

V2X 기반 군집주행을 위한 적정 화물차 및 품목 선정 기초연구

A Study on the Determining Appropriate Truck and Commodity Types for V2X-based Truck Platooning

류 승 규* · 최 윤 혁** · 정 하 림*** · 권 봉 경**** · 윤 일 수*****

* 주저자 : 한국과학기술정보연구원 데이터기반문제해결연구단
 ** 공저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 교통연구실 수석연구원
 *** 공저자 : 아주대학교 교통공학과 박사과정
 **** 교신저자 : 한국도로공사 해외사업처 차장
 ***** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Seungkyu Ryu* · Yoon-Hyuk Choi** · Harim Jeong*** ·
 Bongkyung Kwon**** · Ilsoo Yun*****

* Dept. of Data-centric problem solving research, Korea Institute of Science and Technology Information
 ** Transportation Research Div., Korea Expressway Corporation Research Institute
 *** Dept. of Transportation Eng., Ajou University
 **** Overseas Project Div. Korea Expressway Corporation
 ***** Dept. of Transportation Eng., Ajou University
 † Corresponding author : Bongkyung Kwon, bk_kwon@ex.co.kr

Vol.19 No.2(2020)

April, 2020

pp.122~134

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

[https://doi.org/10.12815/kits.](https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.2.122)

2020.19.2.122

Received 21 November 2019

Revised 10 December 2019

Accepted 9 March 2020

© 2020. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

승용차의 자율주행 뿐만 아니라 교통정체 효과 개선, 연료절감, 화물차 운행의 안정성 개선을 위해서 여러 대의 화물차가 하나의 군집을 구성하여 운행하는 화물차 군집주행이 국내외에서 활발하게 연구가 진행되고 있다. 단일 차량 운행에 비해서 군집차량 운행은 군집 내 차량 한 대의 돌발상황으로 인하여 군집내의 모든 차량의 사고로 이어질 수 있기 때문에 실제 운행에 앞서서 더 많은 신중이 요구된다. 따라서 본 연구는 군집주행의 안전사고를 예방하기 위하여 군집주행에 적절한 화물차 및 화물의 종류에 대해서 검토하였다. 검토 결과, 차량의 종류의 경우 낙하물 사고를 사전에 예방하기 위해서 폐쇄형 화물차가 적절한 것으로 판단된다. 또한 화물의 종류의 경우, 액체류와 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 정의하는 위험물질들은 군집주행에 배제하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

핵심어 : V2X, 화물차 군집주행, 화물차 유형, 화물 품목

ABSTRACT

To improve traffic congestion, reduce fuel consumption, and improve the stability of truck operations, truck platooning, in which several trucks are organized in a single platoon, is being actively researched globally. Compared to the operation of a single truck, the operation of a truck platoon requires more caution before the actual operation because an accident of one vehicle in the platoon can lead to an accident with all the vehicles in the platoon. Therefore, this study examined the types of trucks and cargo suitable for truck platooning to prevent safety accidents. The review showed that a closed-van-type truck is appropriate for truck platooning to prevent falling objects during driving. In the case of cargo types, it is necessary to exclude liquids and dangerous goods defined in related laws from truck platooning.

Key words : V2X, Truck platooning, Truck type, Cargo type

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

승용차의 자율주행에 관한 기술 연구는 1950년대부터 시작된 오랜 역사를 가지고 있지만, 대형 트럭의 경우는 1990년대 중반에 시작되어 상대적으로 연구가 미흡했다. 그러나 여러 대의 화물차가 하나의 군집을 구성하여 운행하는 화물차 군집주행(truck platooning)은 현재 해외에서 활발하게 연구가 진행되고 있다 (SARTRE, 2010; GCDC, 2019; Tsugawa et al., 2011; Bergenhem et al., 2012b).

군집주행은 차량 간 짧은 차두거리로 인하여 도로 상의 용량이 증가하고 이에 따른 교통정체 완화 효과를 가지고 있다. 예를 들어 16.7m의 3대의 트럭이 90km/h로 주행하면서 앞차와의 간격을 2초(50m)로 할 경우 대열의 길이는 약 150m이나, 0.5초(12.5m)로 군집주행을 할 경우에는 대열의 길이가 75m로 대열의 길이가 50% 수준으로 감소하여 도로의 용량이 증가되는 효과를 가진다. 교통정체 완화뿐만 아니라, 일정속도 유지로 인하여 연비 개선효과 있다. SARTRE 프로젝트(EU)에서는 군집차량 운행 시, 선행 차량은 2-8%의 연비 개선 효과가 있으며, 추종 차량은 8-13%의 연비 개선 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 군집주행은 선행 차량과 추종 차량이 휴게시간을 나누어 가지기 때문에, 휴게소에 들리지 않더라도 일정 수준의 휴게시간을 제공받는다. 따라서 군집주행으로부터 안전성 향상, 운전자 편의성 향상 등 많은 긍정적인 효과를 발생시킨다.

군집주행과 관련된 대부분의 연구는 교통정체 효과(Ploeg et al., 2011), 연료 절감(Tsugawa et al., 2011), 안전성 개선(Bergenhem et al., 2012a) 등 위에서 언급된 장점에 대해서 연구가 진행되었다. 그러나 현재 대부분의 연구는 대형 화물차만을 고려하였으며, 운반 가능한 품목은 고려되지 않았다. 현재 한국의 상황을 고려했을 때, 상대적으로 대형 화물차만을 고려하기에는 경제적 효과가 미흡한 실정이다. 또한 차량 운행 시 운송 가능 품목 역시 중요한 고려 대상이 된다. 예를 들면 액체 품목의 경우, 액체의 쏟림 현상으로 차량 간 정지거리에 영향을 줄 수 있으며, 또한 화물의 낙하가 추종 차량의 사고의 위험이 있다. 따라서 본 연구에서는 군집주행 시 운행 가능한 트럭 종류를 정의하며, 트럭 종류 정의 시 운행 가능한 품목도 함께 정의한다. 현재 군집 주행은 우선적으로 고속도로 운행을 목표로 하고 있기 때문에 본 연구에서는 고속도로를 대상으로 고려하여 분석하였으며, 현재 가능한 화물차 종류와 품목 종류만을 고려한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 공용 중이거나, 건설 및 계획 중인 전국 고속도로이다. 또한 시간적 범위는 자료 수집을 위한 기준년도인 2017년 및 2018년으로 설정하였다. 본 연구에서는 먼저 국가별 군집주행 동향을 살펴보았다. 또한 국내에서 운행 중인 화물차의 다양한 종류와 화물의 종류를 정리하였다. 그리고 정리된 화물차 및 화물의 종류 중에서 군집주행에 적합한 유형을 선정하였다. 마지막으로 결론 및 향후 연구 과제를 도출하였다.

II. 관련 이론 및 문헌 고찰

1. 화물차 군집주행 개요

화물차 군집주행은 연속된 차량들이 차간간격의 제어를 통하여 두 대 이상의 화물차가 하나의 군집을 형성하여 주행하는 것을 의미한다. 군집주행의 핵심기술은 종방향 제어 시스템(longitudinal control system)과

횡방향 제어 시스템(lateral control system)으로 이루어져 있다. 종방향 제어 시스템은 군집 내 차량들이 일정한 간격을 유지하며 주행할 수 있도록 제어한다. 횡방향 제어 시스템은 전방 차량의 주행경로를 추종하는 것과 함께 차선을 유지하도록 제어하는 시스템이다. 다음으로 군집주행은 차량의 역할에 따라 군집의 선두에 위치하여 리더역할을 수행하는 선행 차량(leading vehicle, LV)과 추종 차량(following vehicle, FV)로 구분할 수 있다. 그리고 LV의 주행경로를 FV가 추종하는 형태로 주행하게 된다. 따라서 LV는 차량에 탑승한 사람 운전자에 의해 수동으로 제어되며, FV의 운전자는 군집주행이 실행되는 동안 별도의 차량 제어를 할 필요가 없다.

군집주행 기술은 자율주행기술과 동일하게 인지, 판단, 제어의 3단계에 따라 운행이 이루어진다. 하지만 자율주행 기술은 주행 중인 도로환경을 전반적으로 인지하고 주행하지만, 군집주행 기술의 경우 전방차량을 추종하는 것을 주목적으로 한다는 차이점이 존재한다. 따라서 차량 독립제어가 아닌 연동제어를 실시함으로써 인한 군집의 대열안전성(string stability)을 유지하는 것이 중요하다. 유럽 European Road Transport Research Advisory Council(ERTRAC)은 군집주행 기술의 단계를 미국 SAE의 자율주행 기술단계와 유사하게 기술수준에 따라 정의하고 있으며, <Table 1>과 같다.

<Table 1> Level of Platooning Technology

Platooning Level	Features	Remarks
1 : CACC Truck Platooning	• Automation of Longitudinal Control	• Drivers have to ride in each vehicle
2 : Automated Truck Platooning	• Automation of Longitudinal & Lateral Control	• Drivers have to ride in each vehicle
3 : High Pilot Platooning	• Automation of Longitudinal & Lateral Control • Lane Change, Overtaking	• Unmanned Following Vehicle in Specific road

2. 국가별 군집주행 동향

본 단락에서는 국가별 군집주행 관련 정책 동향 및 기술 개발 현황을 검토하고 향후 본 연구의 적용 가능 여부를 검토 한다.

1) 정책 동향

유럽의 경우 군집주행과 관련된 연구가 활발히 진행되고 있으며, 군집주행 실증을 통한 기술검증 및 수용성(화물차운전자, 일반운전자 등) 강화 연구를 추진하고 있다. ERTRAC는 일반승용차, 화물차 등을 대상으로 총 4단계의 기술개발 과정(“Research → Demo → Regulation/Standards → Industrialization”)으로 자율주행 기술 개발 마일스톤을 정의하였다. 특히, 화물차의 경우 2019년 Cooperative Adaptive Cruise Control(CACC)를 시작으로 군집주행 기술 개발을 목표로 하고 있다. ERTRAC 로드맵 상 2019~2020년 CACC 화물차(Level 1) 군집주행 개발; 2020~2022년 자율주행화물차(Level 2) 군집주행 개발; 2022~2026년 고속도로 파일럿 군집주행(Level 3)으로 계획하고 있다. 특히 2020년 군집주행(SAE Level 2) 상용화, 2025년 multi-brand 군집주행(SAE Level 4) 상용화를 목표로 하고 있으며, 기술개발은 2020년 군집주행(SAE Level 3~4), 2025년 군집주행(SAE Level 5)을 목표로 하고 있다. EU H2020 프로그램에서 다양한 브랜드와 크기별 군집주행을 구현하기 위해 ‘Multi-brand Platooning in real traffic conditions’ ART-03-2017(Topic identifier)를 공고 중이며, multi-brand 군집주행은 2018년에 EU 지원 하에 추진될 것으로 예상되고 있다. 또한 유럽의 자동차산업계와 NGO 등으로 구성된 협의체인 GEAR2030은 군집주행에 필요한 human machine interface(HMI)와 관련한 원칙을 포함한

“The Report of the High Level Group on the Competitiveness and Sustainable Growth of the Automotive Industry in the European Union”을 통해 차량간 최소 거리 등에 대한 규제완화를 주장하고 있다.

일본의 경우, 2020년을 목표로 세계최첨단 ITS를 활용한 자동주행 시스템 구축을 목표로 하고 있으며, 2014년 6월 ‘개혁 2020’ 프로젝트와 관련하여 화물차의 군집주행을 향후 과제로 선정하였으며 경제산업성은 2016년 예산안에 화물차에 의한 군집주행에 대한 연구개발비 투자를 책정하였다. Energy ITS 사업을 통해 에너지 절감 및 온실효과 방지, 인력부족 해소를 목적으로 화물차 군집주행 기술을 개발 및 실증하였으며, 실증결과 에너지 사용량 15% 저감, 이산화탄소 배출량 2.1% 저감이 가능할 것으로 전망하였다. 일본 정부 ‘미래투자회의’는 물류업계의 심각한 인력부족을 해소하기 위해 2018년부터 신도메이(新東名) 고속도로에서 트럭 군집주행 실증을 계획하고 이를 추진 중에 있으며, 일본 군집주행 로드맵에 의하면 2021년까지 기술개발, 실증, 제도정비를 거쳐 2022년 상용화 예정(Level 3)이며, 2025년부터 Level 4를 상용화 예정이다.

미국은 부분적 자율주행 기술인 군집주행이 교통흐름 개선 및 연료절감 효과를 고려하여 군집주행에 필요한 법안 마련 중이다. 텍사스주의 경우 Peltron Technology와 협력하여 군집주행 테스트 진행하고 있으며 네바다주와 버지니아주는 규제 완화를 통해 군집주행 시험을 승인하였다. 교통부 ITS Joint Program Office(JPO)는 Automation 프로그램 기술개발을 위해 ITS전략계획(2015 ~2019년)을 수립하고 교통시스템 성능 향상 분야에서 반자동 군집주행을 추진 중에 있으며 CACC, Speed Harmonization 등은 C-ITS에서 개발된 서비스 기술을 고도화하는 것으로 교통효율성(mobility) 향상을 목적으로 하고 있다.

네덜란드 TNO 로드맵에 의하면 2020년부터 multi-brand 군집주행(Level 3)을 구현, 2025년 이후부터 모든 EU 자동차도로에서 국경 간 통과 가능성을 목표(Level 4)로 추진 중에 있다.

2) 기술 개발 동향

정책 동향에 따라서 현재 국외에서는 활발하게 군집주행이 가능한 차량 개발에 초점을 맞추고 있다. 유럽의 경우 Volvo 주도의 SAfe Road TRains for the Environment(SARTRE) 프로젝트(2009-2012) 및 유럽트럭 Platooning 챌린지 2016(볼보, 스카니아 외 4개 완성차업체 참여)에서 가장 활발한 연구 수행과제 및 상용화 수준의 기술 확보하고 하고 있다. 볼보, 리카르도 등 범유럽 자동차 7개 기업과 공동으로 2009년 9월~2012년 9월까지 SARTRE 프로젝트를 추진하였으며, 2012년 9월 스웨덴 예테보리시에 위치한 볼보 드라이빙 센터에서 운전자가 주행하는 LV 1대가 FV 3대를 리드하여 최고 90km/h, 4m 차량간격의 군집주행 연구를 수행하였다. 2016년에는 TNO 주관으로 완성차 업체는 각국의 본사 혹은 생산지를 출발점으로 네덜란드 로테르담까지 성공적으로 주행하였으며 독일의 트럭 군집주행(KONVOI)은 2005~2009년 아헨공대, 화물차 제조업체 MAN 등이 참여해 영상기반 횡방향 제어, 레이더 및 라이더를 이용한 종방향 제어를 통해 군집주행 실현하였다. 영국은 지난 2017년 8월 영국의 교통관련 연구기관인 Transport Research Laboratory(TRL) 주관으로 정부자금 약 121억원(810만 파운드)의 지원 하에 대표적인 운수업체인 DHL과 2018년 말까지 주요간선도로에서 최대 3대의 FV가 LV의 가감속 및 브레이킹 지시에 따라 군집주행을 시연할 계획이 있으며 스웨덴은 스카니아, 볼보 및 글로벌 물류기업인 쉵커 등이 참여한 Sweden4Platooning(2017~2019년)을 통해 종방향/횡방향 제어를 포함한 멀티브랜드 군집주행 시연을 진행 중에 있다. 유럽연합서 화물차 군집주행을 위해 2018년부터 2021년까지 앙상블(ENSEMBLE) 프로젝트를 진행하고 있다. 앙상블 프로젝트는 유럽 주요 트럭업체 6곳(볼보, 스카니아, 벤츠, 이베코, 르노, 만)이 참여하는 유럽연합 연구개발 프로젝트로서 다양한 브랜드의 트럭이 군집주행에 참여할 수 있도록 ‘화이트 라벨 트럭(white label truck)’ 개발이 목표다. 최근 앙상블 프로젝트에서는 화물차 군집주행과 관련된 운영설계영역(operational design domain, ODD), V2X 통신 프로토콜, 기능 상세, 사용 사례 등과 관련된 문서를 공개한 바 있다. 하지만, 이 공개된 보고서들에서도 군집주행에 적합한

화물차 및 화물 품목에 대한 연구는 구체적으로 제시되어 있지 않다(Willemsen et al., 2018).

아시아에서는 Japan Automobile Research Institute(JARI)가 2008-2012년 화물차를 대상으로 4대의 차량이 4m의 간격을 유지한 채, LV는 차선을 인식하면서 자동으로 주행하고, FV들은 이를 추종하는 방식의 군집주행을 실현하였다. 또한 일본 내 자율주행 로드맵을 발표하였으며 2018년 고속도로에서의 군집주행 데모를 시작으로 2022년 이후 FV에 운전자가 없는 상태의 군집주행 상용화를 계획하고 있다고 밝혔다. 싱가포르는 2단계에 걸쳐 트럭 군집주행 연구를 추진 중으로, 현재 1단계에 도요타, 스카니아를 참여시켜 군집주행 기술 개발 경쟁을 진행 중에 있으며 중국 베이징에 본사를 둔 TuSimple사는 카메라와 레이더, 인공지능을 결합한 군집주행 기술을 기반으로 미국 투산(Tucson)-피닉스(Phoenix)를 잇는 트럭 군집주행 실증사업에 참여하기 위해 미국 투산에 연구소를 설립하였다.

미국은 1991년에 Automated Highway System(AHS) 계획을 시작하여 1997년에 대규모의 자동운전의 시범이 이루어졌으며, 캘리포니아의 PATH(2000-2011년)는 에너지 효율 향상을 목적으로 레이더, 라이다와 V2V 통신을 이용한 종방향 제어를 통해 폐쇄된 실제 도로 환경에서 군집주행 시연하였다. 캘리포니아 PATH는 ADAS 및 V2V기술 기반 2003년 2대, 2010년 3대의 화물차량으로 최소 3~4m 간격으로 합류 및 이탈제어를 포함한 군집주행을 시연하였으며, 이를 통해 연료절감 효과 등을 검증하였고 향후 FHWA의 주관 하에 불보 차량을 이용한 신규 프로젝트를 계획 중에 있다. 2015년 말 미국 유타주 교통당국은 펠로톤(Peloton)사가 개발한 군집주행 기술의 필드테스트를 틀레 카운티를 지나는 I-80 도로에서 세미 트레일러 트럭 두 대로 진행하였으며 TTI(Texas A&M Transport Institute)는 텍사스 교통부(Texas DOT, TxDOT)와 FHWA로부터의 지원과 민간영역의 파트너십을 통해 군집주행 프로젝트(0-6836)를 추진하고 있으며, LV는 수동운전을 하며 FV는 레벨 2 자율주행으로 군집대열 주행하였다.

3) 국내 동향

국내의 경우, 미래성장동력 발굴·육성계획 수립 및 13대 미래성장동력 확정(2014.3.19, 제11차 경제관계장관회의)을 통해 ‘스마트(자율주행)자동차’를 13개 미래성장동력(9개 전략사업, 4대 기반사업) 중 주력산업 고도화를 위한 1순위 전략사업으로 선정하였으며, 국토교통 R&D 중장기 전략에 의하면 차량 간, 차량-도로 간 통신 및 위치정보 빅데이터의 효율적 관리를 통해 안전하고 막힘이 없는 자율주행도로 구현이 3대 중점 프로젝트로 선정하였다. 또한 제3차 규제개혁장관회의에서는 ‘자율주행 자동차 상용화 지원방안’(2015.5.)으로 2020년 자율주행자동차(일부 Level 3) 상용화를 정책목표로 확정하였으며, 관련 산업을 활성화 하고 자동차 안전도를 높여 국민의 신체와 재산을 보호할 필요가 있는 분야로 성격상 민간분야보다는 국가 정책에 의해 계획되고 추진되어야 소기의 목적 달성이 가능하다고 발표하였다. 그리고 제5차 규제개혁장관회의에서는 자율주행자동차 상용화 지원을 위한 규제혁신(2016.5.)으로 단계별 목표, 정부지원 및 이벤트에 대한 추진일정을 제시하고 각 세부 과제별 추진일정 및 소관부처를 명시하였다

그러나 자율주행자동차 핵심기술개발사업(예타사업)의 연구개발 성과(8대 부품, 2대 서비스)와 융합신 기술을 접목하여 산업 활성화 및 신시장 개척을 위한 융합서비스 분야는 기본 성능 및 기술의 타당성을 탐색하는 수준이며 도로 인프라와 차량과 연계된 커넥티드 기반의 C-ITS 시범사업이 현재 진행 중이나, 교통인프라 정보를 활용한 운전자 편의를 지원하기 위한 수준으로 인프라와 차량 간 정보교환 기술 구현 수준이다.

Ⅲ. 화물차의 종류

현재 국내에서는 두 대 이상 차량이 확정된 경로를 기반으로 한 상용 화물차 군집주행 기술은 국내 완성차업체 기술수준이 부족하여 아직까지 시도되지 못하고 있으나, 최근 국내 제작사는 해외 기술동향을 고려하여 군집주행 기술 등의 구현을 시도 중에 있다. 이에 대한 초기연구로서 운행 가능한 트럭 종류와 화물 종류를 정의할 필요가 있다. 먼저 본 단락에서는 군집주행 실현가능한 트럭에 대해서 검토한다. 먼저 자동차관리법, 교통량 조사 시에 대한 화물차 구분에 대해서 검토한다.

1. 자동차관리법

차량은 「자동차관리법」 제2조에 따라 승용자동차, 승합자동차, 화물자동차, 특수자동차, 이륜자동차로 구별한다. 이 중 화물자동차는 ‘화물을 운송하기에 적합한 화물적재공간을 갖추고, 화물적재공간의 총적재화물의 무게가 운전자를 제외한 승객이 승차공간에 모두 탑승했을 때의 승객의 무게보다 많은 자동차’로 정의하고 있다.

「자동차 관리법 시행규칙」 별표 1에 의하면 현재 자동차는 규모별과 유형별로 규정하고 있으며 화물차와 관련된 세부 기준은 <Table 2> 및 <Table 3>과 같다.

<Table 2> Detail Criteria of Truck Types by Size

Types by Size		Detail Criteria
Small-sized	Super Small	Less than 250cc (15kW maximum rated output in electric vehicles), 3.6m in length, 1.5m in width and 2.0m in height
	Normal	Less than 1,000cc and less than 3.6 meters in length, 1.6 meters in width and 2.0 meters in height
Light		Maximum loading of not more than 1 ton and a total weight of not more than 3.5 tons
Medium		Maximum loading greater than 1 ton and less than 5 tons, or gross weight greater than 3.5 tons and less than 10 tons
Heavy		Maximum loading more than 5 tons or gross weight more than 10 tons

<Table 3> Detail Criteria of Truck Types by Usage


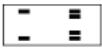

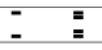


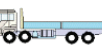


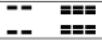
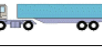

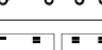
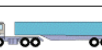
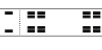
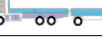




Types by Usage	Detail Criteria
Normal	Truck for ordinary cargo transportation
Dump	Truck with a structure that slides the load easily by gravity by tilting the loading box with the power of the prime mover
Van	Trucks with roof cover
Special Purpose	Truck, which have a special construction or special arrangement for a particular use and do not belong to any of the above types.

2. 교통량 조사에 의한 화물차 구분

현재 고속국도, 일반국도, 국가지원지방도, 지방도의 교통량을 조사하여 도로의 계획과 건설, 유지관리 및 도로행정 등에 필요한 기본 자료와 각종 연구에 필요한 기초 자료를 제공하기 위해서 교통량조사를 차종별

로 집계 하고 있다. 『자동차 관리법』에서 제공하는 화물차 종류뿐만 아니라, 교통량 조사 시 사용되는 차종별 검토를 통하여 다각도로 군집주행 시 이용 가능한 차량 종류를 검토한다. 교통량 조사 시 차종 분류는 <Table 4>에서 보인 바와 같이 12종 차종 분류, 11종 차종 분류 그리고 8종 차종 분류로 구분하고 있으며, 12종 차종 분류에 의하면 화물차의 경우 3종부터 12종으로 구성되어 있다.

<Table 4> Classification of Trucks by 12 Types

Types of Trucks		Classification Criteria		Representative Shape	Definition of Truck Type
		No. of axial	Unit	Axle arrangement	
Type 3	Small-sized truck A	2	1		Cargo truck, one-unit vehicle with a maximum load of 1 to 2.5 tons on two axes
					
Type 4	Small-sized truck B	2	1		Cargo truck, one-unit vehicle with a maximum load of 2.5 axes
					
Type 5	Medium-sized truck A	3	1		Cargo truck, 3-axle & 1 unit
					
Type 6	Medium-sized truck B	4	1		Cargo truck, 4-axle & 1 unit
					
Type 7	Medium-sized truck C	5	1		Cargo truck, 5-axle & 1 unit
					
Type 8	Large-sized truck A	4	2		4-axle & two-unit vehicle in semi-trailer form for cargo transportation
					
Type 9	Large-sized truck B	4	2		4-axle & two-unit vehicle in full-trailer form for cargo transportation
					
Type 10	Large-sized truck C	5	2		5-axle & two-unit vehicle in semi-trailer form for cargo transportation
					
Type 11	Large-sized truck D	5	2		5-axle & two-unit vehicle in full-trailer form for cargo transportation
					
Type 12	Large-sized truck E	6	2		More than 6-axle & two-unit vehicle in semi-trailer form for cargo transportation
					

3. 낙하물 위험

현재 우리나라는 선진국에 비해서 화물차에 대한 적재기준은 명확히 나타나지 않고 있다. 단지 『도로교통법』 제39조 4항에 의해서 ‘모든 차의 운전자는 운전 중 실은 화물이 떨어지지 아니하도록 덮개를 씌우거나 묶는 등 확실하게 고정될 수 있도록 필요한 조치를 하여야 한다’라고 규정하고 있다. 적재물 안전조치불량 교통사고는 2012~2016년까지 718건이 발생하고, 이로 인한 사망자는 10명, 부상자는 1,090명인 것으로 나타났다. 승용차, 승합차 및 이륜차에서는 교통사고가 거의 발생하지 않았으며, 전체 적재물 안전조치불량 교통사고에서 화물차가 차지하는 비중은 발생건수는 73.5%, 사망자수는 80.0%, 부상자수는 74.0%로 다른 차종에 비해 매우 높았다. 화물차는 앞서 언급한대로 화물의 운송이 주된 이용 목적이며, 구조적으로 적재함이 있으므로 다른 차종에 비해 적재된 화물의 낙하로 인한 사고의 발생위험이 높을 수밖에 없을 것으로 보인다. <Table 5>는 적재물 안전조치 불량으로 인한 교통사고의 연도별 추이를 보여주고 있다(Ryu et al., 2017).

<Table 5> Traffic Accidents due to Poor Load Safety Measures

Year	Type	Passenger car	Bus	Truck	Special Usage car	Two-wheel car	Unknown	Sum
2012	Accidents	0	2	103	18	3	16	142
	Casualty	0	0	3	0	0	0	3
	Injury	0	2	150	30	4	25	211
2013	Accidents	2	1	87	24	1	8	123
	Casualty	0	0	1	0	0	0	1
	Injury	2	3	145	37	1	11	199
2014	Accidents	1	2	108	15	0	18	144
	Casualty	0	0	1	2	0	0	3
	Injury	2	7	160	21	0	23	213
2015	Accidents	1	0	134	16	2	14	167
	Casualty	0	0	2	0	0	0	2
	Injury	1	0	223	28	3	18	273
2016	Accidents	1	1	96	19	1	24	142
	Casualty	0	0	1	0	0	0	1
	Injury	3	1	129	28	1	32	194
Sum	Accidents	5	6	528	92	7	80	718
	Casualty	0	0	8	2	0	0	10
	Injury	8	13	807	144	9	109	1,090
Ratio (%)	Accidents	0.7	0.8	73.5	12.8	1.0	11.1	100
	Casualty	0	0	80	20	0	0	100
	Injury	0.7	1.2	74.0	13.2	0.8	10.0	100

화물차 적재물 안전조치불량 교통사고를 도로종류별로 구분해서 살펴보면 지난 5년간 특별광역시도에서 20.6%, 일반국도와 시도에서 각각 19.7%, 지방도에서 18.4%, 고속도로에서 15.7%가 발생하여 군도를 제외하고는 도로종류별로 큰 차이가 없었다. 오히려 사망자는 주로 일반국도에서 많이 발생하고 있어 고속도로에서 사고와 사망자가 집중적으로 발생하는 것은 아니었다. 반면 부상자는 고속도로에서 20.6%, 일반국도에서 20.2%, 특별광역시도에서 18.6%, 시도에서 18.5%, 지방도에서 17.5%의 순으로 나타났다(Ryu et al., 2017).

최근 10년간 고속도로에서 낙하물(노면잡물)로 인해 발생한 교통사고는 증가하다가 2013년도에 64건으로 최고치를 기록하고 최근에는 소폭 감소하였다. 최근 10년간 391건이 발생하고, 사상자수는 108명이었다. 해당 기간 사망자는 1명으로 낙하물 사고로 인해 사망자 보다는 주로 부상자가 발생하고 있다. <Table 6>은 최근 10년간 고속도로 낙하물 교통사고로 인한 사고건수, 부상자수, 사망자수를 보여주고 있다(Ryu et al., 2017).

<Table 6> Traffic Accidents due to Fallen Object on Expressways

Year	Accidents	Casualty	Injury
2007	28	0	8
2008	28	0	7
2009	37	0	6
2010	20	0	1
2011	33	0	24
2012	44	0	17
2013	64	0	16
2014	43	1	14
2015	48	0	8
2016	46	0	6
total	391	1	107

고속도로 화물차의 적재함에 대한 조사결과, 개방형 적재함 화물차 9,692대(55.4%, 적재함에 화물이 적재되지 않은 공차 3,138대 포함), 폐쇄형 적재함 화물차 7,807대(44.6%)로 개방형 적재함 화물차가 약 10% 정도 더 많았다. 화물차 종별 개방형 적재함 비율은 소형 화물차가 6,240대(67.3%, 공차 2,396대 포함)로 가장 높았고, 중형 화물차 2,577대(47.5%, 공차 416대 포함), 대형 화물차 875대 (31.3%, 공차 326대 포함) 순이었다. 비록 개방형 화물차가 조금 더 높은 비율을 차지했지만, 낙하물 위험이 있으며, 해외 사례를 검토한 결과 현재 시험 운행 중인 화물차는 낙하물 위험을 방지하기 위한 폐쇄형 화물차 형태로 운행 중인 것으로 검토되었으며, 우리나라 역시 낙하물 위험을 방지하기 위한 폐쇄형 화물차가 군집주행에 알맞은 화물차로 검토되어진다.

IV. 화물의 종류

1. 화물 분류

화물은 산업의 발달과 분류 기준에 따라 다양하게 분류될 수 있는데, 우리나라에서는 통계청의 한국표준산업분류(Korean Standard Industrial Classification, KSIC)에 의거하여 8개 산업 60개 업종으로 분류하고 있다. 우리나라의 화물수송통계를 담당하는 KTDB센터에서는 한국표준산업분류를 참고하여 총 32개 품목으로 화

물을 구분하고 있으며, 이를 다시 7개 품목으로 대분류하고 있다.

- 1) 농림수축산품 : 농산물, 축산물, 임산물, 수산물
- 2) 광산품 : 석탄광물, 석회석광물, 원유 및 천연가스, 금속광물, 비금속광물
- 3) 경공업품 : 음식료품, 담배제품, 섬유제품(외복제외), 의복, 가죽/가방/ 신발제품 및 모피제품
- 4) 잡공업품 : 목재 및 나무제품(가구 제외), 펄프/종이 및 종이제품, 인쇄 및 기록매체, 출판물
- 5) 화학공업품 : 코크스/석유정제품 및 핵연료 제품, 화합물 및 화학제품(의약품 제외), 의료용 물질 및 의약품, 고무 및 플라스틱제품, 비금속광물 제품
- 6) 금속기계공업품 : 제1차 금속 제품, 금속가공제품 제품(기계 및 가구 제외), 전자부품/컴퓨터/영상/음향 및 통신장비 제품, 전기장비 제품, 의료/정밀/광학기기 및 시계, 자동차 및 트레일러 및 관련 제품, 기타 운송장비 및 관련 제품
- 7) 기타 : 가구 제품, 우편물, 폐기물, 택배화물, 이산화물, 기타

2. 도로 화물 물동량

2016년 기준, 국내 화물물동량은 약 19억 7천만 톤이며, 수송 분담율은 도로가 약 91%로 가장 높으며, 그 다음으로는 해운, 철도, 항공 순이다. 통계청에서 발표되는 공식적인 고속도로 화물 물동량의 수치는 없으나, Korea Expressway Corporation Research Institute(2018) 자료에 의하면 고속도로는 도로 전체 물동량의 약 60%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 도로의 품목별 물동량을 살펴보면, 화학공업품이 전체 물동량의 26.41%로 가장 높은 비중을 차지하였고, 그 뒤로 광산품이 20.89%, 금속기계공업품이 19.18% 순이다. <Table 7>은 2015년 기준 대분류 품목별 도로화물 물동량 통계를 보여주고 있다(KOTI, 2016).

<Table 7> Road Freight Volume by Category as of 2015

Types		Code	Volume(ton/year)	Ratio(%)
Agriculture and forestry, marine products, livestock industry	1. Agriculture and forestry, marine products, livestock industry	Category 1~4	50,919,866	2.89
Mining industry	2. Mining products	Category 5~9	367,979,337	20.89
Manufacturing industry	3. Metal machinery industrial products	Category 22~29	337,779,195	19.18
	4. Chemical products	Category 18~21	465,074,649	26.41
	5. Light industrial products	Category 10~14	74,686,560	4.24
	6. Miscellaneous industrial products	Category 15~17	161,028,001	9.14
	7. Others	Category 30~31	36,641,058	2.08
Wholesale industry			100,753,297	5.72
Container			166,455,648	9.45
Sum			1,761,290,611	100.00

3. 정지거리

정지거리는 군집주행 시 사고 각 차간거리를 결정하는 중요한 요소가 될 수 있다. 현재 미국의 경우 화물차 중량은 80,000파운드(36톤)로 제한하고 있다. 승용차의 경우 약 4000파운드(1.8톤)의 중량을 가지고 있으

며, 이 경우 65마일/시(104km/시) 속도로 주행 시 약 316피트(96미터)의 거리가 요구되며, 80,000파운드의 화물차 약 525feet(160미터)의 정지거리가 요구된다. 따라서 돌발상황이 발생할 경우 군집주행의 FV 모두 사고에 노출될 수 있다.

위에서 정의한 정지거리는 단순히 평균에 의한 결과 값이며 화물차의 종류와 화물 종류를 고려하지 못하고 있다. 소형 화물차가 액체류를 운반 시 정지거리는 상대적으로 늘어날 수 있으며, 위험물 운반 시 큰 사고로 연결될 가능성이 존재한다. 현재 Korea Expressway Corporation Research Institute(2018)에 의하면, 고속도로 위험물질 수송량은 일평균 약 46,211대/일로 나타났다. 위험물질 품목별로는 인화성 액체인 석유류가 가장 많고, 그 다음으로 가스류가 많은 것으로 나타났다. <Table 8>은 한국도로공사 영업소에서 조사된 위험물질 품목 비율을 보여주고 있다(Korea Expressway Corporation Research Institute, 2018).

<Table 8> Percentage of dangerous goods items

Types	Ratio(%)	Description
Type 2	34.4	Gas flow
Type 3	53.9	Flammable liquid
Types 8	3.2	Corrosive material
Unmarked	6.9	The item, which is not marked on it or truck
Type 1, 4, 5, 6, 9	1.5	Chemicals, flammable solids / spontaneous flammable substances / water in contact with flammable gases, oxidizing substances / organic peroxides, toxic / infectious substances, other dangerous substances
Sum	100	-

참고로, 현재 우리나라의 위험물 분류는 위험물안전관리법에 의해 6류로 구분되며, 이는 일본의 분류체계와 동일하다. 유럽은 UN의 IMDG(International Maritime Dangerous Goods) Code에 의해 위험물질을 9가지 종류로 분류하고 있으며, 미국 교통부(U.S. Department of Transportation)는 화약류, 방사성 물질 등의 사고발생시 피해 영향권별로 분류하여 총 14종으로 구분하고 있다. 국내 「위험물안전관리법」상 위험물 분류는 고체와 액체상태의 물질만을 명시하고 있으며, 외국과 달리 폭발성 물질 및 독성가스 등은 위험물의 범위에 포함하고 있지 않아 관리상 한계점으로 제시되고 있어, 최근 UN 분류체계인 9종 분류체계로의 변화가 논의되고 있다. 따라서 본 논문에서는 보다 범용적인 위험물질을 확인하기 위해 UN의 분류체계인 9류 위험물질 분류체계를 적용하였다.

위험물질 수송량은 일평균 약 46,211대/일로 나타났지만, 군집주행의 사고는 일반차량의 사고보다 더 큰 사고로 연결될 수 있기 때문에, 액체류와 산업안전보건기준에 관한 규칙 별표1에서 정의하는 위험물질들은 군집주행에 배제하는 것이 필요하다. 또한 이러한 사항을 법·제도를 기반으로 규제할 필요가 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

현재 해외뿐만 아니라 국내에서도 교통정체 효과 개선, 연료절감, 화물차 운행의 안전성 개선을 위해서 군집주행에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 대부분의 연구는 자동차 개발 및 통신기술 개발에 초점

을 맞추고 있다. 하지만 실제 도로를 주행하기 위해서는 운행에 대한 안전성 확보가 필요하다. 단일 차량 운행에 비해서 군집차량 운행은 군집 내 차량 한 대의 돌발상황으로 인하여 군집내의 모든 차량의 사고로 이어질 수 있기 때문에 실제 운행에 앞서서 더 많은 신중이 요구된다. 또한 군집주행 안에서의 사고는 철도사고와 같은 대형사고로 이루어 질 수 있다. 본 연구는 자동차 개발 및 통신기술 개발뿐만 아니라 운행 안전사고를 예방하기 위한 정책적 제언 연구로서, 군집주행에 대한 화물차 종류 및 화물 종류에 대해서 검토하였다. 기초 연구로서 향후 자세한 연구가 필요하나, 낙하물 사고를 사전에 예방하기 위해서 폐쇄형 화물차 도입이 필요한 것으로 나타났으며 화물 물품 역시 중요한 고려대상이 된다고 기술하였다. 특히 위험물 화물의 경우, 대형 사고로 이어질 수 있기에, 군집주행에서 배제될 필요가 있는 것으로 기술하였다.

2. 향후 연구과제

향후 차량 종류에 따른 화물 종류에 대한 정지거리 분석이 필요하며 또한 군집주행에서 요구되어지는 화물차의 종류 및 화물 종류에 대한 법적 제도가 필요할 것으로 사료된다. 최근 유럽의 앙상블(ENSEMBLE) 프로젝트에서 공개한 문서에서 이러한 부분에 대한 연구결과가 제시된 바, 국내 기술을 기반으로 이러한 기준에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 향후에는 화물자동차와 품목을 선정하는 의사결정과정을 표와 순서도 등으로 표현하거나 최소한 고려사항이 무엇인지를 제시하고 각 대안을 평가하여 종합적으로 의사결정 과정을 할 수 있는 체계를 갖출 필요가 있다. 또한 화물차량의 낙하물 위험성 뿐만 아니라 화물차량의 형태별 가감속 등 운동 성능뿐만 아니라 군집주행 센서 및 V2X의 성능에 따른 군집주행 측면의 용이성에 대해 분석하는 것도 필요할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 논문은 국토교통부 교통물류연구사업 'V2X기반 화물차 군집주행 운영기술 개발(과제번호 : 19TLRP-B147674-02)' 과제 지원에 의해 작성되었습니다. 본 논문은 한국ITS학회 2019년 춘계학술대회에서 발표된 내용을 기반으로 작성되었음을 밝힙니다.

REFERENCES

- Bergenheim C., Hedin E. and Skarin D.(2012), "Vehicle-to-Vehicle Communication for a Platooning System," *Transport Research Arena - Europe*, 23-26 April, 2012, Athens.
- Bergenheim C., Huang Q., Benmimoun A. and Robinson T.(2010), "Challenges of Platooning on Public Motorways," *17th World Congress on Intelligent Transport Systems*.
- Bergenheim C., Shladover S., Coelingh E., Englund C. and Tsugawa S.(2012), "Overview of Platooning Systems," In *Proceedings of the 19th ITS World Congress*.
- Korea Expressway Corporation Research Institute(2018), *A Study on the Management of Highway Dangerous Goods Transport Vehicles(II)*.
- KOTI(2016), *National Cargo O/D Supplemental Renewal 2016 National Traffic Survey and DB Construction Project*.

- Ploeg J., Serrarens A. and Heijenk G.(2011), “Connect & Drive: Design and Evaluation of Cooperative Adaptive Cruise Control for Congestion Reduction,” *Journal of Modern Transportation*, vol. 19, no. 3, pp.207-213.
- Tsugawa S., Kato S. and Aoki K.(2011), “An Automated Truck Platoon for Energy Saving,” *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2011*.
- Willemsen D., et al.(2018), Requirements Review from EU projects, D2.1 of H2020 project ENSEMBLE.
- Yu S. J., Jeong M. K., and Lee S. W.(2017), “A Study on the Highway Entry Control Scheme of Load Cargo Open Freight Truck,” KOROAD.
- GCDC homepage: www.gcdc.net.
- KONVOI project: www.ika.rwth-aachen.de/pdf_eb/gb6-24e_konvoi.pdf.
- SARTRE homepage: www.sartre-project.eu.