

# ISO/PAS 21448 표준을 고려한 군집주행의 VENTOS 시뮬레이션

김영재\*, 권용균\*, 김동환\*, 홍장의\*  
\*충북대학교 소프트웨어학과

youngjae@cbnu.ac.kr, ygkwon50@gmail.com, takinit@naver.com, jehong@cbnu.ac.kr

## VENTOS Simulation for Platoon Driving Considering ISO/PAS 21448 Standard

Youngjae Kim\*, YongGyun Kwon\*, Dong Hwan Kim\*, Jang-Eui Hong\*  
\*Dept. of Computer Science, Chungbuk National University

### 요 약

여러 대의 자율주행 차량이 하나의 그룹을 형성하여 주행하는 군집주행은 미래 고속도로 교통 시스템의 핵심 기술이다. 이러한 군집주행에서 발생할 수 있는 다양한 상황에서의 안전을 고려하는 일은 단독 자율 주행에서의 경우보다 더 어렵다. 다양한 군집주행의 안전 위협 요인 중, 의도하지 않은 동작으로부터 자율주행 차량의 안전성을 향상하는 방법을 가이드하기 위하여 새로운 표준 ISO/PAS 21448이 제정되었다. 본 논문에서는 ISO/PAS 21448 표준이 다루는 시나리오를 통해 군집주행에서 발생할 수 있는 의도하지 않은 상황의 극복을 위한 방법을 제시하였다. 특히 군집주행 시뮬레이터인 VENTOS를 이용하여 본 논문에서 제시하는 방법이 안전한 군집주행이라는 목표를 달성할 수 있음을 확인하였다.

### 1. 서론

가까운 미래에는 많은 자율주행 차량들이 상용화되어 도로를 달릴 것이다. 많은 업체에서 자율주행과 관련된 기술 개발에 매진하고 있고, 동시에 군집주행(Platoon driving)에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 군집주행은 자율주행 차량 여러 대가 하나의 그룹을 이루어 주행하는 기술로, 미래 자동화 고속도로 기술의 중요한 축을 이룬다. V2V(Vehicle to Vehicle) 통신을 통해 서로의 주행 정보를 교환하며 주행하는 군집주행 기술은 도로의 통행량 증대, 에너지 소비의 감소, 공해물질 배출의 감소 등 다양한 장점을 지닌다.

이러한 미래 도로 환경의 변화에 따른 안전성의 확보를 위하여 다양한 표준들이 마련되고 있다. 2011년에 발표된 ISO 26262는 차량의 기능 안전을 가이드 하는 표준 [1]이며, 2019년 1월에 발표된 ISO/PAS 21448, SOTIF(Safety of the Intended Functionality) 표준 [2]은 ISO 26262 표준에서 다루지 않는 성능 제약, 환경 영향 등에 의해 발생할 수 있는 위험을 줄이는 방법을 제안하고 있다. 본 논문에서는 ISO/PAS 21448 표준에서 제시하는 위협 요인을 반영하여 군집주행에서의 위협 시나리오를 정의하고, 여기에 안전한 군집 주행이 가능한 안전 대책을 추가하여 안전 시나리오를 생성하였다. 위협 시나리오와 안전 시나리오를 군집주행 시뮬레이터인 VENTOS(Vehicular NeTwork Open Simulator)를 이용

하여 시뮬레이션 [3]함으로써 군집주행의 안전성을 확인하였다.

### 2. 관련 연구 조사 및 분석

#### 2.1 ISO/PAS 21448 표준

ISO/PAS 21448 표준 [2]은 차량의 자율주행 상황에서 발생할 수 있는 알려진 위험(Known Unsafe) 시나리오와 알려지지 않은 위험(Unknown Unsafe) 시나리오를 알려진 안전(Known Safe) 시나리오로 전환하여 안전성을 향상하고자 하는 의도로 제정되었다. 이러한 목적의 달성을 위해 ISO/PAS 21448 표준에서 제시하고 있는 SOTIF 활동은 다음과 같다.

- (1) 기능 및 시스템 명세로부터 SOTIF 관련 위협의 식별 및 위험성 평가
- (2) 위협 시나리오의 트리거 이벤트 식별 및 평가
- (3) 검사 검증(Verification & Validation) 방법 정의
- (4) SOTIF 위협 요소 검증
- (5) 종료(Release) 방법 및 기준 설정
- (6) 위협 감소를 위한 기능 수정 및 요구명세 반영

#### 2.2 VENTOS 시뮬레이터

VENTOS는 군집주행의 시뮬레이션을 위하여 미국 UC Davis 대학의 연구팀에 의해 개발된 오픈소스 시뮬레이터 [4]로, 도로주행 시뮬레이터인 SUMO [5]와 네트워크

시뮬레이터인 OMNET++ [6]을 결합하여 만들어졌다.

VENTOS를 이용하여 V2V 통신을 사용한 합류, 분리, 이탈 등의 군집 전략을 수행하는 군집주행을 시뮬레이션할 수 있다. 그러나 주행 중에 발생할 수 있는 위험 요인은 고려되지 않았다.

### 2.3 선행 연구

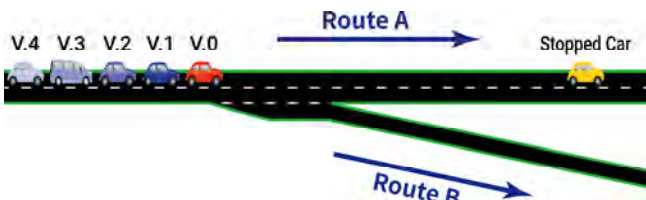
ISO/PAS 21448 표준과 군집주행의 안전에 관련된 연구들이 활발해지고 있다. Kramer 등은 SOTIF 관점에서 위험 시나리오의 식별을 다루는 통합 체계에 대하여 연구 [7]하였으며, Kirovskii 등은 요구사항의 추적과 안전 시나리오의 생성을 위하여 ISO 26262 표준과 ISO/PAS 21448 표준의 통합 방안[8]을 제안하였다. 또한 Fenanades 등은 통신 지연 완화를 통해 군집주행의 안전성을 개선하는 방법[9]를 제시하였다.

## 3. 군집주행 시나리오

본 연구의 목적을 위하여 ISO/PAS 21448 표준에서 고려하는 운전자 오동작, 주변 환경에 의해 발생하는 위험 시나리오를 다음과 같이 정의하였다.

### 3.1 시나리오 정의

(그림 1)과 같이 고속도로에서 자율주행 차량 다섯 대가 경로 A로 군집주행을 하고 있다.



(그림 1) 시뮬레이션 맵 및 차량 군집

군집을 구성하는 다섯 대의 차량은 동일하지 않은 감속 성능을 지니며, 그 구성은 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 군집의 차량 구성

차량 ID	V.0	V.1	V.2	V.3	V.4
군집 Depth	0	1	2	3	4
차량 형태	승용차	승용차	승용차	승합차	승용차
최대 제동 가속도	6 m/s <sup>2</sup>	6 m/s <sup>2</sup>	6 m/s <sup>2</sup>	5 m/s <sup>2</sup>	6 m/s <sup>2</sup>

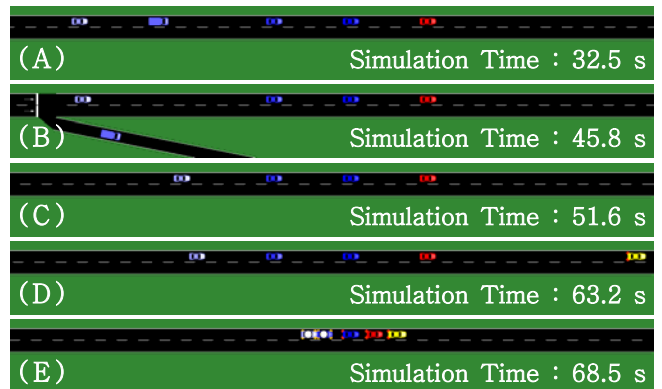
군집 차량 V.3의 운전자는 갑작스레 다른 목적지로 향하고자 한다. 그러나 해당 목적지로 향하는 출구는 불과 200 m 전방에 있다. 정상적인 절차로 차량의 경로를 변경하기에 시간이 부족하다고 판단한 운전자는 긴급 상황을 위한 비상수동운전 모드를 임의로 작동하였다. 차량의 제어 권한을 획득한 운전자는 차선을 변경하여 경로 B로 향한다. 이러한 차량 V.3의 행동은 <표 2>와 같이 정의하였다. 끝이어서, 군집의 리더 차량은 전방에 고장으로 멈추어 선 차량을 발견하고, 정지를 하기 위해 제동을 한다.

<표 2> 차량 V.3의 시뮬레이션 시간별 행동 정의

시 간	행 동
37초	비상수동운전 모드 작동
38초	안전거리 확보를 위해 제동, 20 m/s로 속도 감소
40초	차선을 변경하여 군집 이탈, 경로 B로 주행

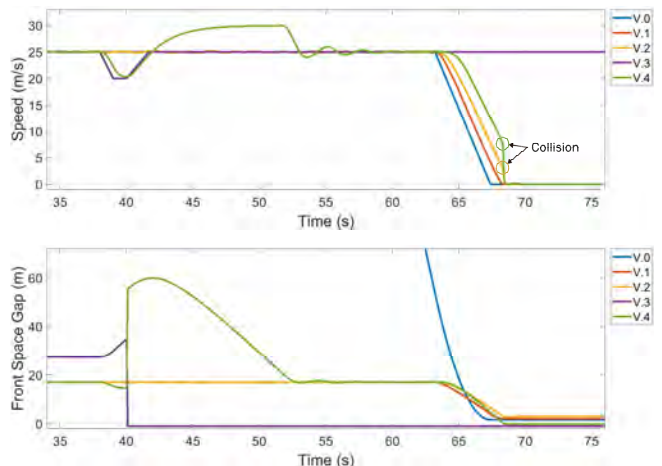
### 3.2 위험 시나리오의 실행 결과 및 분석

3.1절에서 정의한 시나리오를 VENTOS 시뮬레이터를 이용하여 시뮬레이션 한 결과, 군집 리더 차량을 따라 군집의 후속 차량들이 정지하는 과정에서 차량 V.4가 차량 V.2와 충돌하였다. 시뮬레이션 장면은 (그림 2)와 같고, 다음과 같이 설명된다.



(그림 2) 위험 시나리오 : 시뮬레이션 시간별 장면

- (A) 다섯 대의 차량이 군집주행을 하고 있다. 차량 V.3은 낮은 제동성능을 갖기 때문에 다른 차량보다 더 큰 안전거리를 가진다.
- (B) 차량 V.3이 비상수동운전 모드를 작동하고 군집을 이탈하여 경로 B로 향하고 있다.
- (C) 차량 V.4는 일정한 전방 차량 간격을 유지하려는 속도 결정 알고리즘에 의해 가속한다.
- (D) 군집 리더 차량의 전방에 고장으로 멈춰 선 차량이 나타난다.
- (E) 차량 V.4가 속도를 충분히 줄이지 못하고 차량 V.2와 충돌(흰색 원으로 표시)하였다.



(그림 3) 위험 시나리오 : 차량 속도와 전방 차량 간격

(그림 3)의 그래프에서 위험 시나리오에서의 각 차량의 움직임을 확인할 수 있다. 68.4초에서 일어난 충돌에 의해 차량 V.2와 차량 V.4의 속도가 0 m/s가 됨을 볼 수 있다. 전방 차량 간격 그래프의 경우, 차량 V.3의 전방 차량 간격이 40.1초에서의 차선 변경으로 인하여 전방 차량이 존재하지 않음을 의미하는 -1 m로 나타나게 된다.

### 3.3 위험 시나리오의 SOTIF 활동 적용

3.1절에서 정의한 위험 시나리오에 대하여 ISO/PAS 21448 표준 기반의 SOTIF 활동을 적용하면 다음과 같다.

- (1) 위험 식별 및 위험성 평가 : 군집주행 중 무단이탈 차량으로 인한 잘못된 정보의 교환으로 군집의 안전성이 하락하였고, 그 결과 충돌이 발생하였다. 충돌은 매우 높은 위험성을 가질 수 있다.
- (2) 트리거 이벤트 식별 : 군집 구성 차량의 갑작스러운 비상수동운전 전환에 이은 군집의 무단이탈에도 불구하고 군집 구성 변경이 이루어지지 않았다.
- (3) V&V 방법 정의 : 충돌의 원인을 찾고, 이를 해결하기 위한 안전대책을 수립한다. 이어서 수립된 대책을 적용하였을 때, 충돌을 방지할 수 있는지 테스트한다.
- (4) SOTIF 검증 : 테스트를 통하여 적용한 안전대책의 잔여 위험성을 확인하고, 수용 가능한 수준에 도달하였는지 평가한다.
- (5) 종료(Release) 기준 설정 : 군집 구성 차량의 무단이탈 상황에서 적절한 군집 구성의 변경이 이루어지고, 그 결과로 충돌을 방지할 수 있으면 SOTIF 활동을 종료한다.
- (6) 기능 수정 및 명세 반영 : SOTIF 활동을 통해 얻은 안전대책을 군집주행에 적용하고, 이를 시스템 명세에 반영하여 위험 시나리오를 안전 시나리오로 전환한다.

### 3.4 위험 시나리오의 원인 분석 및 안전대책 수립

위험 시나리오에서의 차량 V.4와 차량 V.2의 충돌 원인은 속도 결정 알고리즘의 분석을 통해 확인되었다. 확인된 충돌의 원인은 다음과 같다.

군집 구성 차량은 자신의 속도, 차량 자체의 센서를 통해 획득한 전방 차량 간격, 그리고 V2V 통신을 통해 획득한 전방 차량의 현재 속도, 현재 가속도, 최대 감속 성능을 자신의 속도 결정 알고리즘에 사용한다. 차량 V.4는 차량 V.3이 이탈하였음에도 통신 도달 거리 내에서는 계속 차량의 V.3의 정보를 수신하였고, 이를 자신의 전방 차량 정보라 생각하고 자신의 속도 결정 알고리즘에 반영하였다. 이어 벌어진 제동 상황에서, 차량 V.4의 실제 전방 차량은

차량 V.2이지만 차량 V.3의 제동성능을 바탕으로 제동 타임을 결정한 결과, 더 높은 제동성능을 가진 차량 V.2가 차량 V.4의 예상보다 빠르게 정지하여 충돌이 발생하였다.

이와 같은 비상수동운전 모드에 의한 무단 군집이탈은 군집 구성 차량 상호 간에 전달된 정보를 잘못 사용함으로써 주행하는 군집의 안정성을 해치고, 예상하지 못한 위험 상황을 불러일으킬 수 있다. 따라서 시스템 요구명세에 군집 무단이탈 상황에서 군집 구성 변화의 인지와 군집 구성 정보의 갱신을 필요로 한다. 이러한 위험성을 제거 또는 최소화하기 위하여 위와 같이 확인된 원인을 기반으로 다음과 같은 안전 대책을 고안하였다.

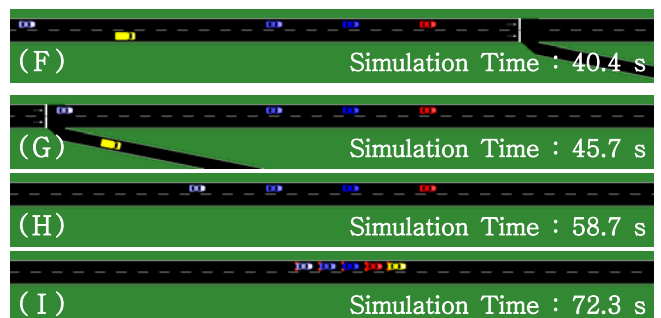
- 안전대책 I : 운전자가 비상수동운전 모드로 전환하고 군집을 이탈한 경우, 이탈 사실을 다른 군집 차량들에게 V2V 통신을 사용하여 전달한다. 군집을 이탈한 차량이 발생하면 군집 리더 차량은 남은 군집 차량들에게 군집 구성 정보의 갱신을 지시한다.
- 안전대책 II : 군집주행 중, 자신의 전방 군집 차량이 비상수동운전 모드를 작동하였을 경우, 돌발 상황에 대비하여 전방 차량 간격을 증가시킨다. 또한 V2V 통신을 통해 수신한 전방 차량의 속도 정보 대신 차량 자체의 센서를 사용하여 획득한 속도 정보를 자신의 속도 결정 알고리즘에 사용한다.

이와 같은 두 가지 안전대책을 군집주행 시나리오에 적용하여 안전성을 향상시키는 SOTIF 활동을 하였고, 해당 안전 대책을 VENTOS 시뮬레이터의 소스코드를 수정하여 구현하였다.

## 4. 결과 분석 및 평가

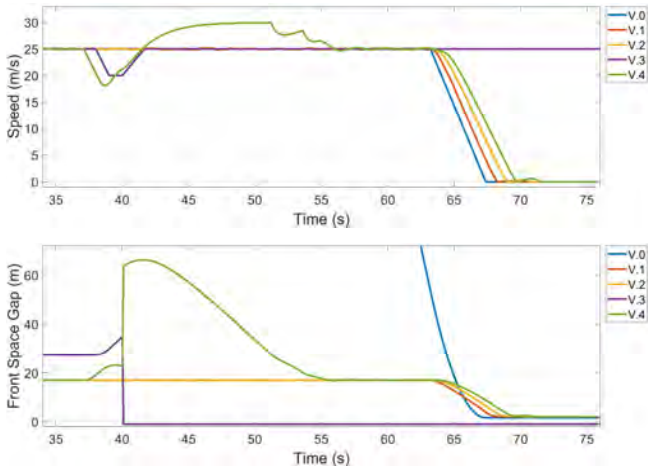
### 4.1 안전 시나리오의 실행 결과 및 분석

안전대책을 구현한 후, 3.1절에서 정의한 시나리오와 동일하게 VENTOS 시뮬레이터를 이용하여 시뮬레이션을 한 결과, 안전대책이 적절히 작용하여 위험 시나리오에서 발생하였던 충돌 사고를 막을 수 있었다. 시뮬레이션 장면은 (그림 4)와 같고, 다음과 같이 설명된다.



(그림 4) 안전 시나리오 : 시뮬레이션 시간별 장면

- (F) 차량 V.3이 차선을 변경하자, 군집 구성 정보가 갱신된다.
- (G) 차량 V.3은 경로 B로 향하고, 차량 V.4는 전방 차량 간격을 좁히기 위해 가속한다.
- (H) 다시 안정적으로 군집주행을 한다.
- (I) 전방의 고장 차량의 발견에 따른 제동 상황에서 모든 차량이 안전하게 정지하였다.



(그림 5) 안전 시나리오 : 차량 속도와 전방 차량 간격

(그림 5)의 그래프에서 안전 시나리오에서의 각 차량의 움직임을 확인할 수 있다. 구현된 안전 알고리즘이 적절히 작용하여 안정적인 군집 주행을 하였다. 특히 37초에서 차량 V.3가 비상수동운전 모드를 작동한 것을 차량 V.4가 V2V 통신을 통해 인식하자마자 안전대책II에 의해 선제적으로 감속하여 안전거리를 확보하는 것을 볼 수 있다.

#### 4.2 안전 시나리오의 결과 평가

안전 시나리오에 적용된 안전 대책은 충돌 원인을 제거하고, 군집의 비정상적인 이탈에 대비하였기 때문에 해당 시나리오에서의 잔여 위험성은 더 이상 존재하지 않는다고 평가할 수 있다. 이는 SOTIF 활동에서 정의한 종료 기준을 충족하므로 요구명세에 반영함으로써 안전한 군집 주행이라는 목표를 달성할 수 있게 한다.

즉, 최초 위험 시나리오는 알려지지 않은 위험 시나리오로서, 원인 분석을 거쳐 알려진 위험 시나리오로 전환되었고, SOTIF 활동을 통하여 알려진 안전 시나리오로 최종 전환되었다.

### 5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 자율주행 차량의 군집주행 과정에서 발생하는 위험 요인으로 인한 시나리오를 정의하고, 위험 요인에 대한 안전대책을 적용하여 군집주행의 안전성을 확보하는 연구를 수행하였다.

특히, 군집주행의 위험 요인으로 ISO/PAS 21448 표준

에서 제시하는 운전자의 오동작 및 주변 환경 요소를 설정하여 위험 시나리오를 정의하였다. 또한 해당 시나리오에서 발생한 위험 요인에 대한 안전대책의 설계 및 시스템 적용을 통하여 위험 시나리오를 안전 시나리오로 전환하였다. 이와 같은 과정을 VENTOS 군집주행 시뮬레이터를 이용하여 모의함으로써, 안전 대책이 적절하게 설계되어 해당 위험 요인으로부터 안전한 군집주행이 이루어질 수 있음을 확인하였다. 본 논문의 이러한 연구 결과는 다양한 위험 상황으로부터 안전한 군집주행 기술을 개발하는데 유용할 것이다.

향후 연구로는, 군집주행 환경에서 동시에 복수의 위험 요인이 발생하는 경우, 위험 요인 대응을 위한 우선순위의 부여 방법과 실시간 제약 내에서의 신속한 위험 대응 방법에 관하여 연구하고자 한다.

### Acknowledgement

본 연구는 충북대학교 소프트웨어중심대학사업 산학공동연구과제의 지원을 받아 수행하였음.

### 참고 문헌

- [1] ISO 26262 : 2011, Road vehicles — Functional safety, International Organization for Standardization, 2011.
- [2] ISO/PAS 21448 : 2019, Road vehicles — Safety of the intended functionality, International Organization for Standardization, 2019
- [3] Amoozadeh, Mani, et al., "Platoon management with cooperative adaptive cruise control enabled by VANET.", Vehicular communications, Vol.2, No.2, pp.110-123, 2015.
- [4] VENTOS, <https://maniam.github.io/VENTOS/> (accessed at September, 2020.)
- [5] Behrisch, Michael, et al., "SUMO — simulation of urban mobility: an overview." SIMUL 2011 : The Third International Conference on Advances in System Simulation, Barcelona, 2011, pp.63-68.
- [6] OMNet++ : Discrete Event Simulator, <https://omnetpp.org/> (accessed at September, 2020.)
- [7] Kramer, Birte, et al., "Identification and Quantification of Hazardous Scenarios for Automated Driving.", International Symposium on Model-Based Safety and Assessment, Lisbon, 2020, pp.163-178.
- [8] Kirovskii, O. M., and V. A. Gorelov., "Driver assistance systems: analysis, tests and the safety case. ISO 26262 and ISO PAS 21448.", IOP Conference Series : Materials Science and Engineering., Vol.534, No.1, pp.12-19, 2019.
- [9] Fernandes, Pedro, and Urbano Nunes., "Platooning with IVC-enabled autonomous vehicles: Strategies to mitigate communication delays, improve safety and traffic flow.", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.13, No.1, pp.91-106, 2012.