

## 비보호좌회전에서의 간격수락 행태모형 개발

### Development of Gap Acceptance Models for Permitted Left Turn Intersections

이 청 원	Lee, Chung Won	서울대학교 건설환경공학부 교수 (E-mail : chungwon@snu.ac.kr)
이 동 민	Lee, Dong Min	정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : dmlee@uos.ac.kr)
황 순 천	Hwang, Soon Cheon	정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 (E-mail : tseven37@naver.com)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** Permitted left turn is a turning maneuver in which a vehicle turns left using a gap between oncoming vehicles, called gap acceptance, and it enables for more efficient traffic operation at intersections. In Korea, the permitted left turn has not been a common maneuver at signalized or un-signalized intersections. However, many experts and the Police Agency tried to apply this effective turning maneuver at intersections in Korea since 2010. Though the investigation of gap acceptance is significantly important in understanding a driver's behavior at intersections, there have not been many studies about this topic, specifically a study to develop probability models of gap acceptance behavior.

**METHODS :** In this study, the probability model of gap acceptance behavior for a permitted left turn was developed based on observational field studies. To develop the model, seven variables were analyzed including gap, waiting time, traffic volume, conflict-flow vehicle type, left-turning vehicle type, the number of lane, and time.

**RESULTS :** In the final model, gap and left-turning vehicle type were found to be significant influencing factors.

**CONCLUSIONS :** Through this model development, it was concluded that as the gap size increased, the probability of gap acceptance was higher. Moreover, when a left-turning vehicle was a passenger car, the probability of gap acceptance was higher than compared to large size buses or freight cars.

#### Keywords

*Permitted Left Turn, Gap Acceptance, Field Observational Study, Logistic Model*

Corresponding Author : Lee, Dong Min, Associate Professor  
Department of Transportation Engineering, University of Seoul,  
Seoulsiripdae-ro 163, Seoul, 02504, Korea  
Tel : +82.2.6490.2827 Fax : +82.2.6490.2819  
E-mail : dmlee@uos.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received May, 13, 2016 Revised May, 16, 2016 Accepted Oct, 04, 2016

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

신호교차로는 방향별 교통량 비율에 따라 신호현시를 결정하여 운영하게 되며, 신호지체 최소화를 위해 불필요한 신호현시 수를 줄이고, 신호주기를 적정수준으로 줄여 운영하게 된다. 또한 신호교차로 운영의 효율성을

높이기 위해 미국 등의 선진국에서는 비보호좌회전을 적극 도입·운영하고 있다. 비보호좌회전이란 교차로에서 좌회전하는 차량에 대해 별도의 전용신호현시 없이 직진 신호 시에 상충교통류의 차두간격(Gap)을 이용하여 좌회전하는 방식이다. 우리나라에서도 2010년 교통체계 선진화 사업을 통해 비보호좌회전 도입을 검토한

바 있으며, 최근 2015년 4월 경찰청에서 비보호겸용좌회전(PPLT, Protected Permitted Left Turn)을 전국적으로 확대 도입할 것으로 결정한 바 있다.

비보호좌회전에서는 운전자들이 상충되는 직진 차량 간의 간격을 이용하여 좌회전을 하게 되는데, 이와 같은 운전자의 간격수락 행태를 분석함은 매우 중요한 부분이다. 일반적으로는 상충되는 직진 차량 간의 간격이 일정크기 이상이 되면, 해당 차량들의 간격을 받아들여 좌회전을 시도하게 된다. 이때의 차두간격을 임계간격이라고 하는데, 이 임계간격을 산출하는 것은 교차로 운영 계획 수립에 매우 중요한 부분이다. 하지만, 비보호좌회전을 위한 간격수락은 개별 운전자, 그리고 교차로 및 차량특성 등에 따라 다양하게 나타날 수 있어, 이를 확률분포 모형으로 평가하고 개발하는 것이 보다 타당하다고 할 수 있다. 실제적으로 기존 연구에서도 교차로에서의 간격수락행태는 운전자의 특성이나, 차량의 대기 시간 등의 교통류의 특성이 운전자의 좌회전을 위한 의사결정에 영향을 미칠 수 있음을 설명하고 있다(장정아, 2008; Hamed, M 1997). 이와 같은 비보호좌회전에 대한 운전자 행태연구를 통해 운전자들이 별도 신호에 의한 보호 없이 상충되는 직진 차량 간의 차두간격을 통해 좌회전하도록 의사결정에 영향을 미치는 요인들에 대한 분석이 필요하다. 하지만 이를 위한 자료 구축의 어려움 등의 이유로 국내외에서의 관련 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 교차로에서 비보호좌회전하는 차량의 행태와 도로 및 교통환경을 조사·분석하고, 이를 통해 간격수락 행태모형을 개발하고자 한다. 본 연구 결과를 통해 우리나라 운전자들의 비보호좌회전 운전행태특성을 반영하여 비보호좌회전 운영전략을 수립할 수 있을 것으로 보인다.

## 1.2. 연구의 내용 및 수행과정

연구의 진행은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 크게 다섯 가지의 단계를 걸쳐 수행되었다. 첫 번째, 임계간격(Critical Gap)과 간격수락(Gap Acceptance)과 관련된 기존 문헌들을 검토하였다. 두 번째, 조사지점 선정, 조사방법 결정, 조사 등의 연구수행방법을 결정하였다. 세 번째, 현장조사에서 얻은 자료를 바탕으로 본 조사에 필요한 변수를 산출하였다. 네 번째, 산출된 변수로 확률분포식의 모형을 개발하였다. 마지막으로 개발된 모형을 검증하여 적정성을 입증하였다.

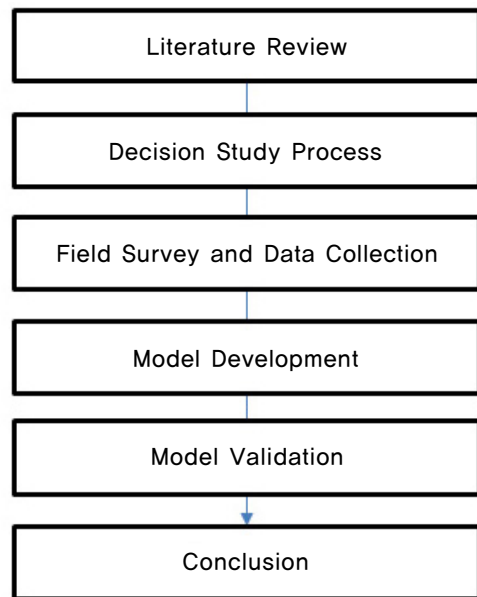


Fig. 1 A Study Flow Chart

## 2. 기존문헌 검토

### 2.1. 임계간격 산출방법 관련 기존연구

앞에서 설명한 바와 같이 비보호좌회전에 대한 연구에서는 주로 임계간격을 산출하기 위한 많은 연구가 진행되었다. 이는 상충되는 직진 차량 간의 차두간격이 일정크기 이상이 되면, 해당 차량들이 차두간격을 받아들여 좌회전을 시도하게 되는 현상을 통해 비보호좌회전의 용량 및 서비스 수준 등을 분석할 수 있기 때문이다.

이러한 임계간격을 산출하는 방법은 크게 Raff, Ashworth, Troutbeck, Wu의 4가지 방법으로 설명할 수 있다. Raff(1950)는 진입차량이 주도로의 진입을 성공한 차량들의 수락된 간격 누적분포(Accepted Gap)와 수락이 거부된 간격의 누적분포(Rejected Gap)를 이용하여 임계간격을 추정하는 방법을 개발하였다. 임계간격은 두 가지 분포 곡선의 교차점을 임계간격으로 정의하였다. 한편 Ashworth(1969)는 간격수락행태에 영향을 미치게 되는 요인 중 주도로 교통량에 의해 치우친 간격 분포에 대하여 오류를 입증하고, 이러한 치우침을 제거하여 각기 다른 주도로 교통량 수준에 대해 일관적인 임계간격 추정식을 제시하였다. 한편, Troutbeck(1997)은 Miller와 Pretty에 의해 만들어진 최우추정법을 심화시켜 주도로의 차량 사이의 간격  $t$ 와 통과 차량대수  $n$ 을 측정하여  $n$ 명의 운전자에 의해 수락된 평균 시간간격을 계산하여, 평균 시간간격 동안 교차로로 진입한 차량과의 선행 회귀분석을 실시한 후 임계간격을 추정하였다. 최근 Wu(2006)는 임계간격 계산을 위해 새로운 방법을 개

발하였는데, 이는 차두간격 사이로 진입하는 차량들의 수락 혹은 거절 여부를 판단하여 계산된 확률을 바탕으로 한 임계간격 계산방법이다.

Table 1. Features of Estimating of Critical Gap

Method	Features
Raff	<ul style="list-style-type: none"> <li>When the sum of cumulative probabilities of accepted gaps and rejected gaps is equal to 1, then a gap of length its equal to critical gap estimating the critical gap.</li> <li>It can be simply estimated.</li> <li>It means the number of rejected gaps larger than critical gap is equal to the number of accepted gaps smaller than critical gap.</li> </ul>
Ashworth	<ul style="list-style-type: none"> <li>The average critical gap may be evaluated from mean of accepted gap.</li> <li>This is a very practical solution and one which can be used to give acceptable results generally.</li> <li>Critical gap obtained by this method is highly correlated with major street traffic volume.</li> </ul>
Troutbeck	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estimates the parameters to maximize the likelihood that the critical gap for an individual is higher than the highest rejected gap, and lower than the actual accepted gap.</li> <li>The volume of traffic may bias the results calculated.</li> <li>If vehicles accept the first gap, zero is used for the largest rejected gap in the Troutbeck method, which could cause the estimated critical gap to be too low.</li> </ul>
Wu	<ul style="list-style-type: none"> <li>the probability equilibrium between the rejected and the accepted gaps.</li> <li>This method yields the empirical distribution of the critical gaps, which can be helpful for microscopic simulation.</li> <li>In the observation data, the minimum accepted gap should be smaller than the utmost rejected gap.</li> </ul>

## 2.2. 간격수락 행태모형개발관련 기존연구

앞에서 제시한 임계간격을 이용한 간격수락 모델 외에 운전자 특성 등 다양한 변수를 반영하여 간격수락 모델을 개발한 기존 연구들도 참고하였다. 장정아 등(2008)은 무통제 교차로 지역의 차량 행태를 조사하여 간격수락상황을 규명하고, 운전자의 성별, 연령, 동승자 유무 등의 특성을 고려한 간격수락 모델을 로지스틱 회귀분석을 통해 개발하였다. 장유립(2009)은 신호교차로에서의 RTOR(Right Turn on Red)시에 나타나는 간격수락행태를 간격, 교통량, 속도, 중차량 여부 등의 특성을 반영한 모델을 개발하였다. M. M. Hamed 등(1997)은 교차로에서 운전자의 임계 간격에 영향을

주는 요인들을 분석하기 위해 이항 프로빗 모형을 활용하여 운전자의 사회경제적 특성과 대기행렬에서 기다리는 시간 등의 변수를 반영해 보았다. 그리고 Moshe A. Pollatschek(2002)은 비신호교차로에서 진입하려는 차량들의 대기시간을 중점으로 모델링을 하였다. 또한 Isam A. Kaysi 등(2007)은 비신호교차로에서의 공격적인 운전자들의 행태를 운전자, 차량, 통행 등의 특성을 반영한 모델링을 하였다. Ismail Zohdy 등(2010)은 비보호좌회전 시 대기시간과 강수량의 정도에 따른 운전자들의 수락간격을 데이터화하여 모델식을 개발하였다.

## 3. 연구수행방법

### 3.1. 자료의 수집 및 DB 구축

#### 3.1.1. 현장조사방법

비보호좌회전에서의 간격수락 행태 자료 구축을 위한 현장조사는 기본적으로 영상촬영 후 실내조사를 통해 수행되었다. 촬영된 영상은 상류부에서 교차로 내로 접근하는 직진차량과 좌회전하기 위해 대기하는 차량을 동시에 포함하여, 상충되는 직진 차량 간의 차두간격을 받아들여 좌회전을 시도하는 운전자 행태를 조사할 수 있도록 하였다.

현장조사는 우선 조사 후보교차로를 5개소 선정하고, 사전조사를 통해 본 연구의 목적에 최대한 부합되고, 조사결과의 왜곡이 최소화될 수 있는 교차로 2개소를 선정하여 수행하였다. 현장조사의 후보지점을 선정하기 위해서는 다음과 같은 세 가지 조건을 이용하였으며, Table 2에서 보는 바와 같이 고양시 지역의 5개 교차로를 선정하고 사전 현장조사를 통해 최종 조사지점을 선정하였다.

- 교통량이 상대적으로 많은 도시부 신호교차로 중 비보호좌회전이 가능한 교차로
- 별도의 좌회전 전용차로가 있어 직진 교통량과의 간섭이 배제된 교차로
- 비보호좌회전 행태가 빈번하게 발생하여 충분한 자료 구축이 용이한 교차로

최종 조사지점을 선정하기 위해서, 교통량이 많고 비보호좌회전이 상대적으로 빈번하게 발생하고, 좌회전 차량의 대기행렬길이와 간격수락 행태, 그리고 직진차량의 교차로 접근행태조사 가능여부를 확인하였다.


Table 2. Data Observation Sites and Characteristics

Intersection	Characteristics			Data collection
	#of lane	Signal cycle length	# of lag	
Jangsung 2 Intersection	4	2m 40s	4	Not suitable
Jangsung Elementary School Intersection	4	2m 40s	4	Suitable
Naengchun Elementary School Intersection	4	1m 40s	4	Not suitable
Daewha Library Intersection	7	2m 40s	4	Suitable
Pungdong Kindergarten Intersection	4	1m 50s	4	Not suitable


일반적으로 운전자 행태는 통행목적 그리고 통행시간 등에 따라 상이하게 나타날 수 있다. 특히 비보호좌회전 간격수락 행태는 이와 같은 통행여건에 따라 다르게 발생할 수 있어, 본 연구에서는 오전과 저녁 첨두시(7:00~9:00, 18:00~20:00)과 오후시간대(12:00~14:00) 각 2시간씩 조사하고 이를 구분하여 자료를 구축하였다. Table 3은 최종 조사된 교차로의 교통량과 현황사진을 설명하고 있다.

Table 3. Traffic Volumes and Pictures of Study Sites

Time/Traffic flow		Volume (vph)	
		Jangsung Elementary School Intersection	Daewha Library Intersection
AM peak hour (7:00~9:00)	LT	68	180
	TH	1,116	248
Afternoon (12:00~14:00)	LT	92	192
	TH	580	408
PM peak hour (18:00~20:00)	LT	144	228
	TH	736	520
PPLT		Major → Minor	Minor → Major



<Jangsung Elementary School Intersection>



<Daewha Library Intersection>

### 3.1.2. 비보호좌회전 간격수락 행태 자료구축

기본적으로 촬영된 영상을 이용하여 실내에서 비보호 좌회전 간격수락 행태 분석을 위한 자료를 추출하고, 이를 토대로 DB를 구축하였다. 간격수락 행태에서 가장 중요한 요인인 상류부에서 교차로 내부로 접근하는 상충차량간의 차두간격은 직진차량들이 교차로 내부로 진입하기 직전에 정지선에서 조사되는 시간간격으로 정의하고 조사하였다. 모든 직진차량들의 시간간격들과 좌

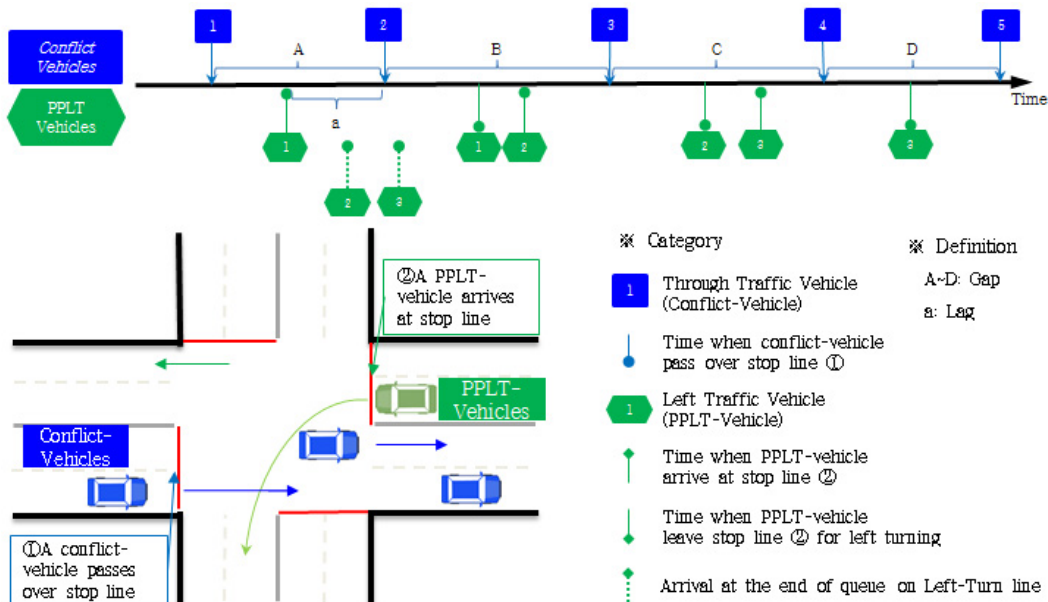


Fig. 2 Series Maneuvers of PPLT based on Time

회전차량들의 도착시간 및 대기시간, 그리고 좌회전 출발시간들을 기록하고, 모든 시간간격들에 비보호좌회전을 위해 수락 혹은 거절 여부를 기록하여 자료를 구축하였다. Fig. 2는 이러한 비보호좌회전의 행태조사과정을 보다 구체적으로 도식화하여 설명하고 있다.

Fig. 2는 비보호좌회전 차량들과 그에 상충되는 직진 차량들이 각각 정지선 도착 및 출발하는 행태를 연속된 시간의 흐름에 따라 도식화한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 상충차량들의 도착시간 차이는 차두간격으로 설명될 수 있고, 비보호좌회전 차량들의 도착시간과 출발시간을 통해 대기시간, 그리고 간격 수락과 거절의 의사결정 결과를 추출할 수 있다. 즉, 상충차량의 간격(Gap) 중간에 비보호좌회전 차량 1번이 정지선 ②에 도착하면, 간격(a)이 충분하지 않아 해당 간격을 이용하는 비보호좌회전은 거절하고 기다리게 된다. 한편, 상충차량 ②번과 ③번의 간격은 충분히 커서, 차량은 수락하여 좌회전을 위해 정지선을 출발하게 된다. 이때 비보호좌회전 차량 1번이 간격수락을 통해 좌회전 출발하기 전에 후미에 도착한 차량 2번은 1번 차량 뒤에서 대기하고 있다가, 충분히 간격이 큰 상충차량 ②번과 ③번의 간격(B)을 통해 1번 차량 출발 직후 좌회전 출발할 수 있게 된다. 한편, 좌회전차량이 도착한 후 대기한 시간 중에 도착한 상충차량간의 시간간격은 Lag로 구분하여 앞서 설명한 간격(Gap)과 구분하여 기록하였다. 이처럼 일련의 연속된 도착과 좌회전 출발 등의 행태를 촬영된 영상을 분석하여 판단하고 필요한 정보를 추출하여 분석을 위한 DB를 구축하였다.

### 3.2. 모형개발방법

#### 3.2.1. 간격수락 행태 모형개발방법

앞에서 제시한 연구방법들을 참고하여 본 연구에선 변수에 따른 운전자의 간격수락 여부의 확률분포를 구하기 위해 이항선택모형(Binary Choice Model)을 사용했다.

이항선택모형에서 중요한 것은 간격의 수락확률을 구하는 것인데 이는 현실적으로 그 효용을 알 수 없을 뿐만 아니라 수치적 표현도 불가능하기에 일정한 분포를 가정해야 한다. 일반적으로 정규분포를 가정하는 것이 이상적이나 다차원적분에 의해 계산되어야 하는 등 용이하지 않고 개발된 모형의 활용에도 많은 제약이 따른다. 이에 본 연구에서는 정규분포와 유사한 웨이블(Weibull)분포를 가정하고, 이를 가정해서 도출된 모델인 로짓모형을 분석방법으로 선정했다.

관측 불가능한 효용  $\epsilon_i$ 가 웨이블 분포를 따른다고 가정했을 때, 이항로짓모형은 다음의 Eq. (1)로 표현된다.

$$P(i) = \frac{\exp(V_i)}{\exp(V_i) + \exp(V_j)} \quad (1)$$

이에 간격수락에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단되는 차두간격 변수를 독립변수로 하여 로짓모형을 추정하였다. 또한 여러 변수들을 반영한 모형을 개발하기 위해 최우추정법을 활용하는 로지스틱 회귀분석을 통해 최종 모형을 개발했다.

#### 3.2.2. ROC 그래프에 의한 모형검증방법

ROC 그래프는 확률분포에 의해 집단을 분류하는 모형의 적절성을 쉽게 알아보는 방법이다. ROC 그래프는 모형에 의해 분류된 결과에서 산출 가능한 민감도<sup>1)</sup>와 특이도<sup>2)</sup>로 판단된다. 여기서, 민감도와 특이도는 FPR(False Positive Rate)과 TPR(Ture Positive Rate)로 나타낼 수 있는데 FPR은 x축으로 (1-특이도)의 값으로 표현되며, TPR은 y축으로 민감도 값으로 표현된다.

ROC 그래프에서는 곡선이 점 (0,1)에 가까워질수록 좋은 모형임을 나타낸다. Fig. 3에 ROC 그래프 곡선을 보면 M1곡선이 M2곡선보다 점(0,1)에 가까우므로 M1모형이 더 우수하다고 할 수 있다. 또한 그래프의 아래 면적의 넓이를 C-통계량이라 하는데 이 값을 통해 성능이 평균적으로 얼마나 좋은지 판단할 수 있다(박주원, 2009).

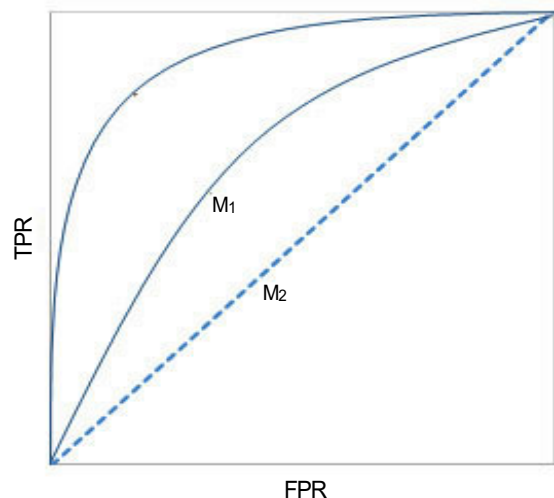


Fig. 3 An Example of the ROC Graph

- 1) 민감도 : 실제 '수락' 집단 데이터를 '수락' 집단으로 분류하는 비율
- 2) 특이도 : 실제 '거부' 집단 데이터 중 '거부' 집단으로 분류하는 비율

## 4. 연구수행결과

### 4.1. 비보호좌회전의 간격수락 행태 조사결과

Fig. 2에서 설명한 바와 같이 조사된 결과, 주방향의 상충교통류에서 총 808개의 차두간격이 관측되었고, 조사된 차두간격 중 수락된 간격은 185개이고 거절된 간격은 623개로서 수락된 간격의 비율은 22.9%이었다. 시간대별로는 아침과 저녁 첨두시간 동안 조사된 565건의 간격과 비첨두시간에 조사된 243건의 시간대별로 구분될 수 있다. 조사된 차두간격의 최대값은 16.53초이고 이에 대한 평균값은 3.65, 표준편차는 3.41초이었다. 또한 평균적으로 비보호좌회전을 하기 위해 기다리는 시간은 8.62초였고, 관측된 최대 대기시간은 36.87초로 관측되었다. 이와 같이 조사된 결과의 자료들은 Table 4와 Table 5에서 세부적으로 보여주고 있다.

Table 4. Summary of Observed Gaps

Classification		#	%
Acceptance	Accept	185	22.9
	Reject	623	77.1
Vehicle type (Conflicting flow)	Small	628	95.8
	Large	69	4.2
Vehicle type (Left turning flow)	Small	668	90.1
	Large	29	9.9
Gap/Lag	Gap	646	80
	Lag	162	20
# of lane	2 lane	336	41.6
	3 lane	472	58.4
Time	Peak hours	565	30.1
	Non-peak	243	69.9

Table 5. Statistical Descriptive Summary for Main Variables

Variable	Min.	Max.	Ave.	S.D
Gap	0.00	16.53	3.65	3.41
Waiting time	0.00	36.87	8.62	6.71
Volume	0.00	27	5.16	4.25

### 4.2. 비보호좌회전에서의 임계간격 산출결과

임계간격(Critical Gap)은 교차로에서 비보호좌회전을 시도하는 운전자들이 간격을 수락하는데 필요한 최소시간을 의미하는 것으로 운전자들의 간격수락 특성을 나타낼 수 있는 지표가 된다. 이러한 이유로 기존문헌 검토 부분에서 앞서 설명한 바와 같이, 많은 비보호좌회전 운전행태관련 연구들에서는 임계간격 추정에 대하여 연구되고 있다. 본 연구에서는 조사된 자료들을 이용하

여 모형식을 개발하기 전에 우선 다양한 방법으로 비보호좌회전에서의 임계간격을 산출하였다.

산출된 임계간격을 보면, 차로수가 3차로로 넓은 대화도서관 사거리에서의 임계간격이 차로수가 2차로인 장성초교사거리에서 보다 임계간격이 더 크게 산출되었다. 이는 운전자가 비보호좌회전을 결정할 때, 비보호좌회전을 해야 하는 거리가 차로수가 넓을수록 커지고, 이에 따라 더 큰 크기의 차두간격이 필요하기 때문인 것으로 판단된다.

Table 6. Critical Gaps Using Various Methods

Location/time		Wu	Raff	Troutbeck
Total		6.50	6.25	6.15
Location	DL intersection	6.97	6.75	6.53
	JSE intersection	6.14	6.20	5.93
Time	Morning peak	6.54	6.20	6.67
	PM Non-peak	6.11	6.00	6.21
	Evening peak	6.16	6.25	5.62

### 4.3. 비보호좌회전의 간격수락 행태 모형개발결과

본 연구에서는 3장 방법론에서 언급한 바와 같이 기본적인 로짓분포를 이용한 간격수락 모형과 로짓분포를 이용한 방법의 한계를 극복하기 위해 로지스틱 회귀모형을 개발하였다. 일반적으로 단순히 로짓분포를 이용하는 방법은 개별 독립변수와 종속변수와의 분포관계를 이용하여 필요한 수락간격을 추정하는 방법이나, 이는 단일 변수에 대한 분석만이 가능한 한계가 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 다변수에 의한 수락간격 모형을 도출하여, 차량간격 이외의 다른 주행 조건에 의한 간격수락행태를 설명하고자 하였다.

#### 4.3.1. 기본적인 로짓 분포를 이용한 간격수락 모형 개발

기본적인 로짓 분포를 이용한 간격수락 모형을 개발하기 위해 Fitzpatrick(1991)의 연구에서 사용된 방법을 통해 모형을 개발했다. 차두간격(Gap)에 따른 수락여부의 확률분포를 구하기 위해 독립변수에 차두간격 데이터를 입력하여 Table 7과 같이 정리하여 계산하였다. 이러한 로짓모형은 간격수락 결정에 가장 영향이 큰 것으로 판단되는 차두간격 한 개만을 독립변수로 사용하여 산출된 결과이다.

이러한 절차를 통해 계산을 통해 산출된 로짓모형은 Eq. (4)와 같다. 즉, 차두간격이 클수록 간격수락이 발생할 확률은 증가하게 된다.

Table 7. Data for Developing a Logit Method

Range	Middle value	Reject	Accept	Total	Pro.
2.0 - 2.5	2.25	66	1	67	0.01
2.5 - 3.0	3.25	52	1	53	0.02
3.0 - 3.5	3.75	35	4	39	0.10
3.5 - 4.0	4.25	25	5	30	0.17
4.0 - 4.5	4.75	11	5	16	0.31
4.5 - 5.0	5.25	11	4	15	0.27
5.0 - 5.5	5.75	7	8	15	0.53
5.5 - 6.0	6.25	7	15	22	0.68
6.0 - 6.5	6.75	4	15	19	0.79
6.5 - 7.0	7.75	3	6	9	0.67
7.0 - 7.5	8.75	1	8	9	0.89

$$\frac{P}{1-P} = e^{-5.9012 + 1.0001(Gap)} \quad (4)$$

산출된 모델을 토대로 선형 그래프를 그려보면 Fig. 4와 같이 나타나며, 운전자들의 수락간격 확률을 분석해보면 간격이 5.90초일 때 50%의 확률을, 7.60초일 때 85%의 확률로 수락할 가능성이 있는 것으로 분석됐다.

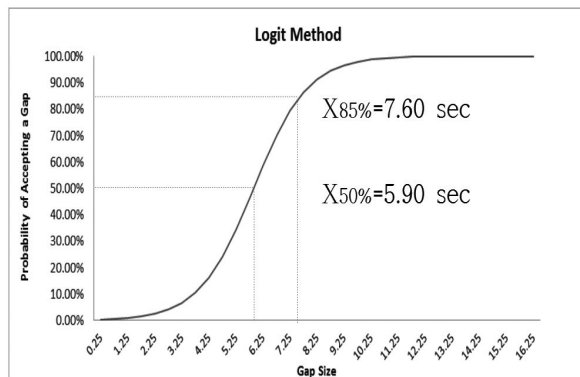


Fig. 4 A Cumulative Distribution Function for the Logit Method

#### 4.3.2. 로지스틱 회귀분석을 통한 간격수락 모형개발

기본적인 로짓 분포를 이용한 간격수락 모형은 로짓 분포의 기본관계를 고려하여 관계식을 산출하는 방법으로, 종속변수인 운전자의 수락여부에 따라 독립변수인 차두간격(Gap)변수만을 고려하여 확률분포 모델식을 제시하게 된다. 즉, 하나의 변수의 특성만을 반영하여 모형식을 도출하게 되는 한계를 갖고 있다. 이는 간격수락이 차두간격 이외에도 대기시간과 차량유형에 따라 결정될 수도 있는 현상을 설명할 수 없는 문제의 원인이 될 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 로지스틱 회귀분석 모형을 개발하였다. 로짓분석의 변수를 최우추정법을 통해 여러 독립변수가 종속변수에 미치는 영향을 분석할 수 있으며, 이때 로지스틱 회귀분석 방법을 통해 모델을 개발할 수 있게 된다. 본 연구에서는 SPSS통계분석 프로그램을 활용하여 로지스틱 회귀분석을 하였으며, 그 결과는 Table 8과 Eq. (5)와 같다. 모형개발을 위해 간격수락에 영향을 미칠 것으로 판단되는 차두간격, 대기시간, 교통량, 차종(상층 교통류와 좌회전 교통류), 주방향 차로수와 시간대(첨두시간과 비첨두시간)의 총 7개의 변수를 사용하여 검토하였다. 이와 같이 여러 가지 변수들을 검토한 결과 최종 차두간격과 비보호좌회전 차량유형이 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. Table 8은 차두간격과 비보호좌회전 차량유형을 독립변수로 사용한 개발모형을 설명하고 있다.

Table 8. Development of a Logistic Regression Model

	B	S.E.	Wals	p	Exp(B)
Gap	1.330	.118	126.834	.000	3.780
Vehicle type (Left turning flow)	-2.348	.949	6.122	.013	.096
Constant	-5.381	.968	30.918	.000	.005

-2log likelihood : 208.97

$$\frac{P}{1-P} = e^{-5.381 + 1.330(Gap) - 2.348(\text{좌회전차종})} \quad (5)$$

Eq. (5)에서 보는 바와 같이 차두간격이 클수록 작을 경우보다 해당 차두간격을 수락해 좌회전할 확률이 3.78만큼 높다는 것이다. 또한 좌회전차종은 대형 차량일수록 차두간격을 거절할 확률이 높다. 이는 출발손실시간과 가속시간이 일반 승용차에 비해 대형차량이 더 큰 특성이 반영된 결과로 판단된다. 일반적으로 모형의 설명도를 평가하는 지표는 2 로그 우도값이 있는데, 값이 낮을수록 적합도가 높다고 볼 수 있다(이학식, 2015). 본 조사에서는 분석결과 208.97으로 상대적으로 높은 설명력을 보이고 있다.

#### 4.4. 비보호좌회전의 간격수락 행태 모형 검증

본 연구에서는 개발된 비보호좌회전의 간격수락 행태 모형을 검증하고, 보편성을 확인하기 위해 다른 두 개의

교차로에서 추가조사를 수행하고, 해당 조사를 통해 도출된 자료들을 통해 개발된 모형을 검증하였다. 검증방법으로는 3장에서 설명한 ROC 그래프에 의한 모형검증방법을 사용하였다. 이 방법은 이항변수의 모형식인 로지스틱 회귀모형을 검증하기 위해 통계학에서 주로 많이 사용되는 방법으로, 지금까지 교통분야에서는 많이 사용되지 않았지만 성공과 실패, 혹은 감염여부확인 등의 의학 혹은 금융 등의 분야에서 주로 많이 사용되고 있는 방법이다(박선일, 2000).

모형검증을 위해 추가조사를 통해 수집된 데이터는 교차로 2개소, 총 696개의 차두간격이 조사되었다. 사후확률과 실제 조사된 간격수락 여부로 ROC 그래프를 그린 결과 Fig. 5의 곡선과 같이 나타났다. 그래프에서 곡선이 (FPR=0, TPR=1)에 가까울수록 정확히 분류한 이상적인 모델을 의미한다. Fig. 5의 곡선이 (FPR=0, TPR=1)에 가까우므로 이 모델의 성능은 우수하다고 할 수 있다. 이를 수치로 표현하여 통계적으로 유의한지를 평가하기 위해서 곡선 아래 영역의 넓이로 값을 의미하는 C-통계량 값을 사용한다. Fig. 5 그래프의 전체 영역 넓이는 1이므로 ROC그래프의 하단부 면적이 전체면적인 1에 가까울수록 모델이 우수하다고 할 수 있다. 본 검증의 분석결과 Table 9에 제시되어 있듯이 C-통계량 값이 0.947로 1에 가깝게 도출되어 본 연구에서 개발된 모형의 적합도가 통계적으로 유의한 수준으로 높음을 알 수 있다.

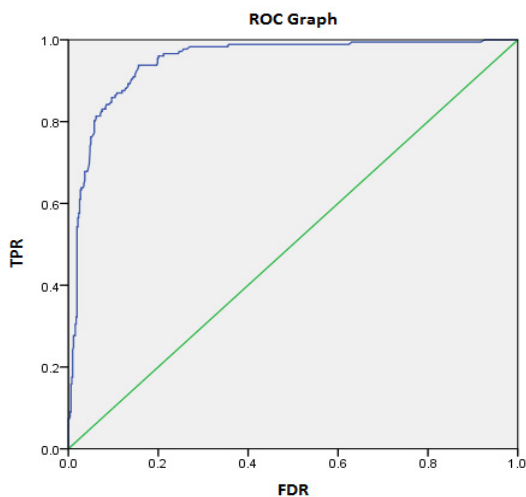


Fig. 5 ROC Graph

Table 9. Analysis of ROC Graph

C-Statistic	S.D	P	95% Confidence interval	
			minimum	maximum
.947	.009	.000	.929	.966

## 5. 결론

비보호좌회전은 교차로에서 좌회전하는 차량에 대해 별도의 전용신호현시 없이 직진 신호 시에 상충교통류의 차두간격(Gap)을 이용하여 좌회전하는 방식이다. 이러한 비보호좌회전에서는 운전자들이 상충되는 직진 차량 간의 간격을 이용하여 좌회전을 하게 되는데, 이와 같은 운전자의 간격수락 행태를 분석함은 매우 중요한 부분이다. 하지만 우리나라에서는 전반적으로 이와 같은 비보호좌회전에서의 간격수락 행태를 연구한 기존 연구가 많지 않으며, 이 또한 임계간격을 산출하는 부분에 집중되어 있어 간격수락을 하는 확률모형을 개발함에 있어서는 국내외의 연구사례가 아직은 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 현장조사를 통해 비보호좌회전 행태를 조사하고, 이를 통해 도출된 자료들을 기반으로 비보호좌회전에서의 간격수락행태 모형을 개발하였다.

본 연구에서는 모형개발을 위해 간격수락에 영향을 미칠 것으로 판단되는 차두간격, 대기시간, 교통량, 차종(상충 교통류와 좌회전 교통류), 주방향 차로수와 시간대(첨두시간과 비첨두시간)의 총 7개의 변수를 사용하여 검토하였다. 여러 가지 변수들을 검토한 결과, 최종 차두간격과 비보호좌회전하는 차량의 유형이 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 모형개발결과 차두간격(Gap)이 높을수록 해당 차두간격을 수락해 좌회전할 확률이 높고, 좌회전차종이 대형 차량일 경우 승용차에 비하여 간격을 거절하여 좌회전을 시도하지 않을 확률이 높음을 확인하였다. 이와 같은 차종에 의한 영향은 출발손실시간과 가속시간이 일반 승용차에 비해 대형차량이 더 큰 특성이 반영된 결과로 판단된다.

본 연구에서는 간격수락 의사결정에 영향을 줄 것이라 예상했던 대기시간이나 교통량 등의 변수 등이 분석결과에서 영향이 미흡한 것으로 나타났다. 이는 향후 연구를 통해 보다 많은 현장조사결과를 통해 검토해야 할 것으로 보인다. 또한 간격수락행태는 개별사람의 특성에 따라 다르게 나타날 수 있는 현상으로 연령, 성별 등 운전자들의 개별 특성 등의 변수 등을 반영하지 못한 점 등은 본 연구의 한계 및 향후 연구를 발전시키는데 중점을 뒤야 할 부분으로 사료된다. 간격수락에 대한 연구는 운전자의 안전교육 분야나, 신호교차로에서 비보호좌회전 도입을 고려하는 문제 등에서 활용도가 높을 것으로 판단되므로 이와 관련된 분야에서 지속적으로 관련 연구가 수행되어야 할 것이다.



## ACKNOWLEDGEMENT

This research was promoted as part of 'Technology Development for Behavior Improvement and Violation Control of High Risk Drivers', which was carried out by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport in Korea.

## REFERENCES

- A. L. P. Vasconcelos, (2013), COMPARISON OF PROCEDURES TO ESTIMATE CRITICAL HEADWAYS AT ROUNDABOUTS, *Traffic&Transportation*, Vol. 25, pp.43-53.
- Ashworth, R., (1969). The capacity of priority-type intersections with a non-uniform distribution of critical acceptance gaps. *Transportation Research* 3, 273-278.
- Fitzpartic, Kay, (1991), "Gaps Accepted at Stop-controlled intersection", *Transportation Research Record* 1303, pp.103-112.
- Han H. W., (2009), A Study on Critical Gap Acceptance of Permitted Left-turn According to the existence of Left-turn Bay, *Journal of Korean Society of Transportation*.
- 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.
- Ismail Zohdy, (2010), Empirical Analysis of Effects of Wait Time and Rain Intensity on Driver Left-Turn Gap Acceptance Behavior, *Journal of the Transportation Research Board*, No. 2173, pp.1-10.
- Jang, E. L., (2003), Modeling and Analysis of Driver's Gap Acceptance Behavior, Seoul National University.
- Jang J. A.. (2008), A Gap-acceptance Model Considering Driver's Propensity at Uncontrolled Intersection, *Journal of Korean Society of Transportation* Vol.26.
- Lee H. S. and Lim J. H., (2015), SPSS 22 Manual, JypHyunJae.
- Lee J. J., (2011), Data Mining, Free Academy.
- 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.
- Park J. W., (2009), Bayesian ROC curve estimation with a normal mixture distribution, Hanyang University.
- Park S. I., (2000), Receiver Operating Characteristic, *Journal of Korean Veterinary Medical Association*, vol.36, pp.121~134.
- Raff, M.S., Hart, J.W., (1950), A volume warrant to urban stop signs. Eno Foundation for Highway Traffic Control, Saugatuck, Conn.
- Rene Lord-Attivor and Manoj K. Jha, (2012), Modeling gap acceptance and driver behavior at stop controlled (priority) intersections in developing countries, *World Scientific and Engineering Academy and Society*, vol.6, pp.29-38.
- Troutbeck, R. J., (1989), Evaluating the Performance of a Roundabout. Australian Road Research SR 45, Australian Road Research Board.
- Werner Brilon, (1999), Useful Estimation procedure for critical gaps, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 33, pp.161-186.
- Wu, N., (2012), Equilibrium of Probabilities for Estimating Distribution Function of Critical Gaps at Unsignalized Intersections, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Volume 2286, No. 1, pp. 49-55.