Int. J. Highw. Eng. Vol. 19 No. 4 : 61-68 AUGUST 2017
https://doi.org/10.7855/IJHE.2017.19.4.061

우천시 비보호좌회전에서의 간격수락 행태모형 개발

Development of Gap Acceptance Models for Permitted Left Turn Intersections during Rainfall

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

ABSTRACT

PURPOSES : A complete signal system is not always the best solution for improving traffic operation efficiency at intersections. An alternative solution is to use a Protected Permitted Left Turn (PPLT) operation method. However, the PPLT method needs to be developed after a detailed study of driving tendencies, most notably the gap acceptance behavior, for successful implementation. In this study, the gap acceptance behavior was investigated under various variables and weather conditions, especially under rain, and the results were compared to the case of normal weather. The results of this study will be helpful in introducing the PPLT method, and are important considering the tendency of attempting unprotected left turns that is extremely common in Korean drivers.

METHODS : Data was obtained by analyzing traffic footage at four intersections on a day when the precipitation was greater than 5 mm/h. The collected data was classified into seven variables for statistical analysis. Finally, we used logistic regression analysis to develop a probability distribution model.

RESULTS : Gap, traffic volume, and the number of conflicting lanes were factors affecting the gap acceptance behavior of unprotected left turns under rainy conditions.

CONCLUSIONS : The probability of attempting unprotected left turns is higher for larger gaps. On the other hand, the probability of attempting unprotected left turns decreases with an increase in the traffic volume. Finally, an increase in the number of conflict lanes leads to a decrease in the probability of attempting unprotected left turns.

Keywords
Rainfall, Logistic regression model, Gap acceptance, Permitted left turn, Critical gap

Corresponding Author : Chungwon Lee, Associate Professor
Department of Civil&Environmental Engineering, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, 08826, Korea
Tel : +82.2.880.7368 Fax : +82.2.873.2684
E-mail : chungwon@snu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Mar. 21. 2017 Revised Jul. 03. 2017 Accepted Jul. 10. 2017

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 내용

점차 사람들의 생활영역이 도시로 확산되어감에 따라 도시 내에서 발생하는 다양한 문제를 해결하는 것이 현대사회의 주요 화두가 되고 있다. 그 중에서 도시민들의 생활영역과 직접적으로 연결되는 도로상에서의 교통흐름 문제는 중요하게 다뤄져야 할 문제로 대두되고 있다. 이를 위한 해결방안 중 하나로 효율적인 신호운영 체계

정립을 고려해 볼 수 있는데, 신호운영을 효율적으로 운영하기 위한 방안 중 하나로 제시되는 것이 비보호겸용좌회전(PPLT, Protected Permitted Left Turn)이다.

비보호겸용좌회전은 좌회전 교통류에 대하여 비보호좌회전과 보호좌회전 기회를 모두 제공하는 신호운영방법으로 좌회전 차량은 직진 현시(비보호좌회전)와 좌회전 현시 모든 상황에서 좌회전 진입이 허용되는 것을 의미한다. 비보호겸용좌회전 도입을 통해 보호 좌회전 현시 길이를 줄이는 만큼 교통량이 많은 다른 교통류에 현시를 더 부여함으로써 보다 효율적인 신호운영을 할 수 있다.

이와 같은 비보호겸용좌회전을 도입할 때 고려해야 하는 요소로 비보호좌회전 하려는 차량이 상충하는 반대편 직진 차량을 피해 좌회전을 할 수 있는 여건이 주어질 수 있는지를 판단할 수 있어야 한다. 여건이 주어지는 상황은 반대편 직진 차량 간 간격에 의해 형성되므로 적정한 교통량 수준에 대한 분석이 필요한데, 반대편 직진 교통량이 많은 곳은 비보호좌회전을 시도할 만큼 충분한 차간간격이 형성되지 못할 가능성이 높으므로 비보호좌회전이 허용되어서는 안 되기 때문이다. 또한 상충하는 반대편 차간간격에 따라 좌회전 차량이 진입을 시도해야 하는 상황에서 주어진 간격을 수용하여 진입을 할 것인지, 아니면 거절하여 대기할지를 결정하는 운전자의 간격수락행태가 분석되어야 하며, 이를 분석하여 운전자 행태를 예측할 수 있는 모형을 개발하는 것이 본 연구의 목적이다.

간격수락과 관련하여 기본적인 간격의 크기에 따른 수락행태 뿐만 아니라 다양한 매개 변수의 영향을 정량화하기 위한 시도는 기존 연구에서도 이루어진 바 있다. 하지만 대부분의 연구에서는 날씨의 영향은 고려하지 않고 운전자 간격수락행태를 조사·분석하였다. 본 연구에서는 다양한 매개 변수에 의해 영향을 받는 간격수락행태가 특별히 우천인 경우에 맑은 날씨일 때와 비교하여 나타나는 영향력이 어떤 차이를 보이는지에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구 결과를 통해 우리나라 운전자들의 비보호좌회전 행태를 분석함으로써, 비보호겸용좌회전 도입과 같은 정책을 도입함에 있어 도움이 될 수 있을 것이라 생각한다.

1.2. 연구 수행과정

본 연구는 이청원(2016)의 연구를 심화발전시킨 것으로 기존 연구와 기존 국내외 논문을 참고하여 연구수행방법을 정립하였다. 방법론을 정립한 후 현장조사를 통해 자료를 수집하였고, 수집한 자료를 바탕으로 확률분포모형을 개발하였다. 개발된 모형을 이청원(2016)의 연구와 비교하여 각각의 특성을 비교·분석하였으며, 최종적으로 모형 검증을 통해 적정성을 입증하였다.

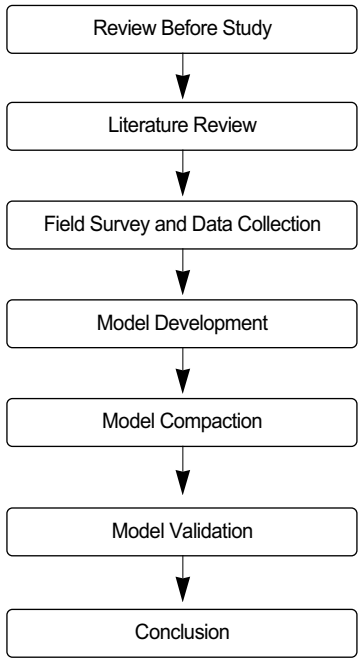


Fig. 1 A Study Flow Chart

2. 국내외 기존 연구사례

2.1. 국내 연구사례

우리나라에서 선행된 연구 사례들은 간격수락 행태 모형 개발 보다는 임계간격을 산출하는데 초점을 둔 연구들이 주로 선행되었다. 김경환(1986)은 양방향 4차로 도로와 양방향 2차로 도로에서 비보호좌회전 임계간격을 프로빗 모형을 활용하여 분석하였는데, 연구 결과 2차로일 때 2.6초, 4차로일 때 3.2초가 산출되었다. 고동석(2000)은 다른 형태의 4지 비신호 교차로에서의 이동류별 임계간격을 산출하였다. 임계간격은 최우추정법을 이용하였고, 교차로 유형별 비교 분석을 위해 이원배치 분산분석을 이용하였다. 한현웅(2009)은 Raff방법에 기반한 좌회전 Bay 유무에 따른 비보호좌회전 임계간격 기준을 연구하였다.

한편 여러 변수를 활용하여 간격수락행태 모형을 개발한 사례로는 장정아(2008)의 연구가 있었다. 장정아는 대기시간, 교통류 형태, 성별, 동승자유무 등의 다양한 독립변수를 구축하여 로짓모델을 기반으로 한 간격수락 모형을 개발하였다. 그 결과 대기시간, 나이, 성

별, 동승자 유무 등이 간격수락에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

이청원(2016)은 비보호좌회전으로 운영되는 교차로 중 분석 가능 여부 등을 고려하여 4곳의 교차로를 선정하여 첨두시간대(출퇴근 시간대)와 비첨두시간대(정오 시간대)에 현장촬영을 통해 취득한 영상자료를 분석하여 총 8개의 변수 데이터를 수집하였다. 자료수집은 양호한 날씨에서 수행되어 간격수락 행태에서 날씨의 영향은 배제하여 연구되었다. 수집된 데이터를 SPSS통계 프로그램을 이용하여 로지스틱 회귀분석을 통해 확률분포모형을 개발하였으며, 개발 결과 차두간격과 좌회전 차종이 간격수락에 영향을 미치는 설명변수로 반영된 모형을 최종 결과로 제시하였다.

이 외에 날씨를 고려한 간격수락 연구사례는 아직 없는 것으로 조사되었다.

2.2. 국외 연구사례

본 연구에서는 국외의 다양한 연구사례 중 특정 교통특성에 초점을 두고 운전자의 간격수락행태를 분석한 사례들을 참고하였다. Tongos,N.G.(1969)는 주간 및 야간 효과를 비교하여 간격수락확률을 연구하였다. 연구 결과 교통량이 증가함에 따라 운전자들이 주간보다는 야간 시간대에 더 긴 차두간격에서 진입할 확률이 높아짐을 밝혀냈다. Sinha,K.C.(1971)는 차량의 속도, 반대편 교통류의 존재 등 간격수락에 영향을 미치는 특성을 분석하여 반대 차량 속도에 초점을 두고 간격수락확률을 연구하였다. Yan,X.(2008)는 제한된 시력 문제가 좌회전 능력에 미치는 부정적인 영향을 정량화하기 위한 이론 모델을 개발하였으며, 이를 위해 운전자 시야 거리에 따른 비보호좌회전 차량의 간격수락확률을 연구하였다. Hamed,M.M.(1997)는 교차로에서의 진행 방향, 여행 목적, 예상 대기 시간 등이 운전자의 간격수락 패턴에 영향을 미친다는 결과를 도출하였다. 또한 전체적인 상충차로의 평균 교통 흐름, 접근 차로의 수, 주요 도로의 속도 및 시간 등에 의해서도 간격수락 행태가 영향을 받는다는 점을 도출해냈다.

앞선 연구들 이외에 본 연구목적의 주요 특성인 날씨와 관련된 사례로 Ismail Zohdy의 연구가 있다. Ismail Zohdy(2010)는 교차로에서 비보호좌회전이 가능한 지점을 선정하여 2개월간 조사를 통해 수집된 데이터로 로지스틱 회귀모형을 개발하였다. 이 연구에서 Ismail Zhody는 간격수락에 미치는 변수로 비보호좌회전 차량의 대기시간과 강우 강도를 고려한 모형을 별도로 개발하였다. 연구결과 대기시간이 증가함에 따라 수용 가능한 간격이 감소하며, 비 강도가 증가함에 따라 간격이 증가함을 제시하였다. Ismail Zohdy(2011)는 앞선 연구를 더 발전시켜 6개월간 수집한 데이터를 강수량(시간당 0.25mm 이상일 때)과 도로 표면 조건에 따라 6가지의 조합으로 나누어 각 조건의 특성에 따른 간격수락행태를 비교분석하였다. 그 결과 운전자는 눈보다 비가 내릴 때 보다 안정적인 주행을 하며, 눈이 많이 내리고 얼음이 많은 노면 조건보다 젖은 노면 조건에서 더 큰 간격이 필요함을 제시했다.

Zohdy의 연구는 악천후 시의 간격수락 행태 모형과 관련하여 많은 연구결과를 제공하고 있으나, 수락간격이 짧고, 급감·가속이 많은 국내 운전자 행태를 반영한 연구는 없어 국내 운전자 행태를 적정 조사하여 간격수락 행태 모형 개발이 필요함을 확인하였다.

3. 모형 개발을 위한 자료조사 방법

3.1. 현장조사방법

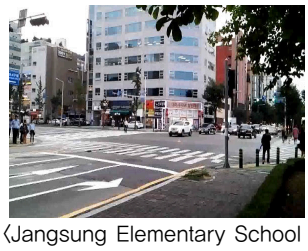
현장조사는 양호한 날씨와 우천시의 간격수락 행태 비교를 위해 선행 연구와 동일한 4개 지점을 선정하여 수행하였다. 현장조사는 교차로를 통과하는 차량들의 주행특성이 파악될 수 있는 지점에 카메라를 설치하여 촬영을 하는 방식으로 이루어졌다. 조사시간은 첨두시간대와 날이 어두워지는 상황을 고려하여 10월 중 저녁 퇴근 시간(18:00~19:30)으로 정하였다. 이는 비오는 저녁에 운전자 행태가 주행환경이 악화되어 다르게 나타날 것이라는 가정에 의한 결과이다. 또한 우천의 기준을 Ismail Zohdy(2011)의 연구를 참고하여 시간당 5mm 이상의 강수량을 기록하는 상황으로 보고 조사시간 3시간 전부터 지속적으로 비가 내리는 경우에 한하여 조사하였다.

Table 1은 현장조사를 통해 수집된 조사지점의 교통 및 신호운영 특성을 설명하고 있다. Table 1에서 보는 바와 같이 대화도서관 사거리와 삼성당 삼거리는 양방향 6차로 이상의 교차로이며, 장성초교 사거리와 풍성빌딩앞 사거리는 양방향 4차로의 교차로로 조사지점간 교차로 크기의 차이가 있으며, 이에 따라 교차로를 통과하는 교통량도 차이가 있음을 알 수 있다.

Table 1. Traffic and Signal Operation Conditions of Study Sites

Time/Traffic flow		Volume (vph)			
		Daewha Library intersection	Jangsung Elementary School intersection	Samsungdang intersection	Pungseong Building intersection
Traffic volume	LT	200	72	72	100
	TH	744	152	668	436
Total # of lane		7	4	7	4
Signal cycle length		2m 40s	2m 40s	2m 10s	1m 40s
# of lag		4	4	3	4
Amount of precipitation		more than 5mm per hour			
PPLT		Major → Minor	Minor → Major	Major → Minor	Minor → Minor

〈Daewha Library intersection〉


〈Jangsung Elementary School intersection〉

〈Jangsung Elementary School intersection〉

〈Pungseong Building intersection〉

3.2. DB구축 방법

현장조사를 통해 수집한 영상자료를 분석하여 비보호좌회전 행태와 관련된 변수를 정리하였다. 영상 분석을 통해 정리한 변수는 총 7가지로 간격수락여부, 차간간격, 대기시간, 상충교통량, 좌회전차종, 상충차종, 상충차로수 이다. 각각의 변수 특징은 다음과 같다.

- 간격수락여부 : 개별 차량에게 주어진 상충교통류의 차간간격을 거절과 수락으로 구분
- 상충교통량(대) : 비보호좌회전 차량이 좌회전 진입 시에 상충되는 반대 방향의 직진교통량
- 차간간격(초) : 비보호좌회전 개별차량에 대한 상충교통류의 차간간격
- 대기시간(초) : 비보호좌회전 차량이 교차로에 도착 후 좌회전 출발까지의 시간
- 차종 : 소형(9인승 이하 차량)과 대형(12인승 이상의 승합, 버스, 화물 차량)으로 구분

3.3. DB구축 결과

정의된 변수를 바탕으로 모형 개발을 위한 자료를 구축하였다. 모형분석을 위한 자료는 총 780개가 수집되었으며, Table 2는 구축된 변수들 중 이항변수의 특성을 분류하여 제시한 표이며, Table 3은 연속변수의 특성을 분류한 표이다. 이들 표에서 보는 바와 같이 비가 오는 경우와 비가 오지 않는 상황에서 간격수락 여부와 대기시간의 차이를 확인할 수 있었다.

Table 2. Summary of Observed Gaps

Classification		Rain		Non-rain	
		#	%	#	%
Acceptance	Accept	354	23.8	201	25.8
	Reject	1,133	76.2	579	74.2
Vehicle type (Conflicting flow)	Small	1,335	89.8	695	89.1
	Large	152	10.2	85	10.9
Vehicle type (Left turning flow)	Small	1,147	77.1	711	91.2
	Large	340	22.9	69	8.8
# of lane	2 lane	553	37.2	162	20.8
	3 lane	934	62.8	618	79.2

Table 3. Statistical Descriptive Summary for Main Variables

Variable	Rain				Non-rain			
	Min.	Max.	Ave.	S.D	Min.	Max.	Ave.	S.D
Gap	0.0	15.0	4.1	3.8	0.0	15.9	3.8	3.4
Waiting time	0.0	83.7	19.8	16.7	0.0	90.0	12.3	13.0
Volume	0	36	8.4	8.8	0	33	5.6	5.7

4. 모형개발 방법

4.1. 임계간격 산출 방법

간격수락의 임계간격을 산출하는 방법으로 Raff방법과 Wu방법이 있다. Raff는 전체 간격수락/간격거절 데이터를 활용하여 각각의 데이터에 대한 누적분포함수를 그래프로 표현하였을 때 나타나는 두 곡선의 교차점을 임계간격으로 정의하였다.

한편, Wu는 간격수락과 간격거절의 평형 확률을 기반으로 산출하는 방법을 제안하였다. Wu의 방법에서는 기존 임계간격 산출방법에서 필요로 하는 사전 정의된 임계간격의 분포나 운전자의 일관성 혹은 동질성에 대한 가정을 필요로 하지 않고, 임계간격의 누적 밀도 함수를 활용하여 바로 산출하기 때문에 계산방법이 쉽다는 장점이 있다.

4.2. 로지스틱 회귀분석 산출 방법

운전자의 간격수락행태는 '수락' 이나 '거절' 두 가지 형태로만 나타나는 이항변수이므로, 본 연구에서는 이항자료의 일반적인 모형인 로지스틱 회귀분석을 활용한 모형을 개발하였다.

로지스틱 회귀분석은 확률효용이론에 기초한 확률선택모델로서 정규분포를 가지면서도 계산이 간단한 웨이불(Weibull)분포를 가정하여 개발된다. 또한 로지스틱 회귀분석에서는 관찰된 표본이 나타낼 수 있는 가능성이 최대한도로 높은 모수값을 찾아내는 방법인 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation)을 일반적으로 사용하게 된다. 로지스틱 회귀분석은 이항변수 Y에 대해 다양한 설명변수 X의 값이 x일 때의 '성공' 확률을 구하는 것으로, 이 확률의 로짓(logit)에 대해 다음의 식을 가정한다.

$$\pi(x) = \frac{\exp(\alpha + \beta x)}{1 + \exp(\alpha + \beta x)} \quad (1)$$

4.3. 모형검증 방법

본 연구에서는 로지스틱 회귀분석으로 개발한 모형을 검증하는 방법으로 ROC곡선을 활용하였다. ROC곡선(Receiver Operating Characteristic)은 개발한 모형을 통해 분류되는 값의 기준이 되는 경계값 π_0의 모든 가능한 값에 대한 '민감도(TPR)'를 '1-특이도(FDR)'의 함수로 나타낸 그래프이다(Alan Agresti, 2009). 이 때 '민감도'는 실제 수락 사건을 수락으로 분류하는 비율이며, '특이도'는 실제 거부 사건을 거부로 분류하는 비율이다.

ROC곡선을 이용한 모형검증은 그래프에서 나타나는 ROC곡선의 형태와 그 아래 면적 넓이를 통해 가늠할 수 있다. 개발된 모형을 통해 나타나는 예측값의 민감도가 높을수록 더 나은 예측검정력을 가지며, 예측검정력이 더 좋을수록 ROC곡선은 좌표(0,0)과 (1,1)을 연결하는 곡선의 윗부분이 좌표(0,1)에 가까워지는 오목한 형태를 띄게 된다. 예를 들면, 아래 Fig. 2와 같이 M3곡선이 M2곡선보다 좌표(0,1)에 가까운 형태를 띠고 있는데, 이를 통해 M3가 M2보다 예측검정력이 더 우수한 것으로 판단할 수 있다.

또한 ROC곡선 아래의 면적 넓이를 통해 모형의 예측검정력을 수치화할 수도 있다. ROC곡선 아래의 면적을 C-통계량(Concordance index, C-Statistic)이라 하며, 예측 값과 결과 값이 일치할 확률을 추정한 값으로 그 값이 1에 가까울수록 모형의 높은 예측검정력을 나타낸다.

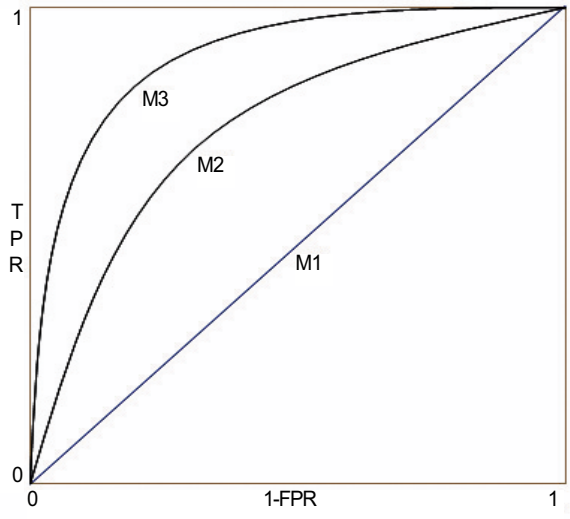


Fig. 2 A Example of the ROC Curve

5. 연구결과

5.1. 변수간 상관관계 분석

조사된 data를 바탕으로 모형개발을 하기 전 변수 간 상관관계를 분석하였다. 분석결과는 Table 4와 같으며, 이는 변수간의 유의성 관계를 분석함으로써 개발되는 모형에 어떤 변수들이 반영되어야 하는지를 우선 판단해 볼 수 있다.

상관관계 분석 결과 운전자의 간격수락과 관계가 있는 변수로 차간간격, 교통량, 상충차로수가 있으며, 이들 변수 모두 유의수준이 0.000으로 신뢰수준 95% 안에서 유의한 것으로 판명되었다. 차간간격의 경우 간격

Table 4. Correlation Analysis

Variable	1	2	3	4	5	6	7
1. Acceptance	1						
2. Gap	.823**	1					
	.000						
3. Waiting time	.045	.066	1				
	.207	.065					
4. Volume	-.358**	-.345**	.637**	1			
	.000	.000	.000				
5. Vehicle type (Conflicting flow)	-.039	-.079*	.053	.106**	1		
	.276	.027	.137	.003			
6. Vehicle type (Left turning flow)	-.046	-.035	.055	.032	.021	1	
	.198	.332	.123	.365	.550		
7. # of lane	-.327**	-.294**	.369**	.381**	.048	.128**	1
	.000	.000	.000	.000	.179	.000	-

수락과 양의 관계를 가지는 것으로 판명된 것으로 보아 차간간격이 커질수록 이를 수락할 확률이 높을 것으로 보이며, 교통량과 상충차로수는 간격수락과 음의 관계를 가지는 것으로 판명되었으므로 교통량과 상충차로수가 적을수록 간격을 수락할 확률이 높을 것으로 판단할 수 있다.

5.2. 임계간격 산출 및 비교

운전자들이 교차로에서 비보호좌회전을 통해 진입을 시도하는 과정에서 가장 영향을 주는 요소는 상충하는 직진 차량들의 차간간격이다. 임계간격은 상충교통류에서 교차로 진입차량의 차간간격 중 좌회전 운전자가 좌회전을 위하여 간격수락·거부 여부를 결정할 수 있는 기준 값의 대표치이다. 이러한 임계간격은 다양한 계산방법을 통해 산출될 수 있는데, 본 연구에서는 Raff(1950)와 Ning Wu(2012)의 방법을 통해 Table 5와 같이 임계간격을 산출하였다.

산출 결과를 보면 우천시의 비보호좌회전 임계간격은 5초 전후로 나타나는 것으로 보아 우천시에는 운전자들이 5초 이상의 여유 시간이 생길 때 비보호좌회전을 시도한다고 볼 수 있다. 또한 상충차로수가 3차로일 때보다 2차로일 때가 임계간격이 작은 것으로 보아 상충차로수가 간격수락에 영향을 미칠 수 있다고 볼 수 있을 것이다. 마지막으로 맑은 날씨에서의 임계간격과 비교해보면 우천시가 약 0.4초 이상 차이가 나는 것으로 보아 운전자들은 우천시일 때 더 여유 있는 간격에서 수락하고 있음을 확인할 수 있었다.

Table 5. Critical Gaps Using Various Methods

Categories		Wu		Raff	
		Rain	Non-rain	Rain	Non-rain
Total		5.11	4.70	4.90	4.45
Location	DL intersection	5.81	5.16	5.30	5.00
	JSE intersection	4.60	4.67	4.65	4.45
	Samsungdang intersection	5.64	5.08	5.20	4.55
	PB intersection	5.39	4.55	5.00	4.20
# of lanes	2 lanes	5.13	4.61	4.80	4.30
	3 lanes	5.72	5.12	5.25	4.70

5.3. 모형 개발

이 과정을 통해 구분된 자료를 사용하여 우천시 비보호좌회전의 간격수락행태를 예측할 수 있는 확률분포모형을 개발하였다. 수집된 전체 780개의 자료는 우선 랜덤추출을 통해 모형 개발에 사용할 자료 673개(86%)와 개발한 모형을 검증할 자료 107개(14%)로 나누었다.

Table 6. Data Classification Result for Model Development and Model Verification

Categories	# of Data for development	# of Data for verification	# of Total
Accept	179	22	201
Reject	494	85	579
Total	673	107	780

로지스틱 회귀분석 모형은 Limdep 프로그램 version 5.0을 이용하여 개발하였고, 모형 개발 결과는 Table 7에서 보는 바와 같다.

$$\frac{P}{1-P} = e^{-1.553+0.986(X_1)-0.272(X_2)-1.510(X_3)} \quad (2)$$

$X_1 : Gap$
$X_2 : Volume$
$X_3 : Number of lane$

Table 7. Model Development Results in Rain Conditions

Variable	B	S.E,	P	Exp(B)
X_1	0.986	0.092	.000	2.680
X_2	-0.272	0.082	.001	0.762
X_3	-1.510	0.397	.000	0.221
Constant	-1.553	0.964	.107	0.212
-2log likelihood : 209.107				

Table 7과 Eq. (2)의 모형개발 결과, 검토된 변수들 중에서 차간간격, 간격수락까지의 교통량, 그리고 상충차로수가 우천시의 비보호좌회전을 위한 간격수락에 유의한 영향을 미치는 변수로 확인되었다. 차간간격의 경우에는 상충교통류 차간간격이 커질수록 운전자가 비보호좌회전을 시도할 확률이 2.68배 높아짐을 알 수 있었다. 또한 상충교통량이 많아질수록 비보호좌회전 할 확률이 0.76배 낮아지게 된다. 상충차로수의 경우에는 차로수가 많아질수록 비보호좌회전 할 확률이 0.22배 낮아지는 것을 알 수 있었다. 우천시의 해당 변수들의 영향 분석 결과들은 보다 효율적인 비보호좌회전 교차로 설치 및 운영을 위해 활용될 수 있을 것으로 보인다.

이와 같이 개발된 우천시 비보호좌회전 간격수락 행태 모형과 비교하여 날씨 조건이 간격수락 행태에 미치는 영향이 어떻게 차이나는지 비교·분석하고자 이청원(2016)의 연구에서 개발된 맑은 날씨에서의 비보호좌회전 간격수락 행태 모형과 비교해 보았다. Eq. (3)과 Table 8은 이청원(2016)의 연구에서 개발된 모형 결과이다.

$$\frac{P}{1-P} = e^{-5.381+1.330(X_1)-2.348(X_4)} \quad (3)$$

X_1 : Gap
X_4 : $Left\ Turning\ Vehicle\ Type$

Table 8. Model Development Results in Non-Rain Conditions

Variable	B	S.E,	Wals	P	Exp(B)
X_1	1.330	.118	126.834	.000	3.780
X_4	-2.348	.949	6.122	.013	.096
Constant	-5.381	.968	30.918	.000	.005
-2log likelihood : 208.97					

맑은 날씨일 때 비보호좌회전 간격수락 행태에 영향을 미친 변수는 Table 8에서와 같이 차간간격과 좌회전 차종이었으며, 우천시 비보호좌회전 간격수락 행태에 영향을 미친 변수는 Table 7에서와 같이 차간간격과 교통량, 상충차로수이다. 두 날씨 조건에서 모두 영향을 미친 변수로는 차간간격으로 회귀계수(B)를 비교했을 때, 맑은 날씨일 때가 우천시일 때보다 차간간격의 영향이 더 크다는 것을 알 수 있다. 또한 맑은 날씨일 때보다 우천시일 때 유의미한 변수가 더 많다는 점에서 우천시의 운전자들의 행태 특성이 보다 일정한 형태를 보인다고 할 수 있다.

5.4. 모형 검증

우천시에 운전자들의 비보호좌회전 간격수락행태를 분석하여 확률분포모형으로 개발한 결과가 적정한지 검증하기 위해 앞서 설명했던 ROC 곡선을 이용하여 검증하였다. 사전에 모형검증을 위해 따로 분류해 놓은 107개의 데이터(간격수락 22개, 간격거절 85개)에 개발한 모형식을 대입하여 산출된 개별 확률을 0.5의 기준 값을 바탕으로 이상이면 수락, 미만이면 거절로 분류하였다. 이렇게 분류된 개별 데이터의 확률분류결과와 실제 수락·거절 여부를 비교한 결과를 바탕으로 Fig. 3과 같은 ROC 곡선이 도출되었으며, 세부 결과는 Table 9와 같다.

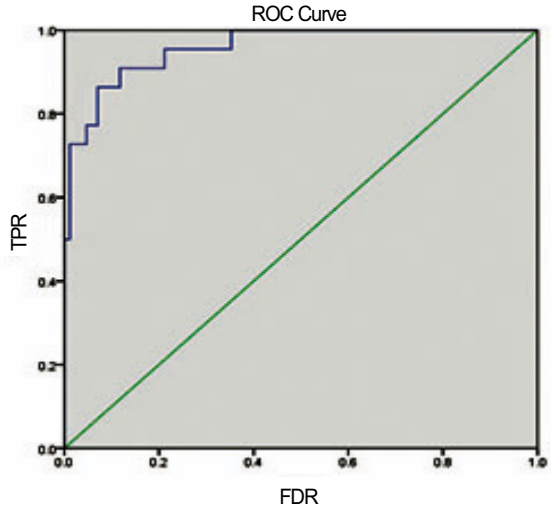


Fig. 3 ROC Curve for Verification of Model in Rain Condition

Table 9. Analysis of ROC Curve

C-Statistic	S.D	P	95% Confidence interval	
			Minimum	Maximum
.958	.020	.000	.918	.998

Table 9를 보면 C-Statistic값이 0.958로 매우 높은 값을 나타냈다. C-Statistic은 모형의 적합성이 평균적으로 얼마나 좋은지 설명하는 지표로, 값이 0.7 이상인 경우에 모형은 설명도가 높음을 확인케 한다. 이를 통해 개발된 우천시 비보호좌회전 간격수락 행태모형은 높은 적정성을 보인다고 판단할 수 있다.

6. 결론

일반적으로 우천시에는 운전자 시야 확보 정도, 정지거리 등이 달라 운전자 행태가 다르게 나타난다. 대향차량의 차간간격을 이용하여 좌회전하게 되는 비보호좌

회전의 경우에는 이러한 우천시 영향이 더욱더 크게 나타난다. 본 연구에서 우천시의 비보호좌회전의 간격수락 행태 모형을 개발한 결과 기존 연구(이청원 외, 2016)에서 차간간격과 상충 차종이 맑은 날씨의 비보호좌회전 간격수락 행태 모형 개발에서 유의한 변수로 선정된 것과 달리 차간간격, 간격수락까지의 상충교통량, 그리고 상충차로수가 비보호좌회전 행태를 결정짓는 변수로 분석되었다.

본 연구를 통해 우천시 비보호좌회전 임계간격이 맑은 날씨일 때보다 크다는 것을 증명하였으며, 운전자의 간격수락행태에 있어서도 우천시에 좀 더 신중한 경향을 보인다는 것을 증명하였다. 이를 통해 우리나라 운전자들의 비보호좌회전에서의 간격수락행태의 특성을 분석했다는 점에서 의의가 있을 것으로 사료되며, 교육용 시뮬레이터를 개발하기 위한 알고리즘을 구현하거나, 비보호좌회전 상황에 대한 운전자 안전 교육 등에서 참고할 수 있는 지표로 활용될 수 있을 것이라 기대한다.

하지만 비보호좌회전에서의 운전자들의 행태 특성을 보다 면밀히 분석하기 위해서는 오랜 기간에 걸쳐 데이터를 수집하여 계절 등의 추가적인 변수 영향과 보다 정확한 분석결과가 필요한 것으로 보인다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was partially supported by a grant (code: 16TLRP-B085437-03) from Transportation & Logistics Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government. And this research was partially supported by Institute of Construction and Environmental Engineering at Seoul National University. The authors wish to express their gratitude for the support.

REFERENCES

Alan Agresti, 2009, An Introduction to Categorical Data Analysis, Free Academy.

A. L. P. Vasconcelos, 2013, COMPARISON OF PROCEDURES TO ESTIMATE CRITICAL HEADWAYS AT ROUNDA BOUTS, Traffic&Transportation, Vol. 25, pp.43-53.

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.

Ismail Zohdy, 2011, Impact of Inclement Weather on Left-Turn Gap Acceptance Behavior of Drivers, Journal of the Transportation Research Board, No. 22257, pp.51-61.

Jang J. A.. 2008, A Gap-acceptance Model Considering Driver 's Propensity at Uncontrolled Intersection, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.26.

Kim K. H., 1986, Gap-Acceptance Behavior Model of Left-Turn Drivers, Journal of the Transportation Research Society of Korea, Vol.4, No.2, pp.3-14.

Ko D. S., 2000, Base Critical Gaps and Follow-Up Times by Traffic Movements for Four-Legged Unsignalized Intersections in Suburban of Seoul, Korea, Journal of Korea Transportation Research Society, Vol.18, No.6, pp.19-32.

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.

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.

Sinha, K. C., and W. W. Tomiak. 1971, Gap Acceptance Phenomenon at Stop-Controlled Intersections. Traffic Engineering and Control, Vol.41, No.7, 1971, pp.28-33.

Troutbeck, R. J., 1989, Evaluating the Performance of a Roundabout. Australian Road Research SR 45, Australian Road Research Board.

Tsongos, N. G., 1969, Comparison of Day and Night Gap-Acceptance Probabilities. Public Roads, Vol.35, No.7, pp. 157-165.

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.

Yan, X., and E. Radwan., 2008, Influence of Restricted Sight Distances on Permitted Left-Turn Operation at Signalized Intersections. ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol.134.