

# 충돌시간 기반 하이브리드 경고 측정 시뮬레이터 설계 고찰

양가희, 김영은, 장하람, 김준영\*

성신여자대학교

20200520@sungshin.ac.kr, 220246037@sungshin.ac.kr, 220256120@sungshin.ac.kr,  
\*jkim@sungshin.ac.kr

## A Study of Simulator Design for Evaluating Hybrid Warning Strategies Using Time-to-Collision

Ga Hee Yang, Young Eun Kim, Ha Ram Jang, Joon Young Kim\*

Sungshin Women's University

### 요약

본 논문은 두 차량의 충돌 예측 시간에 제동 경로별(운전자/AEB) 지연을 반영하여 유효 여유시간을 구하고, 이를 FCW/AEB의 유효 임계값과 비교하여 제동 트리거 신호를 보낸 뒤, 실효 감속 시작이 더 이른 경로로 제동합으로써 최종 충돌 여부를 판단하는 시뮬레이터를 설계하였다. 특히 본 시뮬레이터의 어플리케이션 계층은 모듈형으로 분리되며, Plug-in 형태로 향후 선택적으로 모듈을 사용 및 교체할 수 있는 최소한의 틀을 제공한다. 이에 따라 향후 변수 확장성 및 다양한 주행 시나리오에의 적용 가능성을 제안한다.

### I. 서론

차량의 후면 추돌 사고는 도로에서 가장 빈번히 일어나는 사고 중 하나로 꼽히며[1], 후면 추돌 위험 대비의 필요성이 대두됨에 따라 첨단 운전자 지원시스템(ADAS: Advanced Driver Assistance System) 분야의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 전방충돌경보(FCW: Forward Collision Warning)와 충돌 위험 감지 시 스스로 속도를 줄이는 자동 긴급 제동(AEB: Autonomous Emergency Braking) 시스템은 ADAS의 대표적인 기술로써 ‘노면 상태를 고려한 AEB 시스템의 V2V, V2P 안전성 평가를 위한 충돌 특성 연구[2]’, ‘FCW의 교통안전 증진 효과 추정[3]’ 등 현재 다수의 연구가 존재한다. 또한 제동 시 주로 단일 AEB 시스템은 다루어지고 있으나, 운전자 제동 경로와 AEB 경로를 병행한 하이브리드 제동 정책의 연구는 아직 미비한 추세이다.

이에 따라 본 연구는 충돌 예방 보조 기술인 FCW와 AEB를 중심으로 하이브리드 제동 정책을 사용해 충돌 시간 기반 하이브리드 경고 측정 시뮬레이터를 설계하였다. 시뮬레이터의 기본 주행 시나리오는 NHTSA[4] 와 Euro NCAP[1]의 표준 실험 조건을 기반으로 가정하여 실험하였다.

### II. 시뮬레이션 개요 및 구성

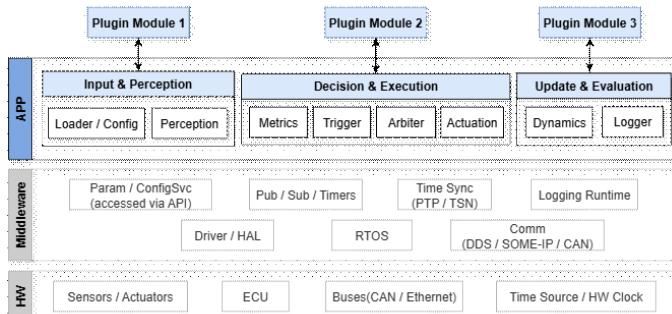


그림 1. 경고 측정 시뮬레이터의 소프트웨어 아키텍처

그림 1은 본 시뮬레이터의 소프트웨어 아키텍처를 나타낸다. 크게 ‘하드웨어(HW)-미들웨어(Middleware)-어플리케이션(APP)’ 단계로 시뮬

레이션 구동이 이루어진다. 하드웨어는 물리적 제어와 데이터 수집 등을 담당하며, 미들웨어는 주로 하드웨어와 어플리케이션 계층 간 연결을 수행한다. 어플리케이션의 경우 기능단별로 분리되어 플러그인 형태로 구성되어 있으며 기능간 연결 및 해제가 가능하게끔 설계되었다. 본 논문에서는 시뮬레이터 초기 구동을 목표한 바 어플리케이션 단계의 모듈들을 우선적으로 설계하였으며, 미들웨어와 하드웨어 계층 내 모듈들의 경우 추후 어플리케이션 모듈들과의 연동 작업을 진행하고자 한다. 설계된 종합 시뮬레이터의 융용 모듈단 내에는 총 8개의 모듈이 존재하는데, 크게 ‘1. 입력 및 인지’, ‘2. 제동 경로 판단 및 실행’, ‘3. 상태 업데이트 및 평가’와 같이 묶을 수 있다. 개별 모듈들의 경우 Plug-in 구조로 구성되어 연결 및 해제가 가능하다.

첫 번째로 ‘입력 및 인지’ 단계는 Loader/Config 와 Perception 모듈로 구성된다. 먼저 시뮬레이션에 필요한 모든 초기 설정값을 읽어오고 사용 가능한 형태로 단위를 변환하며, 환경 변수는 노면 마찰계수, 경사도, 커브 곡률까지만 다루었다. 차량은 총 2대로 ego(뒤 차량)와 target(앞 차량)으로 가정하였고, ego에 부착된 센서가 매 타임스텝(0.01s)마다 target을 탐지했는지 판단한다. 본 연구에선 센서로 ARS 408-21 장거리 레이더의 스펙을 적용하였다. ARS 17Hz 기준 약 0.06s의 프레임비율로 일정한 주기마다 측정치 갱신 및 거리/시야각 계이팅의 제한된 범위 안에서 target을 탐지하면 상대 거리, 상대 속도, 상대 가속도를 측정한다[5]. 두 번째로 ‘제동 경로 판단 및 실행’ 단계는 Metrics, Trigger, Arbiter, Actuation 모듈로 구성된다. 우선 ego의 센서가 target 인지에 성공하였을 때 Dynamics 모듈이 업데이트한 위치, 속도, 가속도 값을 이용하여 TTC(Time to Collision)와 ETTC(Enhanced Time to Collision)로 두 차량 간 충돌 예상 시간을 구한다. TTC는 두 차량 간 현재의 상대 속도만 고려했을 때 충돌 예상 시간이며, ETTC는 두 차량 사이의 상대 가속도까지 고려한 충돌 예상 시간이다.  $x_c(t)$ 는 차간 거리(m),  $v_r(t)$ 는 상대 속도(m/s),  $a_r(t)$ 는 상대 가속도( $m/s^2$ )라고 할 때 TTC와 ETTC의 개별 수식은 (1)과 (2)와 같다[6]. 추가로 설명하자면  $x_c(t)$ ,  $v_r(t)$ ,  $a_r(t)$  경우 시간  $t$ 에 따라서 변화하는 변수들이며 이외에도 다양한 파라미터들에 기

반한 결과값 도출이 가능하다.

$$TTC = -\frac{x_c(t)}{v_r(t)} \quad (1)$$

$$ETTC = \frac{-v_r(t) - \sqrt{v_r(t)^2 - 2(a_r(t))x_c(t)}}{a_r(t)} \quad (2)$$

다음으로 제동 방법은 하이브리드 경로로써 ‘운전자 경로’와 ‘AEB 경로’로 나뉘는데, 실제 제동하기에 앞서 우선 어떤 경로가 더 안전한지 신호를 보낸다. 충돌 예상 시간은 TTC/ETTC 중 보수적으로 더 작은 값을 채택하여 각 경로별 지연 시간을 차감함으로써 유효 여유시간을 구한다. 경로별 총 지연 시간은 ‘운전자 경로 지연= 차량 인지 지연+통신 지연+오디오 정보 지연+운전자의 인지 및 반응 지연’과 ‘AEB 경로 지연= 차량 인지 지연+액추에이터 응답지연’까지만 고려하였다. FCW 와 AEB 신호의 임계값은 표준 규격/정책이 제안하는 원시 임계값[4]에서 각각의 경로별 지연 시간을 차감하여 유효 임계값을 구한다. 이는 실제 제동이 시작되기까지 지연시간이 존재하므로, 경고 신호를 그만큼 앞당겨 설정하기 위함이다. 계산하였던 유효 여유시간이 해당 경로의 FCW와 AEB의 유효 임계값이 하일 경우에 제동 트리거 신호가 커진다. 본 트리거의 경로 판단은 각각 독립적으로 수행되며 때문에 두 경로의 신호가 동시에 커질 수 있으며, 보수적 감속을 위하여 더 빠른 감속 시작 경로를 채택한다.

제동 트리거 신호 전송 후엔 최종적으로 어떤 경로로 실제 제동을 할지 arbiter policy를 통하여 경로를 결정하고, 처음 감속을 시작한 이후 완전히 멈추기까지의 브레이크 빌드업 시간을 추가로 더한다. 그리고 주행 시나리오의 다양한 충돌 상황을 총 3가지 경우로 나누었다: ‘1. 긴급 상황: TTC/ETTC가 0 이하이거나 유효 여유시간이 음수일 때, 즉시 AEB를 발동한다’. ‘2. 선제 개입: 유효 여유시간이 FCW 혹은 AEB 의 유효 임계값에 매우 근접한다면, 신호 트리거가 커지기 전에 해당 경로로 미리 개입한다’. ‘3. 후보 비교: 신호 트리거가 커진 경로 후보 중 감속 시작 시점이 더 빠른 쪽을 선택한다’. 상황에 따른 경로 선택 후 실효 감속 시작 시점이 되면 ego 가속도에 음수값을 적용하여 감속한다.

시뮬레이터의 마지막 세 번째 단계는 ‘상태 업데이트 및 평가’로써, 0.01초 단위로 차량 상태를 업데이트한 후 CSV 로그로 출력한다. 주요 출력 필드는 ‘현재 시각, 차량의 위치/속도/가속도, 차간 거리, 충돌 예상 시간, 트리거 판단 결과, arbiter 정책, 충돌 여부’이다.

현재까지 기술된 전체 모듈별로 연계되는 시뮬레이터에 사용된 주요 파라미터 리스트의 경우 표 1을 참고한다. 추가로 표1 내에서 쓰이는 ego는 차량을 의미하며 target은 앞 차량을 의미한다.

표 1. 경고 측정 시뮬레이터 내 주요 파라미터

Parameter	Module	Parameter	Module
velocity_ego	Loader / Config	velocity_target	Loader / Config
initial_gap	Loader / Config	radar_range_max	Perception
TTC	Metrics	ETTC	Metrics
raw_fcw_s	Trigger	raw_aeb_s	Trigger
actuation_delay	Actuation	target_decel_start	Dynamics

### III. 시뮬레이션 구현 및 결과

시뮬레이션 구현을 위해 기본 주행 시나리오는 NHTSA[4]와 Euro NCAP[1]의 실험 조건을 반영한 ‘ego 속도=72.4km/h, target 속도 =72.4km/h, 차량간 간격(headway)= 12m/30m/40m’ 와 아스팔트 도로

일 때 건조 노면(마찰계수= 0.8)[2], 직선도로(곡률= 0), 평지(경사= 0)를 가정하였다.

ego 차량이 일정한 속도로 주행하는 target 차량의 후면을 추돌하는 경우는  $Cm(a = 0m/s^2)$ 으로, 감속하는 target 차량의 후면을 추돌하는 경우는  $Cb(a = -2 \text{ or } -6 m/s^2)$ 로 나누었고, 여기서  $a$ 는 target 차량의 가속도를 의미한다. 이를 기반으로 하여 시뮬레이터 구동 통해 도출한 결과는 표2를 참고한다. 추가로 표2 내 결과 시나리오 및 Headway 조건별로 정리되었으며 충돌 여부는 충돌은 Y이며 비충돌이면 N이다.

표 2. 기본 주행 시나리오별 충돌 여부 결과

Scenario	Headway	ego 제동 경로	충돌 여부
$Cm$	30m	제동 없음	N
$Cb(-2 m/s^2)$	12m	긴급제동(AEB)	N
	40m	긴급제동(AEB)	Y
$Cb(-6 m/s^2)$	12m	긴급제동(AEB)	Y
	40m	긴급제동(AEB)	Y

표2의 결과값을 통해 도출된 결론은 크게 두 가지이다. 첫 번째로 target의 가속도가 -2인 경우 12m일 때 초기 AEB 개입으로 충돌을 회피했지만, 40m일 때 경보 및 개입이 늦어지면서 충돌이 발생하였다. 추가로 target의 가속도가 -6인 경우는 12m일 때 이미 초기 headway가 작아 물리적으로 제동 여유가 부족해 충돌이 나왔으며, 40m일 때는 지연시간을 반영한 실제 감속 시작 시점이 충돌 시점보다 늦어 충돌로 예상되었다.

### IV. 결론

본 논문에서는 충돌 지표와 하이브리드 제동 경로를 이용해 경고를 전송 및 제동한 후 충돌 여부를 측정하는 시뮬레이터를 제시하였다. 기본 주행 시나리오를 통해 모듈형 시뮬레이터의 기본 성능을 파악하였고, Plug-in 구조로서 향후 다양한 시나리오로 확장할 수 있음을 제안한다. 그러나 본 시뮬레이터는 최소한의 기능으로 마찰계수, 곡률, 경사만 반영하였으므로 다른 변수도 추가 고려해야 한다. 또한 향후 운전자 모델을 고도화하고 센서의 오염지를 반영해 모델의 현실성을 강화하는 것이 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] Euro NCAP. (2023, December). AEB Car-to-Car Test Protocol (Version 4.3). Euro NCAP.
- [2] 김한솔. (2022). 노면상태를 고려한 AEB시스템의 V2V, V2P 안전성 평가를 위한 충돌특성 연구 [석사 학위논문]. 가천대학교 대학원.
- [3] 김형규, 이수범, 이해린, 홍수정, & 민혜령. (2021). 전방충돌경보 (FCW)의 교통안전 증진효과 추정. 한국ITS학회논문지, 20(2), 43-57. <https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.2.43>
- [4] National Highway Traffic Safety Administration. (2013, February). Forward collision warning system confirmation test. U.S. Department of Transportation.
- [5] Continental Engineering Services. (2018). ARS 408-21 long range radar sensor 77 GHz - Data sheet (Print ID: 091018\_FS\_ARS\_408\_21\_EN\_HS). Continental AG.
- [6] International Organization for Standardization. (2013). ISO 15623:2013 - Intelligent transport systems – Forward vehicle collision warning systems – Performance requirements and test procedures (2nd ed.). ISO. <https://www.iso.org/standard/54607.html>