게 나타난(연구에서는 0.15이하) 대표적 변수를 표시하였다.

〈표 11〉의 결과를 살펴보면 신뢰수준 95%에서 P-값이 5%이하인 변수로서, 의미 있는 변수로 채택이 된 것은 다음과 같다.

- 교차로에서 기다리는 총 시간(A.S.T)
- 진행방향이 우회전 차량(C3_R)
- 교차로유형(Intersec)

이때 세 가지 변수의 추정치의 값과 부호를 통하여 의미를 찾아보면 다음과 같다.

- 기다리는 시간이 7.84초 이상일 경우 그보다 작은 경우보다 1.47배 정도, 간격(gap)을 수락할 가능성이 높다.

〈표 10〉 회전방향 선정기준

	<p>○대상 차량이 교차로 접근 중에 상충이 발생했을 경우, 상충이 되는 상대 차량의 접근 방향을 C1.L, C1.O, C1.R, C1.S로 구분하였음</p>
	<p>○대상 차량이 교차로에 접근 중 상충이 발생했을 경우 상대차량의 교통류를 C2.L, C2.T, C2.R로 구분하였음</p>
	<p>○대상 차량이 교차로에 접근할 경우 회전하고자 하는 방향 정보를 C3_T, C3_L, C3_R로 구분하였음</p>

- 우회전할 차량은 그렇지 않은 차량보다 3.86배 정도, 간격(gap)을 수락할 가능성이 높다
- 3지 비신호 교차로를 진입한 운전자의 경우 4지 비신호 교차로보다 1.76배 정도, 간격(gap)을 수락하는 가능성을 보인다.

〈표 11〉 변수 추정결과

	AGE	gender	AD.P	INTERS EC	A.S.T	C3_R	Consta nt
추정치 평균	-0.19	0.477	-0.406	-0.565	0.383	1.350	-3.869
추정치 표준편차	0.267	0.273	0.267	0.287	0.036	0.522	0.463
P-값	0.127	0.081	0.128	0.049	0.000	0.010	0.000
평균에 대한 표준기대치	0.827	1.611	0.666	1.759	1.466	3.858	0.021
80.0% C.I.for	Lower	0.587	1.135	0.473	1.218	1.40	1.976
	Upper	1.165	2.287	0.938	2.540	1.535	7.530

그리고, M. M. Hamed 등(1997), Tarek Sayed(1997)에서 나이, 성별이 의미가 있다고 결과를 제시한 바 있어, P-값이 나이 성별이 각각 0.127과 0.081을 보인 변수를 해석하면 다음과 같다.

- 40대 이상의 운전자는 40대 이하의 운전자보다 0.82배 정도 간격(gap)을 수락할 가능성이 높다. (즉 40대 이하의 운전자는 40대 이상의 운전자보다 1.22배 정도 간격(gap)을 수락할 가능성이 높다)
- 성별이 남성은 여성보다 1.61배 정도 간격(gap)을 수락할 가능성이 높다.

또한 신뢰수준이 95%이상은 아니지만, P-값 0.129를 보이는 동승자 유무(AD.P)에 대하여 살펴보면 다음과 같다. 동승자 유무도 간격수락에 영향을 미칠 가능성이 있다.

- 동승자가 없는 경우가 있는 경우보다 0.67배 정도, 간격(gap)을 수락할 가능성이 있다. (즉 동승자가 있는 경우는 없는 경우보다 1.49배 간격(gap)을 수락할 가능성이 있다)

주요 적합도 지표로 다음과 같은 결과를 얻었다.

- $L(\hat{\beta}) = 441.589$
- $\rho^2 = 0.324$

모형의 적합도(goodness of fit)인 우도비 ρ^2 (rho-squared; likelihood ratio index)의 값이 0.324의 값을 보이고 있으며, 이 값은 0.2와 0.4사이의 값만 가져도 추정된 모형이 아주 좋은 적합도를 가진다고 평가되므로(McFadden, 1976) 본 모형이 의미가 있음을 알 수 있다.

V. 결론 및 향후 과제

무통제 교차로는 운전자의 의사결정이 다양하게 이루어지는 중요 의사결정 지점이자 교차로의 안전이 요구되는 지점이다. 운전자의 의사결정을 묘사하기 위해 사용되는 기본 모델이 간격수락에 대한 연구이나, 우리나라의 경우 무통제 교차로에서의 관련 연구가 많지 않고, 운

전자의 특성 변수를 고려한 간격 수락에 대한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구는 무통제 교차로에서의 간격 수락을 확인하기 위해, 수원시 지역의 무통제 교차로의 지역을 현장 조사 및 비디오 조사를 하고 로짓모델로 간격수락모델을 모형화 하였다. 연구에서 살펴본 무통제 교차로에서의 운전자 특성을 반영한 간격수락 모델에서는 교차로에서 기다리는 총시간이나, 차량의 진행방향이 우회전인 경우, 나이, 성별, 동승자 유무 등이 간격수락에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 이러한 연구 결과는 무통제 교차로를 운행하는 운전자들은 교차로에서 통행의 의사결정을 함에 있어 그러한 운전자, 교통, 동승자조건등의 특성에 영향을 받는 것으로 나타나고 있는바 이러한 결과는 향후 교차로 설계나 교차로 안전정보제공 등에 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 다양한 지역의 무통제 교차로를 조사하여 분석하려 하였으나, 실제 현장조사 및 비디오 조사와 병행할 수 있고, 불법 주정차 등이 없는 조사 지역을 선정하는데 한계성이 있었다. 향후 전국적인 광범위한 무통제 교차로에 대한 조사와 운전자 특성과 관련된 분석이 된다면 보다 일반적인 무통제 교차로의 간격수락에 대한 결론을 도출 할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 경찰청(2005), “교통신호기 설치 및 관리 매뉴얼”.
2. 고동석(2000), “우리나라 4지 비신호 교차로의 임계간격과 추종시간 기준에 관한 연구”, 중앙대학교 석사학위논문.
3. 고동석·이용재·정진혁(2000), “수도권 지역 4지 비신호 교차로에 대한 이동류별 차량의 임계간격과 추종시간 기준에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제18권 제6호, 대한교통학회, pp.19~32.
4. 국토해양부(2003), “도로용량편람”.
5. 김경환(1986), “The gap-acceptance of left-turn drivers”, 대한교통학회지, 제4권 제1호, 대한교통학회, pp.72~87.
6. 김석근, 이용재(2001), “편도 1차로 접근로의 비신호 교차로에 대한 운영방식의 적용에 관한 연구”, 2001년도 대한토목학회 학술발표회.
7. 이슬기·이용재·김석근(2003), “임계간격을 이용한 비신호 교차로의 시거 산정에 관한 연구”, 대한

- 교통학회지, 제21권 제5호, 대한교통학회, pp.97~110.
8. 이정우, 장정아, 최기주(2007), "USN기반 교차로 안전 서비스제공을 위한 비신호 교차로에서의 운전자 행태 기본조사 및 분석", 57회 학술발표회 발표집, 대한교통학회, pp.539~546.
 9. American Association of state Highway and Transportation Officials(2001), "A policy on geometric design of highways and streets", Washington D.C..
 10. Brilon, W., Koenig, R. and Troutbeck, R.(1999), "Useful Estimation Procedures for critical gaps". Transportation Research Part A: Policy and Practice., Vol. 33A. No. 3/4, pp.161~186.
 11. Douglas W. Harwood, John M. Mason and Robert E. Brydia(1999), "Design policies for sight distance at stop-controlled intersections based on gap acceptance", Transportation Research Part A: Policy and Practice., Vol. 33., pp.199~216.
 12. Fitzpartic, Kay(1991), "Gaps Accepted at Stop-controlled intersection", Transportation Research Record 1303, pp.103~112.
 13. Institute of transportation engineers(1994), "Manual of Transportation Engineering Studies".
 14. Isam A. Kaysi and Ali S. Abbany(2007), "Modeling aggressive driver behavior at unsignalized intersections", Accident analysis and Prevention, Vol. 39. no.4, pp.671~678
 15. Isam A. Kaysi and Ghassan Alam(2000), "Driver behavior and traffic stream interactions at unsignalized intersections, Journal of Transportation Engineering", ASCE, pp.498~505.
 16. J. L Gattis and Sonny T. Low(1999), "Gap acceptance at non-standard stop-controlled intersections", MBTC FR 1059.
 17. Madanat, S., Cassidy, M. and Wang, M. H.(1994), "Probabilities delay model at stop-controlled intersection", Journal of Transportation Engineering, ASCE 120(1), pp.21~26.
 18. McFadden, D.(1976), "The theory and practice of disaggregate demand forecasting for various modes of urban transportation". University of California-Berkeley, Institute of Transportation Studies, Working paper No. 7623.
 19. M. M. Hamed, S. M. Easa and R. R. Batayneh (2007), "Disaggregate gap-acceptance model for unsignalized T-intersections", Journal of Transportation Engineering, ASCE, pp.6~42.
 20. Peter J. Cooper and Yvonne Zheng(2002), "Turning gap acceptance decision-making: The impact of driver distraction", Journal of Safety Research, 33, pp.321~335.
 21. Tarek Sayed(1997), "Estimating the safety of unsignalized intersections using traffic conflicts", Third International Symposium on Intersections Without Traffic Signals. pp.230~235.
 22. TRB(1999), "Traffic Flow Theory".
 23. TRB(2000), "Highway capacity manual 2000".

✉ 주 작성자 : 장정아

✉ 교신저자 : 장정아

✉ 논문투고일 : 2008. 9. 16

✉ 논문심사일 : 2008. 10. 17 (1차)

2008. 11. 5 (2차)

2008. 11. 21 (3차)

✉ 심사판정일 : 2008. 11. 21

✉ 반론접수기한 : 2009. 4. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필