

V2I 기반 화물차 군집주행 안전서비스를 위한 시나리오 개발 연구

박유경^{1*} · 최지은 · 이지연 · 조승선

^{1*}한국지능형교통체계협회 부장, 과장, 대리, 주임

The safety service scenarios for automated truck platooning(Lv.3) based on V2I communication

Yu-Kyung Park^{1*} · Ji-Eun Choi, Ji-Yeon Lee, Seung-Sun Cho

^{1*}General Manager, ITS Korea, Gyeonggi-do, 15327, Korea

[요 약]

V2I 기반 화물차 군집주행 안전서비스는 군집주행 중 잠재적으로 발생하는 위험한 상황을 판단하고, 발생할 수 있는 피해를 경감하기 위해 운전자가 조향 및 속도를 조정하도록 알리는 서비스이다. 본 논문에서는 정의된 서비스를 기반으로 시나리오를 개발하기 위해 자율주행 시험환경 및 도로조건, ADAS의 제약환경 등을 검토하여 국내 군집주행의 ODD를 설정하였고, 이에 따른 Use Case는 군집해제, 감속, 차량간격 조정, 차로변경, 일반정보 제공으로 분류하여 정의하였다. 종합적으로 ODD와 Use Case를 고려하여 V2I 기반의 화물차 군집주행 안전서비스 시나리오를 개발하였으며, 개발된 시나리오는 전방의 도로 및 교통상황을 미리 인지하여 교통사고를 예방할 뿐만 아니라 전략적인 주행 전략을 통해 화물차의 연비 개선 효과도 나타날 것으로 기대된다.

[Abstract]

Truck platooning safety service based on V2I communication is defined as a service determines potentially dangerous road conditions and provide the safety information to the vehicle through the V2X communication and then drivers(or autoated vehicles) can adjust steering and speed for reduce the accident during platooning. In order to develop the scenarios, the ODD of the Korean truck platooning is set by reviewing the automated driving environments, road conditions and the constraints of ADAS. The use-cases are classified into dissolve, deceleration, gap change and lane change. The scenarios are developed in consideration of ODD and use case. It is expected that platooning vehicles will not only be able to prevent traffic accidents, but also improve fuel efficiency of the cargo trucks.

색인어 : 자율주행, 트럭 군집주행, 차량 인프라 간 무선통신, 안전서비스, 교통정보, 첨단운전자지원시스템

Key word : Automated driving, Truck platooning, V2I, Safety service, Traffic information, ADAS

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2020.21.11.1991>



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.

Received 31 October 2020; **Revised** 13 November 2020

Accepted 13 November 2020

***Corresponding Author; Yu-Kyung Park**

Tel: +82-31-478-0442

E-mail: ykpark@itskorea.kr

I. 서론

최근 5년간('14~'18년) 고속국도 화물차사고를 분석한 결과 사고건수는 연평균 9%가 증가하였다[1]. 2018년 고속국도 화물차사고 사망자 110명 중 안전운전 의무 불이행(88.1%), 안전거리 미확보(7.3%)로 나타났다. 차종별 고속국도 사고 현황을 살펴보면 화물차의 치사율이 11.1%인데, 이는 승용차의 치사율보다 약 2.7배 높은 수치이다. 이러한 사고 원인으로 화물 운송을 위한 화물차 운전자의 야근운행, 장거리 및 장시간 운행, 시간 제약 등으로 인한 피로도 상승 및 운전부하 등이 있으며, 화물차 교통사고는 발생 시 높은 치사율, 적재화물 파손 등으로 경제적 손실과 대형사고를 유발한다.

이러한 화물차 운전자의 운전 부하를 줄이고 안전성을 높이기 위해 해외에서는 자율주행 기술을 도입하여 화물차 운전자의 운전부하, 졸음 등에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되고 있으며, 화물차 군집 자율주행 운전자는 수동 운전 시보다 더 많은 상황을 인지하여 운전자의 부하를 줄일 수 있는 것으로 나타났다[2]. 화물차 군집주행은 V2V(Vehicle to Vehicle) 무선통신으로 연결된 2~5대의 차량이 함께 줄지어 주행하는 방식으로 선행차량(LV; Lead Vehicle)이 추종차량(FV; Following Vehicle)들의 조향, 가속, 감속을 함께 조절하여 차량 간격을 일정하게 유지하게 된다. 그러나 자율차량은 센서의 인식 한계로 전방 돌발상황에 대해서는 V2V 기술만으로 신속한 대응이 어려울 수 있다. 특히 화물차는 세단과 달리 중량이 크고 급제동이 어려워 기상악화나 전방의 돌발상황 발생 시 잠재적 위험이 더 클 수 있어 V2I(Vehicle to Infrastructure) 정보 제공이 필요하다. 이러한 정보는 FV가 자율주행을 유지하면서 안정적으로 대응(감속, 가속 등의 속도변경 혹은 차간거리 조정 등)이 가능하도록 제공되어야 하며, 이를 위해서 인프라와 차량 간 정보를 안정적으로 연계할 수 있어야 한다.

그러나 V2I 기반의 군집주행 안전서비스 기술은 전문한 상태로 본 연구에서 이러한 문제를 해결을 위해 V2I 기반의 Level 3의 화물차 군집자율주행 안전서비스를 정의하고 관련 시나리오를 제시하고자 한다.

II. 관련 연구 고찰

2-1 자율주행 관련 연구

1) 화물차 군집자율주행 Level 검토

자율주행의 구분은 미국 자동차기술협회(SAE; Society of Automotive Engineer)의 0~5단계로 분류한 바를 따르는 것이 일반적이다.[3]. 그러나 SAE의 분류는 다양한 자율주행 level이 상존하여 운영되는 군집주행에 적용하기에 적합하지 않아 본 연구에서는 유럽의 ENSEMBLE project에서 정의한 레벨을 참고하여 적용하였으며 표 1과 같다[4].

표 1. Platoon Level 개념 (ENSEMBLE project, 2018)

Table 1. High level platoon levels overview (ENSEMBLE project, 2018)

	Platooning levelA	Platooning levelB	Platooning levelC
Longitudinal automation	Leading truck: manual or advanced assist system Following & trailing vehicle: Autonomous longitudinal control	Leading truck: manual or advanced assist system Following & trailing vehicle: Autonomous longitudinal control	Leading truck: manual or advanced assist system Following & trailing vehicle: Autonomous longitudinal control
Lateral automation	Driver Optionally: in lane by system (standalone vehicle)	In lane + lane changes (coordinated)	Full automation from A to B
Operation area	Triggered by driver in dedicated areas (e.g. highway)	Dedicated areas (e.g. highway)	Dedicated areas (e.g. highway + parking areas)
Failure tolerance	Longitudinal degradation functionality	Longitudinal & lateral degradation functionality	Longitudinal & lateral degradation functionality
Platoon engaging	Only from behind (by single truck & existing platoon)	From behind (by single truck & existing platoon) and from front by single truck	From behind (by single truck & existing platoon), from the front by single truck and merging of single trucks in existing platoon
System & environment monitoring	System itself + Driver (environment)	System itself	System itself
Fall-back of the (dynamic driving task)	Driver; as long it is safe and the driver can react in time	System (for x seconds)	System
Safe state	Fail-safe (driver in control after reaction time of the driver)	Stopped in ego lane or rightmost lane	Stopped in safe stop area (e.g. fuel station)
Time gap (Steady state @ 80 kph)	>0.8s	>0.5s	>0.3s
Maximum number of simulations & verifications	7 (maximum for trucks)	No principle technical limitation as for now	No principle technical limitation as for now

ENSEMBLE project에서 제시한 군집주행 Level 중 Level A 가 본 연구의 범위인 Level 3의 범위와 가장 근접하다.

본 연구의 군집주행은 Level 3와 Level A와 유사한데 선행차량은 운전자에 의해 수동으로 운전하고, 후행차량은 자율 중앙향 자율제어를 수행한다. 차로 유지를 위한 횡방향 자율주행은 가능하나 자율주행을 통한 차로변경은 어려우며, 고속도로 상에서만 작동이 가능하다. 군집의 합류는 군집의 후미로만 가능하고 군집 전방의 위험상황에 대한 대응은 LV 운전자에 의해 수행된다. 시간간격은 최고속도 90km/h에서 0.5초이며, 최대

화물차의 수는 3대이다.

2) 자율주행을 위한 가이드라인 검토

미국 교통부와 도로교통안전국은 자율주행을 위한 가이드라인을 제공하고 있는데, 자율주행차에 대한 차량 성능 가이드스[5], 새로운 멀티모달 안전성 가이드스[6] 및 자발적 가이드스(시스템 안전성, 운영설계범위, 검증 방법론 등)에 대한 기술 지원[7] 등을 제공하고 있다.

특히 자율주행 level에 따른 ODD(Operation Design Domain) 설정이 중요한데 이를 위해 도로유형, 지역, 속도범위, 날씨, 주/야간 등의 환경조건 등이 사전에 정의되어야 한다.

2-2 군집주행 level3를 위한 ODD 설정 관련 연구 및 제도 분석

본 연구에서는 가이드라인에서 요구하는 ODD 설정을 위해 관련 국제표준(ISO), 국내의 기술 및 국내 도로환경 특성에 대해 분석하였다.

1) 국제표준(ISO)

ISO/TC204 WG14(Vehicle/roadway warning and control systems) 작업반은 차량능동안전시스템과 관련된 표준을 담당하고 있는데, 본 연구와 관련된 중·횡방향 제어가 가능한 Level 3의 군집주행에 초점을 두고 군집주행 ODD 설정을 위한 국제표준 시험환경 및 시험도로 조건을 검토하여 적용 가능한 사항을 다음과 같이 정리하였다.

(1) 시험 환경 조건

- 평탄하고 건조하며 깨끗한 아스팔트나 콘크리트 표면
- 온도 범위는 -20 ℃와 +40 ℃ 사이
- 풍속은 3 m/s 미만
- 수평 시정 범위는 1 km 이상
- 차로 표시는 좋은 상태를 유지
- 차선 표시는 디자인 및 재료에 적용되는 표준에 따라 표시

(2) 시험 도로 조건

- 시험 구간은 시험 속도를 유지할 수 있는 충분한 길이를 확보
- 차선 도색의 폭은 0.1~0.3m 이내의 고속도로 규정에 준하는 형태
- 차로 중심선 간의 간격인 차선폭은 3.4~3.9m 사이의 고속도로 규정에 준하는 형태

(3) 곡선구간 시험 조건

- $R_{min} = 500m$, R 은 $R_{min}(500m)$ 의 80~100% 이내

2) ENSEMBLE project ODD

ENSEMBLE project 검토를 통해 다음의 적용 가능한 항목을 정리하였다[4].

(1) 환경 및 교통 조건

- 낮은 가시조건(안개/야간 운전/태양의 눈부심); 최소 가시성
- 교통 체증(낮은 속도); 최대 교통밀도
- 미끄러운 도로 상태(결빙/비); 최소 접지력(grip) 레벨

- 응급차량 접근
- 도로 상의 사람 또는 큰 동물
- 사고 현장에 대한 접근

(2) 도로 인프라 조건

- 고속도로 또는 유사한 도로
- 오르막 주행; 최대 경사도
- 내리막 주행; 최대 경사도
- 터널 주행
- 고속도로 진출/입 램프 근처 주행
- 차로 상의 장애물; 최소 장애물 사이즈
- 도로의 곡선 반경; 최소 도로 곡률
- 도로 길어깨 상의 예상치 못한 장애물/차량
- 특정 zone 정책 (톨게이트, 공사구간 zone, 교량, 도시 제한)
- EU 국가별 최대 속도

3) 자율주행 자동차의 안전운행요건 및 시험운행 등에 관한 규정

「자율주행 자동차의 안전운행요건 및 시험운행 등에 관한 규정(국토교통부 고시 제2018-224호)」의 시험운행 조건은 다음과 같다.

(1) 시험운행 시험조건

- 시험로 상의 대기 온도는 0~45℃ 이내이어야 함
- 눈, 우박, 안개, 연무 등의 악조건의 기상상태에서는 시험을 실시하지 않으며, 일광 및 양호한 기상조건에서 시험을 실시함
- 시험로의 폭은 최소 3.5m 이상이어야 함
- 차선은 「도로교통법 시행규칙」 제8조제2항 및 「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」에 적합한 재질로 제작되어야 하고, 시인성이 양호한 상태이어야 함

2-3 화물차 관련 국내 교통사고 현황 분석

화물차 군집자율주행 안전서비스 시나리오를 개발을 위해 교통사고 분석을 통해 화물차에 미치는 영향요소를 살펴보기 위해 도로교통공단의 교통사고분석시스템(TAAS; Traffic Accident Analysis System)에서 제공하는 최근 5년 간(2014년~2018년) 경찰 DB를 분석하였다.

1) 고속도로의 범규위반별 화물차 사고

고속국도를 대상으로 가해운전자 차량용도에 대한 범규위반별 화물차 사고를 분석한 결과, 최근 5년간 사고건수는 연평균 9%, 사망자수는 연평균 3% 증가하였으며, 2018년 사고건수를 살펴보면 안전운전 의무 불이행은 71%, 안전거리 미확보는 22% 순으로 높게 나타났다.

2) 고속국도의 사고유형별 화물차 사고

2018년 사고유형별 화물차 사고 사망자수를 분석한 결과, 전

체 사망자(110명) 중 추돌로 인한 사망자수가 61%로 가장 큰 비율을 차지하였고, 최근 5년간 추돌로 인한 사망자수는 연평균 7% 증가하였다.

3) 고속국도의 기상상태별 화물차 사고

2018년 기상상태별 화물차 사고 사망자수(110명)를 분석한 결과, 맑은 날을 제외하면 흐림(12.7%), 비(10%) 순으로 높게 나타났다으며, 최근 5년간 흐린 날 사망자 수는 연평균 24% 증가하였으며, 비오는 날 사망자 수는 연평균 7% 감소하였다. 반면, 비오는 날 사망자 수는 2016년 이후 증가 추세인 것으로 나타났다.

4) 고속국도의 노면상태별 화물차 사고

2018년 노면상태별 화물차 사고건수(995건)를 분석한 결과, 건조 86.2%, 젖음/습기 12.1%, 적설 0.9% 순으로 나타났으며, 최근 5년간 젖음/습기 노면에 대한 사고건수는 연평균 7%, 적설에 대한 사고건수는 연평균 11% 증가하였다.

2-4 시사점

분석된 연구, 제도 및 사고 현황 등을 기반으로 군집주행 차량이 자율주행 Level 3에 대응한 도로 및 교통상황, 이벤트 상황에서 안전하게 군집주행을 할 수 있도록 고려되어 시나리오를 개발할 수 있어야 한다.

군집주행의 자율주행 Level은 ENSEMBLE project에서 정의한 내용을 적용하였으며, ODD는 국제표준에서 정의하고 있는 시험평가 공통사항과 국내 법제도 사항을 반영하였다.

또한 국내 관련 교통사고 현황을 통해 화물차 잠재적 위험 상황을 고려하여 화물차 안전주행을 위한 시나리오를 개발하고자 하였다. 도로교통공단 2019년 교통사고 통계분석 자료에 따르면 도로선형별 사업용 차량사고에서 곡선부 치사율은 3.3명/100건으로 직선도로 치사율 1.5명/100건보다 두 배 이상 높은 것으로 분석되었고, 오르막 치사율과 내리막 치사율은 각각 2.4명/100건, 2.5명/100건으로 평지 치사율 1.5명/100건보다 높은 것으로 분석되었다[8]. 이에 치사율이 높은 도로선형을 고려하여 곡선부, 오르막, 내리막을 시나리오에 반영하였다.

III. V2I 기반 군집주행 안전서비스 정의

군집주행은 여러대의 차량들이 최소한의 안전거리만을 유지한 채 도로위의 열차처럼 일정한 간격을 두고 주행하는 것으로 적어도 Level 2 이상의 자율주행 시스템으로 구성되어야 하며, 자동으로 종방향과 횡방향 제어가 가능할 수 있다. 차량 간 간격은 일정하게 유지하며, 차량 속도에 따라 변하지 않는다. 군집주행은 차량과 차량 간 협력적 관계에서 군집을 형성하며, 이때 선행차량은 군집 운영(군집합류 승인, 해제 등)의 특별한 책임을 가지며 추종차량과 V2V 통신을 통해 군집을 운영한다.

3-1 V2I 기반 군집주행 안전서비스 정의

V2I 기반 군집주행 안전서비스는 V2X 통신환경 하에 일정한 간격으로 형성된 군집주행 중 즉각적 또는 잠재적으로 발생하는 위험한 상태를 구별하고, 이러한 상황에서 발생할 수 있는 피해를 경감하기 위해서 운전의 주체가 조향 및 속도를 조정하도록 알리는 서비스이며, 본 논문에서는 화물차 자율주행 Lv.3 수준의 서비스를 대상으로 한다.

이러한 서비스는 군집의 위치와 상태정보를 기반으로 군집주행 운전자의 안전주행을 지원하기 위한 것으로 다음과 같이 2개의 서비스로 분류하였다.

1) ODD를 벗어나는 구간에 대한 정보제공 서비스

ODD는 안전한 자율주행을 허용하도록 설계된 주행 가능한 구간을 말하며, 도로유형, 속도 범위, 날씨, 주/야간 및 ADS가 작동될 환경 조건 등이 포함된다. 자율주행시스템은 설계된 ODD 내에서 안전하게 운영되어야 하며, ODD를 벗어나는 구간에서는 자율주행이 안전하게 운영되지 않을 수 있다. 본 서비스는 군집주행차량이 ODD를 벗어나는 구간에서 안전하게 자율주행을 해제하고 수동으로 운전할 수 있도록 사전에 해제 정보를 제공하는 서비스로 그림 1과 같다.

2) 군집운행차량 위치와 상태에 따른 안전정보 제공 서비스

즉각적 또는 잠재적으로 발생하는 위험한 상태를 구별하여 해당 상황을 충분히 빨리 회피하기 위해 조향 및 속도를 조정하도록 주의 및 경고 메시지를 운전자에게 알리는 서비스로 그림 2와 같다.

3-2 V2I 기반 군집주행 안전서비스를 위한 ODD 설정

국제표준, ENSEMBLE project, 자율주행 자동차의 안전운행 요건 및 시험운행 등에 관한 규정 등 고찰을 통해 도로 및 교통 환경에 대한 공통사항을 도출하여 Level 3 군집주행을 위한 ODD를 표 2와 같이 정립하였다.



그림 1. ODD를 벗어나는 구간에 대한 군집주행 안전서비스
Fig. 1. Platooning Safety Service for the Out of ODD



그림 2. 자율주행 가능한 환경 내에서 군집주행 안전서비스
Fig. 2. Platooning Safety Service in ODD Environment

표 2. V2I 기반 군집주행 안전서비스를 위한 ODD
Table 2. ODD for truck platooning safety service based on V2I

Condition	ODD for truck platooning
R o a d Environment	- Highway or express way - Asphalt and concrete pavement, dry surface - Flat ground, straight line - Tunnel - Lane width = min. 3.5m - R = min. 500m - Number of lanes ≥ 2 - Temperature : -40℃ ~ 85℃
Traffic flow	- LOS(Level of service) B or higher - Long-distance driving is possible at constant speed
Weather	- Clean - Cloudy
Time	- half an hour after sunrise and before sunset
Speed	- Max. 90km/h - Min. 50km/h

정립된 ODD 환경 하에서 군집주행시스템은 요구된 성능을 유지하여야 한다.

Level 3 군집주행에 대한 제약사항은 다음과 같으며, 본 연구에서는 이러한 상황에서 군집주행 해제 서비스를 제공하는 것으로 정의를 하였다.

- 강우, 강설 등의 기상악화로 인해 시야 확보가 어려운 경우
- 야간 주행상황에서 전방 시야 확보가 어려운 경우
- 급커브, 내리막, 오르막이 빈번하게 반복되는 경우
- 도로 상에 차량 및 통신 센서에 영향을 줄 수 있는 요소가 많은 경우
- 진입/진출입부 차량으로 인해 군집 유지가 어려운 경우

IV. V2I 기반 군집주행 안전서비스 시나리오 개발

ODD 요건에 따른 V2I 기반 군집주행 안전서비스 시나리오는 조건별 조합에 따라 다양하게 생성될 수 있다. 본 시나리오는 V2I 통신 환경하에 교통 조건(교통류, 전방차량 행태, 교통사고 등), 인프라 조건(노변시스템, 기하구조 등), 도로 조건(도로등급, 노면재질, 기하구조 등) 및 환경 조건(날씨, 조도 등)을 고려하여 개발하였다.

V2I 기반 군집주행 안전서비스 상황은 전방의 이벤트로 인해 군집주행에 상대속도의 차이로 감속이 필요하거나, 군집차량 간 추종거리의 변화 혹은 차로변경이 필요하거나 군집해제가 필요한 상황이며, 이러한 이벤트가 발생하지 않더라도 화물차 사고다발구간, 기하구조적으로 화물차가 운행하기 어려운 상황 등도 포함하였다.

이러한 상황에서 화물차는 V2I 기반 안전서비스를 통해 주의정보, 경고정보, 일반정보를 제공받으며, 이를 통해 전방의

상황에 대해 즉각적으로 대응할 수 있게된다. 관련 정보는 다음과 같이 정의하였다.

- 주의정보 : 전방 이벤트 발생으로 인해 감속, 차로변경, 차간 간격 조정 등 필요하다고 판단되는 상황에서 제공되는 정보
- 경고정보 : 도로 전방 이벤트로 인해 충돌이 예상되는 상황에서 제공되는 정보
- 일반정보 : 화물차 사고다발구간, 기하구조적으로 화물차가 운행하기 어려운 구간 진입 시 제공되는 정보

이러한 정보를 통해 예상되는 군집의 대응 행동은 감속, 감속과 추종거리 변경, 감속으로 인한 군집해제 및 차로변경, 차로변경 등으로 나뉘질 수 있으며, 서비스 제공 시점은 정보제공과 군집이 안전하게 대응할 수 있도록 사전에 제공될 수 있어야 한다. 유효한 서비스 제공을 위해 본 연구에서는 군집주행의 속도별 차량 특성을 반영하여 정보제공 시점을 계산하였다.

4-1 정지시거 계산을 위한 운전자 인지반응시간과 감속도 설정

정지시거는 운전자가 주행 중 같은 차로 상에 있는 고장차 등의 장애물 또는 위험요소를 인지하고 제동을 걸어서 안전하게 정지하거나 혹은 장애물을 피해서 주행하기 위하여 필요한 길이로, 본 연구에서는 정지시거를 활용하여 속도별로 주의정보 및 경고정보 제공 시점을 산정한다. 이를 위해 먼저 운전자 인지반응시간과 감속도 값을 정의하였다.

$$S = (V \times t) + (\frac{V^2}{2d}) \tag{1}$$

- S = 정지시거(m)
- V = 차량의 속도(m/s)
- t = 인지반응시간(s)
- d = 감속도(m/s²)

정지시거는 운전자에게 큰 영향을 미치므로 충분한 안전한 값으로 제시되어야 한다.

1) 운전자 인지반응시간 설정

운전자 인지반응시간은 차내 정보제공을 위해 가장 중요한 요소로 다음과 같은 연구가 있다.

인지반응시간의 정의는 운전자가 바라보는 시각에 비춰진 어떤 사물 또는 상황과 운전자가 반응을 최초로 나타내는 시간 간격을 말하며 미국교통국에서는 다음 그림 3과 같이 4단계 프로세스로 설명하였다[9].

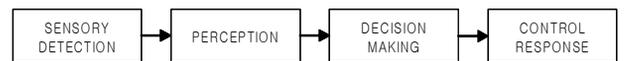


그림 3. 인지반응시간의 4단계 프로세스(인지→확인→판단→반응)
Fig. 3. 4-step process of Perception Reaction Time

또한 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)에서는 여러 문헌 고찰 결과, 최소 브레이크 반응시간은 최소한 1.64초를 적용할 수 있지만 대다수 운전자들의 특성과 운전의 복잡성을 감안할 때 설계시에 2.5초의 인지반응 시간을 적용하도록 권장하여 국내에서도 설계값으로 2.5초를 적용하고 있다. 그러나 최근 ADAS 센서의 보급 등 차량의 성능 향상으로 차량 내 운전자인지반응 시간을 1.0초로 적용하고 있다. 본 연구에서는 운전자 인지반응시간을 일반적으로 적용되는 운전자가 위험상황을 만났을 때 운전실력을 과신하여 자극을 느끼고도 반응하지 않는 시간을 제외시킨, 자극을 느끼기 시작한 시점부터 시작하여 마지막으로 브레이크를 밟기 위해 발을 움직이는 시점까지로 정의하였으며, 시간은 1.0초로 적용하였다.

국내기준에서는 운전자 인지반응시간을 2.5초를 적용하고 있으며[10], 이는 혼잡한 도로상황 및 예기치 못한 상황 등을 고려하여 2.5초를 반응시간으로 잡을 경우 90% 이상의 운전자가 위기에 대응할 수 있는 적당한 시간으로 적용하고 있다. AASHTO에서도 운전자들의 특성과 운전의 복잡성을 감안하여 인지반응시간을 2.5초를 적용하도록 권장하고 있다[11]. 그러나 최근 ADAS(Advanced Driver Assistance System) 센서의 보급 등 차량의 성능 향상으로 차량 내 운전자 인지반응시간을 1초로 적용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 운전자 인지반응시간을 자율협력주행 시스템의 도움을 받아 위험상황 발생 시 자극을 느끼기 시작한 시점부터 마지막으로 브레이크를 밟기 위해 발을 움직이는 동작까지의 시간으로 정의하였으며, 1초로 적용하였다.

2) 감속도 설정

화물차 군집주행의 가장 큰 한계는 속도의 연속성이 깨지고 감속도의 크기가 큰 곳에서 안전에 위험성이 매우 높아지는 것으로 본 연구에서는 군집주행이 감속으로 인한 충격을 최소화하고 안정적으로 군집을 운영할 수 있는 감속도 값을 적용하고자 한다. 또한 위에서 정의한 주의정보와 경고정보를 제공하기 위해 안전감속도, 위험감속도를 정의하여 반영하였다.

- 안전감속도 : 운전자가 위협감을 느끼지 않으면서 안전하게 주행하기 위한 감속도 값
- 위험감속도 : 사고 회피를 위한 최대 감속도 값

안전감속도는 25톤 화물기준으로 차량이 운전자의 감속 제동 없이 차량에 의해 자연 감속할 수 있는 값인 $-0.49m/s^2$ 을 적용하였으며, 차량 성능에서 가능한 최대 감속도는 $-4.9m/s^2$ 을 적용하였다. 본 감속도 값은 실제 시험을 통해 얻어진 값을 적용하였다.

4-2 서비스 제공을 위한 요구사항 도출

화물차 군집주행 시 LV 운전자가 전방 위험상황에 대해 안전하고 안정적으로 정보를 제공받을 수 있도록 다음과 같이 정보제공 요구사항을 도출하였다.

1) 정보수집을 위한 요구사항 도출

LV는 FV의 정보를 포함하여 주기적으로 군집 운영 정보를 전송하며, 센터는 군집 운영정보를 실시간으로 수집할 수 있어야 한다. 이때, LV는 추종하는 차량이 없더라도 군집을 신청한 구간의 시점에 도착하면 운영정보를 주기적으로 운영관리센터로 전송해야 한다. 센터에서의 실시간 정보 수집을 위해 다음과 같은 요구사항을 만족해야 한다.

- LV는 군집의 위치와 상태 정보를 주기적으로 전송함
 - FV의 운영정보는 센터로 직접 전송되지 않을 수 있음
 - LV는 FV의 운영정보를 수집하여 센터로 전송할 수 있음
 - LV는 센터로부터 운영정보를 요청받으면 즉시 전송함
- LV는 주기적으로 군집의 운영정보를 전송하고, 이벤트 발생 시에는 발생 즉시 전송해야 하는데 이때, 이벤트 발생 상황은 아래 표3과 같은 기본기능이 수행되는 상황이다.

2) 정보제공을 위한 요구사항 도출

LV 운전자에게는 LV의 차량특성, 군집주행 상황, 교통상태, 기하구조 형태 및 기상 등을 고려하여 단계별로 전방 이벤트에 대한 경고를 제공할 수 있다.

- LV 차량특성 : 속도, 화물 무게 등
- 군집주행 상황 : FV 차량대수, 속도, 화물 무게, 차간거리 등
- 도로교통상태 : 원할, 서행, 정체 등

표 3. 군집차량 기능 분류

Table 3. Classification of platooning vehicles functions

Platooning vehicles	Function	Contents
LV	Approval of join/leave	- Request to join leave the cluster
	Provision of V2V information	- LV vehicle provides information for monitoring and service of the operation center, such as the number of vehicles, speed and gap distance
	Dissolve of platooning	- Platooning dissolve in case of emergency
	Hold of platooning	- Do not dissolve platooning in emergencies, but allow limited access to safe driving functions
FV	Request of join/leave	- Request of join/leave to LV
	Provision of V2V information	- Sharing information for service and driving control between LV and FV
	Control of gap distance	- Control of gap distance from forward vehicle
	Transition of the driving control authority	- Transition of the driving control authority when join and leave
	Emergency	- Emergency response in the control transition mode

※ PLV : Potential Lead Vehicle
 ※ PFV : Potential Following Vehicle

- 기하구조 형태 : 직선부/곡선부, 오목/볼록구간 등
- 기상에 따른 노면상태 : 마른상태, 젖은상태, 결빙, 적설 등
- 날씨 : 낮, 밤, 눈, 비 등
- 시스템 지연 시간 : 통신지연, 처리지연 등
- 운전자 특성 : LV 운전자 반응시간, 운전 숙련도 등

FV 운전자도 위의 상황을 동일하게 고려하여 군집주행 내에서 안전하게 안정적으로 추종할 수 있도록 단계별로 전방 고정 장애물에 대한 경고를 제공할 수 있어야 한다. 또한 시스템 운영자 모니터링을 위해 무선통신(V2X) 상태, 정보수집제공 상태, 군집주행 상황 등을 기록하여 확인할 수 있어야 한다.

3) 정보제공 수준 설정

LV 운전자가 상황을 인지하여 안전하게 군집주행 대응이 가능하도록 하기 위해 그림 4와 같이 정보의 수준은 2단계로 구분하였으며, 1단계 정보는 전방 위험 상황에 대해 LV 운전자 및 FV 차량 및 운전자가 미리 상황을 인지하여 대응할 수 있도록 하기 위한 정보(주의정보, Warning distance)이며, 2차 정보는 1차 정보 제공 후에 LV 운전자가 상황에 대해 적절히 반응하지 않아 충돌 위험이 있는 경우 충돌 피해를 경감시키거나 회피할 수 있도록 제공하는 정보(경고정보, Minimum warning distance)이다. 1차정보 제공 시점은 안전감속도 값을 적용하며, 2차정보는 위험감속도 값을 적용한다.

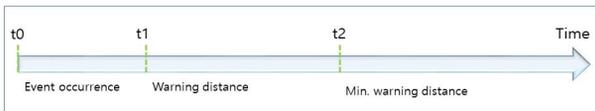


그림 4. 군집주행을 위한 정보제공 수준
 Fig. 4. Level of information for truck platooning

4) 정보제공의 형태 분류

정보제공의 형태는 군집주행 안전운전 행위 요구를 위한 지시(정지, 감속, 차로변경 등), 주의정보안내(충돌 또는 전방 위험상황에 대한 경고), 현 상황에 대한 일반정보안내(경로, 위치, 영향받는 차로, 교통관제의 형태 등), 상황 예측정보(주행시간, 교통장애 처리 예상시간 등)로 분류할 수 있으며, 정보의 수준(정보시점)에 따른 정보의 내용은 다음 표 4와 같다.

표 4. 정보제공 내용
 Table 4. Contents of the information for truck platooning

Time	Contents
t1	- Type, location & time of event, status of traffic condition, recommended speed - Providing traffic information for driving behavior
t2	- Type, location & time of event, status of traffic condition, recommended speed - Providing traffic information for driving behavior - Providing warning information

표 5. 서비스 지역
 Table 5. Service location

Location	Status
Tunnel	It is difficult to detect accidents on the road, and there is a high possibility of a second accident
Curve	It is difficult to detect accidents on the road
Crest	It is difficult to detect accidents on the road
Slope	Even if an accident is detected, it is difficult to avoid it

또한 위의 표 5의 서비스 지역은 화물차 사고 다발구간 혹은 대형사고를 일으킬 수 있는 주요 구간으로 반드시 위 표와 같은 검토하여 사전에 안전 정보를 제공해줄 수 있어야 한다.

5) 기타 요구사항

운영관리센터는 LV로부터 수집한 군집 운영정보를 지속적으로 모니터링하기 위해 저장하고 관리하며, 필요 시 운영관리센터는 LV에 운영정보를 요청할 수 있다. 또한 운영관리센터는 LV로부터 수집된 군집 운영정보를 기반으로 군집자율주행을 위해 적절한 V2I 안전서비스를 제공할 수 있어야 한다.

시스템 운영자 모니터 시스템은 군집자율주행 통신(V2I) 상태, 정보수집제공 상태, 군집주행 상황 등을 기록하여 확인할 수 있어야 한다.

4-3 서비스를 위한 군집정보 정의

V2I 안전서비스를 위해서 표 6과 같이 군집의 상태와 위치정보를 실시간으로 수집해야 하는데, 이때 군집 상태 정보는 군집 ID, 군집의 길이, 속도, 가속도, 시각, 유지시간, 군집경로, 군집운행상태 등의 데이터 요소를 포함하며, 군집 위치 정보는 군집차량대수, 속도, 주행위치, 차간거리, 군집형성·해제 위치, 군집형성·해제 시간, 주행경로, 주행차로 등에 대한 내용을 담고 있다.

표 6. 군집차량 데이터
 Table 6. Platooning vehicle data

Data frame	Data element	Contents
Platooning status	ID	Identification of platooning
	Length	Number of platooning vehicles
	Speed	Speed of platooning
	Deceleration	Deceleration of platooning
	Formation time	Formation time of platooning
	Duration time	Duration time of platooning
	Route	Start point End point
	Status of formation	Previous platoon / Platooning
	Reason of dissolve	End of platooning / Emergency

Data frame	Data element	Contents
	Gap distance	Gap distance between vehicles
	lane	Driving lane
	Vehicle size	Length & width of LV/FV
	Vehicle weight	Weight of LV/FV
	Cargo weight	Cargo weight of LV/FV
	Vehicle status	sudden stop/fault
	Platooning position	Time
Latitude		Latitude of LV
Longitude		Longitude of LV
Altitude		Altitude of LV
Accuracy of position		Accuracy of LV position
Heading		Heading of LV
steering wheel angle		Steering wheel angle of LV
Trailer data	Acceleration	Acceleration of LV
	pivotOffset	Pivotpoint position in the unit
	pivotAngle	Angle between truck and trailer
	pivots	Connectivity probability
	isDolly	Trailer type
	width	Width
	length	Length
	height	Height
	mass	Mass
	bumperHeights	Bumper heights
	centerOfGravity	Vehicle height
	rearWheelOffset	Rear wheel offset
	positionOffset	Current position of Cargo
	elevationOffset	Current elevation of Cargo
	Latitude	Latitude of LV
	Longitude	Longitude of LV
	Altitude	Altitude of LV
Digital Traffic Graph (DTG) data	crumbData	Record the path history data
	Fuel consumption (l)	000.00~999.99/day
	Fuel efficiency (km/l)	00.00~99.99
	Transportation time	Driving time, loading/unloading time, working time, resting time
	Battery status	When to relace the battery

17427-1 표준에서 제시하고 있는 방법을 참조하는데 본 표준에서는 시나리오의 내용, 서비스, 표출의 actor가 누군지에 따른 시나리오 작성법에 대해 설명하고 있다[12].

C-ITS 서비스를 제공하기 위해 정해진 구조속의 시스템 주체들이 각각 특정 기능(역할)을 수행해야 하며, 이러한 역할에 대해 정의하고 있는데, 상위수준의 표준으로 스펙이 아닌 서술적 정의를 담고 있으며, 특별 시나리오를 기준으로 역할이 달라질 수 있음을 그림 5와 같이 예시로 보여주고 있다.

시나리오를 기반으로 콘텐츠를 제공하는 역할과 이를 서비스하는 역할, 이를 수용해서 표현하는 역할 등을 구분하는데 같은 서비스라 하더라도 각각의 역할은 달라질 수 있다.

본 연구는 ISO 17427-1에서 제시한 시나리오 작성방법을 참조하여 다음과 같은 군집주행을 위한 V2I 기반 안전서비스 시나리오를 개발하였다.

2) 시나리오 도출

시나리오 구성요소 도출을 위한 군집차량대수는 LV 1대, FV 2대로 총 3대이며, 고속도로에서 대열주행하는 형태이며, 속도는 50~90km/h로 운행하며, 차량간격은 최소 12.5m를 유지할 수 있다. 차량 무게는 25톤 만차 상태를 기준으로 하며, 트레일러 길이는 최대 16.7m이다.

ODD 및 화물차 교통 및 사고특성 분석을 통해 도출된 조건을 기반으로 Level 3(혹은 Lavel A)의 군집자율주행이 가능한 날씨, 도로이벤트, 도로선형, 도로구조물 및 시설물, 진행방향 및 잠재적 위험 등의 상황을 조합하여 표 7과 같이 V2I 기반의 군집주행 안전서비스 시나리오 21개를 도출하였다.

시나리오에 따라 LV 운전자에게 상황에 따라 주의 및 경고 정보를 제공하였을 경우 예상되는 군집주행의 제어행태로는 감속, 차간간격 조정 및 군집해제가 있으며 이는 다음과 같이 구분될 수 있다.

- 감속 : 상대속도 차이로 군집차량이 감속이 필요하다고 판단되는 상황으로 센터로부터 감속에 대한 정보를 제공받으면 LV는 안전속도에 대한 정보를 FV로 전달하여 FV가 안전하게 안정적으로 감속을 완료하기까지의 시간을 고려하여 정보를 제공함

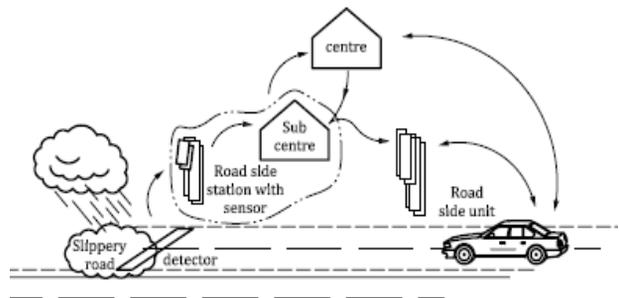


그림 5. 국제표준(ISO 17427-1)에서 제시하고 있는 시나리오 개념도
Fig. 5. Conceptual diagram of scenario suggested by international standard (ISO 17427-1)

4-3 V2I 기반 군집주행 안전서비스 시나리오

1) 국제표준 기반 시나리오 작성 검토

V2I 기반 군집주행 안전서비스 시나리오 개발을 위해 ISO

표 7. V2I 기반 군집주행 안전서비스를 위한 시나리오
Table 7. Scenarios for truck platooning safety service based on V2I

Conditions		Scenarios	
Single	Weather	1	Fog
		2	Rain
		3	Freezing
	Event	4	Work zone
		5	Obstacle
	Geometry	6	Curve
		7	Downhill
		8	Uphill
	Structure	9	Bridge
		10	Tunnel
		11	Land Control System
		12	Tollgate
	Heading	13	Ramp → Highway
		14	Highway → Ramp
		15	Merge area in highway
		16	Split area in highway
	Potential risk	17	Traffic accident area
Compound	Weather Geometry	18	Rain + Curve
		19	Fog + Downhill
		20	Freezing + Uphill
	Event + Geometry	21	Obstacle + Curve

- 차간간격 조정 : 교량 파손 등 환경 조건에 의해 차량간격 조정이 필요하다고 판단되는 상황으로 센터로부터 관련 정보를 제공받으면 LV는 조정된 차량간격의 정보를 FV로 전달하여 FV가 안전하게 안정적으로 차간간격 조정을 완료하기까지의 시간을 고려하여 정보를 제공함
- 군집해제 : 차로변경, 혹은 자율주행으로 대응이 어려운 상황으로 센터로부터 관련 정보를 제공받으면 LV는 군집해제에 대한 정보를 FV로 전달하여 FV가 안전하게 안정적으로 군집을 해제하고 차로변경이 필요한 경우에는 차로변경까지 완료되는 시간을 고려하여 정보를 제공함
- 기타 : 화물차 사고다발구간, 기하구조적으로 화물차가 운행시 주의해야 하는 구간에서는 센터에서 안내정보를 제공함

V. 결 론

본 연구는 V2I 기반 자율주행 Level 3 화물차 군집주행 안전서비스 시나리오 개발을 목적으로 한다. 군집주행 구성은 선행차량 1대, 후행차량 2대로 구성하였으며, 고속도로로 주행한다고 가정하였다. 군집주행차량은 차량과 차량 간, 차량과 인프라 간(V2I) 통신을 통해 선행차량의 권한에 의해 후행차량들이 추종거동하며, 일정한 간격을 유지하며 주행하는 것으로 설정하였다. 협력형 감응식 순항제어(Cooperative Adaptive Cruise Control, CACC), 군집주행 관련 국내외 연구동향을 파악하여 화물차 군집주행 안전서비스를 정의하였다. 화물차 군집주행 안전서비스는 V2I 통신 환경 하에 화물차 군집주행을 실시간 모니터링하면서 전방의 도로 및 교통상황 정보를 제공하는 서비스로 정의하였다. 화물차 군집주행 안전서비스 시나리오를 개발하기 위해 자율주행 시험환경 및 도로 조건, 첨단 운전자 지원시스템(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS)의 제약환경 등을 검토하여 군집주행차량의 운영설계범위(Operation Design Domain, ODD)를 설정하였다. 유스케이스(Use Case)는 군집해제, 감속, 차량간격 조정, 차로변경, 일반정보 제공으로 설정하였다. 군집주행차량의 운영설계범위, 유스케이스를 고려하여 화물차 군집주행 안전서비스 시나리오를 개발하였다. 개발된 시나리오는 화물차 군집주행 시 전방의 도로 및 교통상황을 미리 인지하여 교통사고를 예방할 뿐만 아니라 전략적인 주행 전략을 통해 화물차의 연비 개선 효과도 나타날 것으로 기대된다.

향후 본 연구에서 도출된 시나리오를 기반으로 군집주행 실증 평가를 수행하여 V2I 기반 군집주행 안전서비스를 위한 검증 방안을 고도화하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다. (과제번호 KAIA20TLRP-B147673-03)

참고문헌

- [1] Traffic Accident Analysis System (TAAS), Truck accident [Internet]. Available: <http://taas.koroad.or.kr/>.
- [2] Magnus Hjalmdahl, Stas Krupenia, "Driver behaviour and driver experience of partial and fully automated truck platooning - a simulator study", European Transport Research Review 9(1), DOI: 10.1007/s12544-017-0222-3, pp.1-11, March 2017.
- [3] SAE International, Surface vehicle recommended practice,

(R) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, J3016, 2018.

[4] Vissers, J., et al., (2018) V1 Platooning use-cases, scenario definition and Platooning Levels D2.2 of H2020 project ENSEMBLE [Internet]. Available: platooningensemble.eu.

[5] U.S. Department of Transportation (September 2016). Federal Automated Vehicles Policy Guideline [Internet]. Available: <https://www.transportation.gov/AV/federal-automated-vehicles-policy-september-2016>

[6] U.S. Department of Transportation (October 2018). Preparing for the future of transportation, Automated Vehicles 3.0 Guideline [Internet]. Available: <https://www.transportation.gov/av/3/preparing-future-transportation-automated-vehicles-3>

[7] U.S. Department of Transportation (September 2017). Automated Driving Systems 2.0 [Internet]. Available: <https://www.transportation.gov/av/2.0>

[8] Road Traffic Authority Driver's License Examination Office, Traffic accident statistical analysis Report, 2019.

[9] Olson, P.L. Forensic aspects of driver perception and response. Tuscon, AZ: Lawyers & Judges Publishing, p.192, 1996

[10] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013). Rules regarding road structure and facility standards, 2013

[11] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2001

[12] International Standard Organization, ISO 17427-1:2018- Roles and responsibilities in the context of C-ITS architecture, 2018



박유경(Yu-Kyung Park)

1999년 : 한양대학교 교통공학과 (공학사)
 2002년 : 한양대학교 대학원 (공학석사-교통공학)

2001년~2006년: 한국교통연구원
 2006년~2007년: 서울시청 교통국 버스정책과/교통계획과
 2007년~2008년: (주)테크노비전
 2008년~현 재: (사)한국지능형교통체계협회
 2014년~현 재: ISO/TC204 WG18 전문가
 2017년~현 재: LX 공사 표준 기술위원
 ※관심분야 : ITS(Intelligent Transport Systems), 자율협력주행(Cooperative Automated Driving) 등



최지은(Ji-Eun Choi)

2009년 : 부경대학교 (공학사)
 2011년 : 부경대학교 대학원 (공학석사)
 2016년 : 부경대학교 대학원 (공학박사-공간정보시스템공학)

2011년~2011년 : 한국교통안전공단
 2016년~2017년 : 부산발전연구원
 2018년~현 재 : (사)한국지능형교통체계협회
 ※관심분야 : C-ITS(Cooperative Intelligent Transport System), 자율협력주행(Cooperative Automated Driving) 등



이지연(Ji-Yeon Lee)

2015년 : 경기대학교 (공학사)
 2019년 : 서울시립대학교 도시과학대학원 (공학석사)

2015년~현 재 : (사)한국지능형교통체계협회
 ※관심분야 : C-ITS(Cooperative Intelligent Transport System), 자율협력주행(Cooperative Automated Driving) 등



조승선(Seung-Seon Jo)

2019년 : 공주대학교 (공학사-도시교통공학)

2018년~2019년 : 도로교통공단 대전세종충남지부 안전교육부
 2018년~현 재 : (사)한국지능형교통체계협회
 ※관심분야 : ITS(Intelligent Transport Systems), 자율협력주행(Cooperative Automated Driving) 등