

# 비보호 좌회전 보조를 목적으로 하는 차선 변경 보조 시스템에서의 임계간격 적용

## An Application of Driver's Critical Gap on a Changing Lane Assistance System for an Unprotected Left-turn

정황훈<sup>1\*</sup> · 신희영<sup>1</sup> · 서명국<sup>1</sup>

Hwang Hun Jeong, Hee Young Shin and Myoung Kook Seo

Received: 20 Jul. 2022, Revised: 19 Aug. 2022, Accepted: 23 Aug. 2022

**Key Words** : Driver's Critical Gap (임계간격), Compensation (보상), Genetic Algorithm (유전 알고리즘)

**Abstract:** The C-ITS (Cooperative-intelligent Transport System) is a driver assistance system that prevents car accidents and enhances traffic conditions, via sharing traffic information between vehicles and roadway infrastructures. A CLAS (changing lane assistance system) for unprotected left-turn, is a C-ITS that assists a driver with safely changing lanes. This system addresses a driver's critical gap, that enables the system to express a driver's uncertainty. A driver's critical gap is a time that can be used in a threshold, to change a lane or not. Unfortunately, a driver's critical gap is difficult to use in a CLAS directly. This paper addresses a driver's critical gap, and how it can be applied in a CLAS for an unprotected left-turn.

### 1. 서 론

C-ITS는 주행 중인 차량이 V2X(Vehicle to Everything)통신을 기반으로 도로 인프라나 다른 차량과의 교통 정보 및 서비스를 상호 교환, 공유함으로써 위험 상황에 대한 사전 대응 및 예방, 회피를 지원하는 지능형 교통 체계이다. 국내를 비롯한 여러 선진국들은 교통 분야의 최우선 과제로 안전문제를 꼽고 있으며, 이를 해결하기 위한 방안으로 C-ITS 관련 연구를 진행하고 있다. 비보호 좌회전을 목적으로 하는 CLAS는 신호등이 없는 교차로나 로터리에서 도로 진입이나 탈출을 수행하는 차량의 운전자가 이동 경로가 겹치는 차량 또는 물체와의 충돌을 회피할 수 있도록 차선 변경의 판단을 지원하는 시스템

이다. 비보호 좌회전의 경우 좌회전 차량의 충돌 판별은 상대 차선 차량과 운전 차량의 예상 경로로부터 예측, 판별할 수 있으나, 각 차량에는 운전자라는 불확실성이 존재하기 때문에 차선 변경 보조 시스템에서는 충돌알고리즘을 단독으로 사용하기보다는 임계간격을 판단기준에 포함하여 운전자에 의해 발생하는 돌발적인 상황에 대응할 필요가 있다.

임계간격은 운전자가 차선을 변경하고자 할 때, 상대 차량과의 충돌을 회피하기 위해 차선을 변경의 수락 또는 거절을 판단하는 기준시간으로, 다양한 도로 상태에 따라 통계적으로 구한 값이다. 임계간격은 측정 할 때와 적용 할 때의 조건이 일치하지 않기 때문에 차선 변경 보조 시스템에 직접적으로 적용하기 힘들며, 도로의 교통 상태에 따라 구해진 통계적인 값이기 때문에 운전자 차량의 이동속도가 평균보다 느리거나, 도로의 교통 상태에 비해 상대 차량의 속도가 빠를 경우 교통사고의 확률이 높아지는 문제점이 존재한다.

본 연구에서는 정규화된 임계간격의 타당성을 Raff의 추정 기법을 통해 확인하고, 특정 차량의 속도에 따른 임계간격의 문제점을 정규화된 임계간격을 통

\* Corresponding author: hwanghun@koceti.re.kr

1 Smart Engineering Lab, Korea Construction Equipment Technology Institute, Gunsan, 54004, Korea

Copyright © 2022, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

해 대응한다. 또한 본 연구에서는 CLAS의 상용화가 이루어지지 않아 임계간격을 계산하기 위한 데이터가 없는 상황에서 임계간격 계산 방법으로써 Troutbeck의 추정 기법 선택의 타당성을 확인하고, 유전알고리즘을 활용하여 최적해를 찾아내는 방법을 제안하고자 한다. 마지막으로 좌회전 수락 또는 거부의 판단기준을 시간 형태에서 거리 형태로 표시하여 제안하는 방법이 차선 변경 보조 시스템에 적합한 형태임을 확인한다.

## 2. 임계간격

### 2.1 임계간격의 계산방법

임계간격은 무통제(Uncontrolled) 교차로, 비신호(Unsignalized) 교차로 및 비보호(Unprotected) 교차로에서 차선 변경을 판단하기 위한 운전자의 수락간격을 나타낸다.<sup>1)</sup> 임계간격은 측정하고자 하는 도로에서 차선 변경을 수행하는 각 운전자의 수락 간격과 거부 간격을 구하고, 각 간격의 누적분포함수로부터 임계간격을 추정한다. 대표적인 임계간격 추정 기법에는 Raff의 추정 기법, Ashworth의 추정 기법, Siegloch의 추정기법, Troutbeck의 추정기법이 있다.

Raff의 추정 기법은 데이터를 통해 차선 변경이 거부된 간격의 누적분포함수와 수락된 누적분포함수 사이의 교차점을 임계간격으로 가정한다.<sup>2)</sup>

Miller의 추정 기법은 임계간격  $t_c$ 를 Raff의 추정 기법을 기반으로 식 (1)과 같이 구할 수 있다.<sup>3,4)</sup>

$$t_c = \mu - \frac{1}{2}q\sigma^2 \quad (1)$$

여기서,  $\mu$ 는 수락간격의 평균,  $q$ 는 주도로 교통량(대/초),  $\sigma$ 는 수락간격의 표준편차이다.

Ashworth의 추정 기법은 Raff의 추정 기법과 유사한 방법으로 임계간격  $t_c$ 는 식 (2)와 같이 구할 수 있다.<sup>5)</sup>

$$t_c = m_a - qs_a^2 \quad (2)$$

여기서,  $m_a$ 는 수락간격의 평균,  $q$ 는 주도로 교통량(대/초),  $s_a$ 는 수락간격의 표준편차이다.

Siegloch의 추정기법은 주도로의 차량 간격에 따른 부도로 차량 통과수를 측정하여 차량 통과에 소요된 평균시간을 구하고, 이를 선형 피팅(curve fitting)

을 통해 임계간격을 예측하는 방법으로 식(3)과 같이 구할 수 있다.<sup>1)</sup>

$$t_c = t_0 + \frac{1}{2}t_f \quad (3)$$

여기서, 주도로 차량 사이의 각 간격  $t$ 에 따른 부도로 차량 통과 대수  $n$ 을 측정할 때, 각 차량 통과 대수에 소요된 평균 시간 간격  $t_a$ 에 관한 선형식을 구하고, 이 선형식에 대하여  $y$ 절편을 기초임계간격  $t_0$ 으로, 기울기를 추종시간  $t_f$ 으로 정의한다.

Troutbeck의 추정 기법은 임계 간격에 대한 확률이 각 운전자의 수락 간격 확률과 거부 간격 확률 사이에 존재한다고 가정하고, 수락 간격 및 거부 간격 사이의 관계로부터 임계 간격을 계산하는 방법이다.<sup>6,7)</sup>

본 연구의 경우 임계간격이 적용되는 CLAS의 시험 적용 및 이를 통한 상용화를 목적으로 하고 있기 때문에 임계간격을 계산하기 위한 데이터를 가지고 있지 않다. 따라서 본 연구에 적용하고자 하는 임계간격 추정기법은 계산에 필요한 데이터가 적으면서도 쉽게 활용 가능한 방법을 사용하고자 한다.

Raff, Miller, Ashworth에 의한 추정기법은 측정 시간 내 차선 변경을 수행한 차량의 모든 거부 간격 및 수락 간격 데이터를 필요로 하며, Siegloch에 의한 추정 기법은 측정 시간 내 모든 차량 데이터가 필요하다. 하지만, Troutbeck의 추정 기법은 차선 변경에 따른 수락 간격 및 상대 차량의 마지막 거부 간격만을 측정 데이터로 사용하기 때문에 임계간격의 실시간 측정에 적합하다. 이에 본 연구에서는 기준 속도에 따른 거부 간격의 정규화 효과 검증 및 Troutbeck 추정 기법의 임계 간격 계산 결과 확인을 목적으로 Raff의 추정기법을 사용하고, 차량의 거부 간격 및 수락 간격으로부터 임계 간격 추정하기 위해 Troutbeck에 의한 추정기법을 사용하고자 한다.

### 2.2 비보호 좌회전을 위한 CLAS

Fig. 1은 적용하고자 하는 비보호 좌회전을 위한 CLAS를 나타낸 그림이다. 교통 상태 모니터링을 위한 3대의 CCTV, 차량 거리 측정을 위한 2대의 레이더, 경고 표시를 위한 1대의 로고젝터와 1대의 LED 전광판, 전체 시스템 구동을 위한 제어반으로 구성되어 있다.



Fig. 1 A CLAS for unprotected turn-left

### 2.3 임계간격의 보정 및 활용

임계간격은 측정하고자 하는 도로를 이용하는 운전자가 차선 변경을 수행하는 수락 간격과 거부 간격을 확률적으로 계산한 시간이기 때문에 도로를 이용하는 운전자의 성향과 차량의 성능, 도로의 교통 상황에 큰 영향을 받는 값이다.<sup>8)</sup> 특히 CLAS에 임계간격을 직접적으로 적용할 경우 다음과 같은 문제점이 발생한다.

- 같은 임계간격이라도 적용 도로의 교통 상태에 따라 다른 의미를 가진다.
- 평균 이하의 속도로 비보호 좌회전을 수행하거나, 평균 이상의 속도로 상대 차량이 이동할 경우 충돌 사고의 위험이 높아진다.
- 임계간격은 시간으로 차량의 좌회전 판별을 위한 기준으로 직접적으로 사용하기 불편하다.

첫 번째 문제점은 하나의 데이터에 맵핑되는 값이 2가지 이상이기 때문에 발생하는 것으로 선형적인 프로그래밍이 불가능해진다. 이를 해결하기 위한 방법에는 첫째, 주어진 데이터를 변환하여 1대1의 의미를 가질 수 있도록 변경하거나 둘째, 주어진 데이터에 새로운 상태를 추가하여 1대1의 의미를 가질 수 있도록 변경하는 것이다. 즉, 임계간격이 상대차량의 속도에 따라 변동되는 것에 착안하여 상대차량의 속도와 기준 속도 사이의 관계로부터 거부 간격을 정규화하고, 이를 바탕으로 임계간격을 산출하는 것이다. 또한, 측정 시간을 새로운 상태로 활용함으로써 도로를 사용하는 운전자의 특성을 임계간격에 반영할 수 있도록 한다.

두 번째 문제점은 차량의 속도 분포에 있어 평균과 큰 차이를 가지는 데이터에 대하여 일률적인 판단기준을 적용함에 따라 발생하는 것으로 좌회전 차량의 수락/거부 판별을 위한 시간을 상대차량의 속도에 따라 보정함으로써 문제점을 해결할 수 있다.

세 번째 문제점은 차선 변경 판단의 주체가 운전자에서 CLAS 프로그램으로 변경됨에 따라 판단 프

로세스를 운영하기 위한 물리량 변경에 의해 발생하는 것으로 시간을 거리의 형태로 나타내는 것으로 문제점을 해결할 수 있다.<sup>9)</sup> 즉, 상대차량의 위치가 임계간격에 상대차량의 속도를 곱하여 나타낸 거리보다 가까우면 좌회전 거부, 멀면 좌회전 승낙으로 판단하게 된다면 프로그램 구현이나 결과를 시각적으로 표현하기 쉬워진다.

## 3. 실험을 통한 임계간격 추정

### 3.1 실험 위치

Fig. 2는 임계간격을 측정하기 위해 실험한 장소로 2022년 04월 12일 10:30부터 11:30까지 1회, 동일 16:30부터 18:10까지 1회 측정하였다. 측정 방법은 해당 시간동안 동영상을 촬영하고, 이 동영상을 바탕으로 비보호 좌회전하는 차량에 대한 수락, 거부 간격을 계산하였다. 상대 차량의 속력은 미리 계측된 거리를 진입하여 통과하는 시점까지의 시간으로 측정하였다.

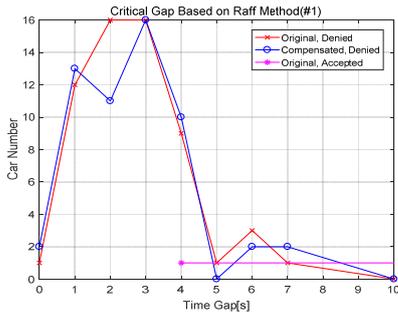


Fig. 2 A test site for driver's critical gap

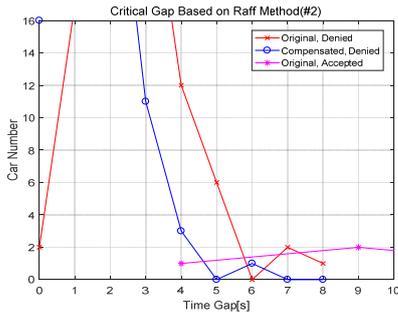
### 3.2 기준 속도에 따른 정규화 영향

비보호 좌회전에 사용되는 임계간격은 상대차량의 속도와 거리에 따라 변동되는 수락/거부 판별 기준 시간이다. 즉, 교통이 혼잡할 경우 상대 차량의 평균 속도가 줄어들어 임계간격은 늘어나고, 교통이 원활할 경우 상대 차량의 평균속도가 늘어나 임계간격은 줄어들게 된다. 비보호 좌회전 차량이 원하는 위치로 이동하는 소요되는 거리는 일정하기 때문에 좌회전 차량의 성능, 운전자의 운전 성향, 날씨 및 도로의 교통 상태에 따라 임계간격은 변동되며, 비보호 좌회전의 거부 데이터를 상대 차량의 속도로 정규화하면 도로의 교통 상태에 영향을 받지 않는 임계간격을 얻을 수 있다.

본 연구에서는 거부 간격을 정규화하기 위한 기준 속도를 30km/h로 선정하였다. 이는 교통이 혼잡한 경우와 원활한 경우의 중간 값으로 계산의 편의를 위해 선정한 값이다.



(a) 2022.04.12. 10:30-11:30



(b) 2022.04.12. 16:30-18:10

Fig. 3 A cumulative distribution function of rejected and accepted gap

Fig. 3은 거부 간격과 수락 간격에 대한 누적분포 함수를 나타낸 것으로 Raff의 추정 기법으로부터 임계간격을 계산하기 위해 작성한 그래프이다. Fig. 3에서 오전의 경우 거부간격이 오른쪽으로 조금 이동하였으며, 오후의 경우 거부간격이 왼쪽으로 이동하였다. Raff의 추정 기법에 따른 임계간격은 오전의 경우 5s~7s에서 4.8s~8.5s로 지연(lag)되었으며, 오후의 경우 5.7s~7.3s에서 4.5s~6s로 단축(lead)되었다.

### 3.3 Troutbeck 추정 기법에 의한 임계간격 보정

Troutbeck의 추정기법은 Maximum Likelihood Method에 따라 확률 데이터로부터 평균과 분산이 일치하는 정규분포를 찾아 식(4)와 같이 모든 운전자의 임계 간격에 대한 로그함수를 최대로 하는 평균  $\mu$ 와 분산  $\sigma^2$ 을 구하여 추정한다. 즉, 식(5)와 같은 평가함수  $L$ 의 값이 최대가 되는 값을 찾는 것이며, 이는 식(6)의 조건을 만족한다.

$$t_c = e^{\mu + 0.5\sigma^2} \quad (4)$$

$$L = \sum_{i=1}^n \ln(F(a_i) - F(r_i)) \quad (5)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \mu} = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial \sigma^2} = 0 \quad (6)$$

식(5)에서 정규분포 누적분포함수  $F(x)$ 는 식(7)과 같으며, 이 때 식(8)의 관계를 만족한다.

$$F(x) = \int f(x)dx = \frac{1}{2} \left( 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{x - \mu}{\sqrt{2}\sigma} \right) \right) \quad (7)$$

$$F(\infty) = 1 \quad (8)$$

여기서,  $\operatorname{erf}(z)$ 는 가우스 오차함수(Gauss error function,  $\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt$ )이다.

식(7)에서 정규분포 확률밀도함수  $f(x)$ 는 식(9)와 같으며, 이 때 식(10)의 관계를 만족한다.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

$$f(\infty) = 0 \quad (10)$$

식(6)의 관계로부터 Troutbeck의 추정 기법은 미지수인  $\mu$ 와  $\sigma$ 에 대하여 다음의 평가함수를 최소로 하는 값을 구해야하는 문제로 나타낼 수 있다.

$$J_1 = \sum_{d=1}^n \frac{f_r(r_d) - f_a(a_d)}{F_a(a_d) - F_r(r_d)} \quad (11)$$

$$J_2 = \sum_{d=1}^n \frac{(r_d - \mu)f_r(r_d) - (a_d - \mu)f_a(a_d)}{F_a(a_d) - F_r(r_d)} \quad (12)$$

$$J = J_1 + J_2 \quad (13)$$

여기서,  $a_d$ 는  $d$ 번째 운전자에 의한 수락간격에 대한 로그값이며,  $r_d$ 는  $d$ 번째 운전자에 의한 가장 마지막의 거부간격에 대한 로그값이다.  $d$ 번째 운전자에 의한 수락간격이 0이면,  $a_d$ 는  $\infty$ 이며,  $d$ 번째 운전자에 의한 가장 마지막의 거부간격이 0이면,  $r_d$ 는 0이다.

유전 알고리즘은 평가함수를 최적으로 하는 염색체를 재생산, 교배, 돌연변이와 같은 유전 연산자와 스케일 윈도, 엘리티즘, 벌점과 같은 전략을 활용하여 구하는 진화 알고리즘이다.<sup>10,11)</sup> 본 연구에서 활용하는 실수코드 유전알고리즘은 미지수인  $\mu$ 와  $\sigma$ 를 변수로 하는 염색체를 선정하였으며, 평가함수는 식(13)을 활용하였다.

Table.1은 오전 및 오후의 수락 간격과 거부 간격, 보상된 거부 간격에 대한 로그 값을 정리한 표로 유전알고리즘에 의해 선정된 염색체의 평가함수 계산을 통해 오차를 계산하기 위해 필요한 값이다.

유전알고리즘을 위한 파라미터는 최대 세대수 500 세대, 개체수 100개이며, 유전 연산자(Gradient like selection( $\eta=1.7$ ), Modified simple crossover(교배 확률 0.9), Dynamic mutation(돌연변이 확률 0.1))를 사용하였다. 정확도 향상을 위해 scale window, elitism 전략 사용하였다.

Table 1 A log value for rejected and accepted gap that calculate Troutbeck method

(a) 2022.04.12. 10:30-11:30

No.	$a$	$r$	$r_{com}$	$a_d$	$r_d$	$r_{dcom}$
1	25	3	2.74	1.39794	0.477121	0.437751
2	0	0		inf	0	0
3	4	2	2.74	0.60206	0.30103	0.437751
4	79	11	7.17	1.897627	1.041393	0.855519
5	70	3	3.42	1.845098	0.477121	0.534026
6	15	1	0.91	1.176091	0	-0.04001

(b) 2022.04.12. 16:30-18:10

No.	$a$	$r$	$r_{com}$	$a_d$	$r_d$	$r_{dcom}$
1	38	3	2.88	1.579784	0.477121	0.459392
2	31	4	3.84	1.491362	0.60206	0.584331
3	94	2	1.54	1.973128	0.30103	0.187521
4	9	3	2.88	0.954243	0.477121	0.459392
5	0	0	0	inf	0	0
6	16	3	2.3	1.20412	0.477121	0.361728
7	0	0	0	inf	0	0
8	40	1	0.77	1.60206	0	-0.11351
9	0	0	0	inf	0	0
10	0	0	0	inf	0	0
11	4	1	0.77	0.60206	0	-0.11351
12	80	4	2.56	1.90309	0.60206	0.40824
13	0	0	0	inf	0	0
14	129	3	1.92	2.11059	0.477121	0.283301
15	14	4	1.92	1.146128	0.60206	0.283301

Table 2 RCGA's results of driver's critical gap

구분	GA 결과		임계간격 (s)	
	$\mu$	$\sigma$		
오전	원본	3.8397	2.8225	$2.4974 \times 10^3$
	보정	1.2463	1.1076	6.4216
오후	원본	2.3597	1.3491	26.3051
	보정	0.6384	1.3665	4.8169

Table.2는 유전 알고리즘을 활용하여 구한 미지수  $\mu$ ,  $\sigma$ 와 식(4)를 이용하여 구한 임계간격을 정리한 표이다. Fig. 3으로부터 보정된 데이터를 바탕으로 Raff의 추정 기법에 의해 구한 임계간격은 오전의 경우 4.8s~8.5s, 오후의 경우 4.5s~6s의 값을 가진다. 보정된 데이터를 사용한 Troutbeck 추정 기법의 경우 Raff의 추정 기법에 의해 구한 값과 일치하고 있다.(오전의 경우 6.4s, 오후의 경우 4.8s) 원본 데이터를 바탕으로 추정된 결과 값이 보정된 데이터에 의한 값과 큰 차이가 없음에도 임계간격에서 현격한 차이를 보이는 이유는 미지수  $\mu$ ,  $\sigma$ 가 개별 운전자에 대한 임계간격의 로그값에 대한 평균과 분산을 의미하기 때문이다.

### 3.4 임계간격의 CLAS 적용

30km/h를 기준으로 보정된 임계간격은 RCGA를 활용한 Troutbeck의 추정기법에 의해 시간의 형태로 계산되어진다. 하지만 비보호 좌회전을 수행하는 운전자나 이를 보조하기 위한 프로그램 내에서 좌회전 수락/거부를 판단하기 위한 기준은 시간보다는 거리의 형태가 보다 적절하며, 식(14)와 같은 방법에 의해 임계간격  $t_c$ 를 임계거리  $d_c$ 로 변환한다.

$$d_c = \gamma v_{op} t_c \tag{14}$$

여기서,  $v_{op}$ 는 상대차량의 속도(km/h),  $\gamma$ 는 안전율이다. 안전율  $\gamma$ 가 고려된 이유는 기존의 임계간격 추정기법은 좌회전 차량의 이동 특성은 고려하지 않기 때문이다. 만약 좌회전 차량이 차량이나 운전자의 상태 이상으로 인하여 평균 이동 속도에 비해 느리게 움직이게 될 경우 차량 사고를 유발할 수 있다. 따라서 안전율  $\gamma$ 를 도입함으로써 사고 예방을 위한 보수적인 접근이 가능하다.

## 4. 결론

이전의 연구자들은 교통 체증이나 교통 사고와 같은 문제를 해결하기 위해 내비게이션을 통한 운전자 정보 일방향 전달 또는 차량 센서를 활용한 능동적인 사고 회피 기능에 대하여 연구하였다. 하지만, 센서 인식 범위 제한이나 영상 처리 오류 등의 문제점으로 인하여 도로 인프라와의 상호 정보 교환이 가능한 C-ITS에 대한 수요가 발생하였다. 비보호 좌회전에 사용되는 CLAS는 C-ITS의 일부분으로

운전자의 좌회전 판단을 보조하여 이동 경로가 겹치는 차량 또는 물체와의 충돌을 회피할 수 있도록 지원하는 시스템이다. CLAS에서 차량의 비보호 차선 변경 판단의 기준을 제시하는 것이 임계간격이나, CLAS에 직접 적용하기 위해 몇가지 문제점이 발생하였다.

본 연구에서는 기준 속도에 따라 거부 간격을 보정하는 것이 측정 당시의 교통 상황을 반영할 수 있음을 Raff 추정 기법을 통해 확인하였으며, 측정 시간이라는 상태를 임계간격에 추가함으로써 주어진 데이터가 1대1 맵핑이 될 수 있도록 변환하였다. CLAS 적용 조건에 따라 임계간격을 추정하기 위한 기법을 Troutbeck으로 선정하였으며, Troutbeck 추정 기법에서 임계간격 계산을 위한 최적 문제를 전역 탐색 기법인 유전 알고리즘을 통해 해결하였으며, 임계간격을 상대 차량 속도에 따른 임계거리로 환산함으로써 CLAS에 보다 쉽게 적용 가능한 방안을 제안하였다.

## 후 기

이 논문은 행정안전부의 2021년도 국민수요 맞춤형 생활안전 연구개발사업의 지원을 받아 제작되었습니다.(20015357)

## 이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

## References

- 1) You Lim Jang, et al. "A Review of Gap Acceptance Theory", Proceedings of the KOR-KST Conference 42, pp. 1-6, 2002.
- 2) Morton S. Raff. and Jack W. Hart, "A Volume

- Warrant For Urban Stop Signs", the Eno Foundation for Highway Traffic Control, pp. 24-39, 1950.
- 3) Alan J. Miller, "Nine Estimators of Gap Acceptance Parameters", Transportation and Traffic Theory 5<sup>th</sup> International Symposium, p215-235, 1971
- 4) Chung Won Lee, et al. "Development of Gap Acceptance Models for Permitted Left Turn Intersections", Int. J. Highw. Eng., Vol. 18, No. 5, pp. 95-103, 2016.
- 5) Robert Ashworth. "A Note on the Selection of Gap Acceptance Criteria for Traffic Simulation Studies", Transportation Research, Vol.2, pp. 171-175, 1968.
- 6) Zongzhong Tian, et al. "Implementing the maximum likelihood methodology to measure a driver's critical gap", Transportation Research Part A 33, pp. 187-197, 1999.
- 7) Ning Wu, "Estimating Distribution Function of Critical Gaps at Unsignalized Intersections Based on Equilibrium of Probabilities", Transportation Research Record, No. 2286, pp. 1-26, 2012.
- 8) Do Hyung Oh and Tae Youn Jang, "Aggressive Driving Behavior in the Protected/Permissive Left Turn(PPLT) Intersections", J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst., Vol. 16, No. 3, pp. 28-38, 2017.
- 9) Sulki Lee, et al. "Intersection Sight Distance Based on Critical Gap at Unsignalized Intersections", Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 21, No. 5, pp. 97-110, 2003.
- 10) Hwang Hun Jeong, et al. "An Application of the Genetic Algorithm for the Input Shaper on the High Order System", Journal of Drive and Control, Vol.17, No.2, pp.1-8, 2020.
- 11) Hwang Hun Jeong, et al. "A Study of a Hydraulic Excavator's Test to Verify of Payload Estimation by Bucket's Motion Equation", Journal of Drive and Control, Vol.19, No.2, pp.11-16, 2022.