

# 버스 실사고 데이터 구축을 통한 대표 버스충돌유형 분석 연구

김형준\* · 장정아\*\* · 이인식\* · 이용주\*\*\* · 오세창\*\*\*\*

A Study on the Analysis of Representative Bus Crash Types  
through Establishment of Bus In-depth Accident Data

Hyung Jun Kim\*, Jeong Ah Jang\*\*, Insik Lee\*, Yongju Yi\*\*\*, Sei Chang Oh\*\*\*\*

*Key Words:* Bus repair record(버스 수리 내역), Factors affecting bus crashes(버스 사고 영향요인), K-means clustering (K-평균 군집분석), Bus crash type(버스충돌유형)

## ABSTRACT

In this study, crash situations of representative bus crash types were elicited by analyzing a total of 1,416 bus repair record which were collected in 2018~2019. K-means clustering was used as a methodology for this study. Bus repair record contain the information of repair term, type of bus operation, responsibility of accident, weather condition, road surface condition, type of accident, other party, type of road and type of location for each data. Also, by checking collision parts of each bus repair record, each record was classified by types of collision regions. From this, 760 record are classified to frontal type, 363 record are classified to middle-frontal type, 374 record are classified to middle-rear type and 331 record are classified to rear type. As mentioned, k-means clustering was performed on each type of collision parts. As a result, this study analyzed the severity of bus crash based on actual bus accident data which are based on bus repair record not the crash data from the TAAS. Also, this study presented crash situation of representative bus crash types. It is expected that this study can be expanded to analyzing hydrogen bus crash and defining indicators of hydrogen bus safety.

## 1. 서론

2019년 1월 정부는 수소경제 활성화 로드맵을 통해 친환경 대중교통 확대 정책의 일환으로 2022년까지 2,000

대, 2040년까지 40,000대 수소버스 보급의 목표를 제시하였다. 수소 생태계 구축 및 확대에 따라 수소버스 안전성 관련 연구에 대한 관심이 높으나 관련 국내 연구는 상대적으로 미흡한 상황이다. 대중교통의 안전성 미확보 시 여러 가지 문제를 야기할 수 있다. 일례로 2010년 서울 행당동 CNG 버스 폭발사고로 인해 2010년까지 일부 마을버스를 제외한 서울특별시 내 시내버스를 모두 CNG 버스로 교체하려던 계획이 4년 지연된 사례가 존재한다. 마찬가지로, 수소버스도 운행 안전성이 보장되지 않으면 도입계획이 지연되거나 미추진될 수 있다. 따라서, 수소버스의 안정적 도입을 위해서는 운행에 따른 교통

\* 아주대학교 교통시스템공학과 석사과정

\*\* 아주대학교 TOD 기반 지속가능 도시교통 연구센터 연구부교수

\*\*\* 아주대학교 TOD 기반 지속가능 도시교통 연구센터 연구조교수

\*\*\*\* 아주대학교 교통시스템공학과 교수

E-mail: azang@ajou.ac.kr

사고 문제 및 버스 안전성에 대한 지속적인 관심이 필요하다.

국내 버스 관련 사고데이터 연구사례의 경우, 교통사고 분석시스템(TAAS)에서 제공하는 교통사고 데이터를 기반으로 분석한 사례는 일부 존재한다. 그러나 TAAS 제공 사고데이터로는 버스 사고의 파손부위, 파손심도 등을 확인하기 어려워 버스 자체의 사고심각도 등을 확인하기에는 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 버스 사고 사진이 포함된 버스 사고 수리 내역을 기반으로 버스 사고데이터를 구축하여, 버스충돌유형 분석을 실시하였다. 본 연구 결과는 향후 버스 사고 시나리오 구축 및 수소버스 도입에 따른 수소 버스 안전성 지표 설정 시 기반 데이터로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

## 2. 관련 연구 고찰

### 2.1. K-평균 군집분석

군집분석은 주어진 데이터들의 특성을 고려하여 데이터 집단인 군집을 정의하고 각 데이터 집단을 대표할 수 있는 대표점을 찾는 데이터마이닝의 한 방법으로, 클러스터링 분석이라고도 한다. 군집분석은 수백만 개의 데이터를 직접 확인하지 않고 각 클러스터의 대표값을 확인하는 것만으로도 전체 데이터의 특성을 파악할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서 활용한 K-평균 군집분석은 MacQueen (1967)이 최초로 제안한 방법으로, 주어진 데이터를 k개의 군집으로 묶어 각 군집 간 거리 차이의 분산을 최소화하는 방법이다.<sup>(1)</sup>

K-평균 군집분석의 순서를 단계적으로 살펴보면 첫째로, 초기 중심 값을 랜덤하게 선택한다. 둘째로, 각 그룹의 중심 값과 그룹 내 각 데이터 간 거리를 식 (1)과 같이 유클리디안 거리를 이용하여 계산하고, 이 값이 최소가 되는 군집에 해당 데이터를 할당한다. 셋째로, 군집마다 새로운 중심값을 산출하고, 이를 기반으로 다시 새롭게 형성된 군집에 대한 데이터를 할당한다. 이 과정을 반복함으로써 최종 군집을 형성하게 된다.<sup>(2)</sup>

$$\begin{aligned} & \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} \\ & = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $p_n$  = P점의 좌표

$q_n$  = Q점의 좌표

또한, K-평균 군집분석을 위해서는 군집의 수(k)를 군집분석 전에 산출해야 한다. 군집의 수 산출 방법론으로는 rule of thumb, elbow method, 정보 기준 접근법(information criterion approach) 등이 있다. Rule of thumb 방법론은 데이터의 수가 n이라 가정할 때,  $k \approx \sqrt{n/2}$ 의 식을 활용하여 k값을 계산하는 가장 간단한 방법이다. Elbow method는 군집의 수를 순차적으로 늘려가면서 군집분석 결과를 모니터링한 후, n+1이 n보다 더 나은 결과를 나타내지 않는다면 n을 군집의 수로 채택하는 방법이다. Elbow method는 적정 군집의 수 n을 그래프를 통해 시각적으로도 확인할 수 있다. 정보 기준 접근법은 군집 모형에 대한 우도 계산이 가능할 때 사용하는 방법으로, 베이저안 정보 기준 등을 활용할 수 있다.

### 2.2. 선행연구 검토

Anderson(2009)은 1999년~2003년 영국 런던에서 발생한 도로 교통사고 데이터를 기반으로 런던시 내 사고다발지점을 도출하였다. 사고데이터 분석을 위해 GIS (Geographical Information Systems)와 커널 밀도 함수 등의 방법론을 활용하였고, 사고다발지점 유형 분류를 위해 K-평균 군집분석 방법론을 활용하였다. 분석 결과, 사고다발지점에 대한 5개 그룹, 15개 군집이 형성되었다. 이 연구는 분석 결과를 기반으로 자전거 이용자의 안전도 제고를 위해 자전거 이용자 헬멧 착용 의무화, 자전거 전용차로 도입 활성화 등 런던시 내 교통안전 제고를 위한 정책 방안을 제안하였다.<sup>(3)</sup>

Kaplan and Prato(2012)는 2005년부터 2009년 사이에 미국 NHTSA에서 수집한 NASS-GES 버스 사고 데이터에 순서형 로짓모형을 적용하여 미국 내 버스사고심각도의 위험요인을 분석하였다. 분석 결과, 운전자가 25세 미만인 경우, 운전자가 55세 이상인 경우, 여성 운전자인 경우, 주행속도 65mph 이상 또는 20mph 미만인 경우, 교차로 구간인 경우 등의 상황에서 사고심각도가 증가하는 것을 확인하였다.<sup>(4)</sup>

Chu(2013)는 2005년~2011년 대만 경찰에서 제공하는 교통사고 보고서 및 사고데이터를 기반으로 고속도로 장거리 주행에 투입되는 하이데커 버스 사고심각도의 주요 요인을 순서형 로짓모형을 활용하여 분석하였다. 분석 결과, 운전자가 피로한 경우, 버스 운전자 또는 승객이 안

전벨트를 미착용한 경우, 난폭운전한 경우, 음주운전한 경우, 새벽 시간대 발생한 사고인 경우, 인터체인지 램프에서 발생한 사고인 경우 등이 부상 정도에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.<sup>(5)</sup>

Prato and Kaplan(2014)의 연구에서는 버스 사고심각도 분석을 위해 2002년부터 2011년까지 덴마크 내에서 발생한 버스 사고데이터에 로지스틱 회귀분석을 적용하였다. 분석 결과, 교통약자 개입 사고인 경우, 도로 제한속도가 높은 경우, 야간에 발생한 사고인 경우, 고령운전자 개입 사고인 경우, 신호위반 사고인 경우 사고심각도가 높아지는 것으로 나타났다. 또한, 이 연구에서는 버스 승객의 부상심각도를 분석하였는데, 버스 승객의 부상심각도는 중차량과 충돌한 경우, 신호위반한 경우, 개방된 공간에서 발생한 사고인 경우, 도로의 제한속도가 높은 경우, 젖은 노면에서 발생한 사고인 경우 심각도가 높았다.<sup>(6)</sup>

Feng et al.(2016)의 연구에서는 2006년~2010년 수집된 BIFA(Buses Involved in Fatal Accidents) 데이터에 순서형 로짓모형을 접목하여 미국 내 여러 유형의 운전자에 대한 버스 사고심각도 위험요인을 조사하였다. 이 연구에서는 운전자 유형 분류 방법론으로 K-평균 군집분석 방법을 채택하였다. 분석 결과, 사고 위험요인으로는 운전자 면허 종류, 사고 발생 요일, 관여 차량 수, 토지 이용, 충돌 방식, 속도 제한, 결빙 노면 등으로 나타났다. 또한, 도로교통법을 위반한 이력이 있는 운전자 영향요인으로는 도로 구간 유형, 차로 수, 도로 종단, 젖은 노면, 자전거 이용자 대 버스 사고인 경우 등으로 나타났다.<sup>(7)</sup>

빈미영과 손슬기(2018)는 2014년~2016년 경기도 31개 시·군에서 발생한 버스 사고데이터를 분석함으로써 버스 운전자 성별이 사고심각도에 미치는 영향요인을 규명하였다. 의사결정나무 모형으로 성별 채택 변수를 검토 후, 순서형 로짓모형으로 사고심각도를 분석하였다. 분석 결과, '신호위반', '차대차 사고'가 사고심각도에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.<sup>(8)</sup>

Sam et al.(2018)의 연구에서는 버스 사고심각도 영향요인 도출을 위해 2011년~2015년에 가나 쿠마시의 BRRI(Building and Road Research Institute)에서 수집한 버스 및 미니버스 사고데이터를 순서형 로짓모형을 활용하여 분석하였다. 그 결과, 주말 발생 사고인 경우, 도로 중앙 분리대 미설치 도로인 경우, 야간 발생 사고인 경우, 곡선 구간인 경우, 젖은 노면인 경우 등이 사고심각도 영향요인으로 나타났다.<sup>(9)</sup>

윤상원 등(2018)은 2010년~2014년에 수집된 도로교통공단의 교통사고분석시스템(TAAS)의 버스 관련 사고데이터를 대상으로 버스 운송사업 유형별 사고심각도 영향요인을 분석하고자 하였다. 분석을 위해 순서형 프로빗 모형을 통계적 모형으로 선정하였다. 분석 결과, 시내버스는 사고발생 시간대, 속도, 도로선형, 노면상태, 신호기 유무가 영향을 미치는 요인으로 나타났고, 시외/고속버스는 속도, 노면상태, 안전벨트 착용 유무, 도로 등급이 영향을 미치는 요인으로 나타났으며, 전세버스는 사고발생 시간대, 운전경력, 속도, 노면상태, 안전벨트 착용 유무, 신호기 유무, 사고발생 요일이 영향을 미치는 요인으로 나타났다.<sup>(10)</sup>

선행연구 검토를 통해 기존 버스 사고심각도 분석은 대부분 사고심각도를 종속변수로 하고, 순서형 로짓모형, 로지스틱 모형 등의 통계적 모형을 활용하여 사고심각도 요인을 도출하였음을 알 수 있었다.

### 3. K-평균 군집분석을 이용한 사고데이터 분석

#### 3.1. 버스 실 사고데이터 구축

본 연구에 사용한 실 사고데이터는 2018년~2019년 1급 버스정비소의 내부 사고데이터 중 버스 파손 부위를 확인할 수 있는 버스 사진이 포함된 1,416개의 사고데이터를 기반으로 구축하였다.

사고심각도 지표는 사고 수리 비용(Repair Cost)으로 한다. 구축된 데이터는 사고 차량의 수리기간(Repair Term), 광역/시내/고속·시외 등의 버스 운행구분(Type of Bus), 가해/피해 등의 사고 책임 여부(Responsibility of Accident), 사고 당시 기상상태(Weather) 및 노면상태(Road Surface), 차대차/차대사람 등의 사고유형(Type of Accident), 상대차량 종류(Other Party), 자동차전용도로/도시부/지방부 도로 등의 사고 도로 유형(Type of Road), 본선/교차로/버스정류장 등의 사고 지점 유형(Location Type), 파손 부위 수(Number of Crash Points)이다. 각 범주형 요인의 특성별 데이터 구축 기준은 Table 1과 같다.

파손 부위 사진 확인 및 자료 코딩 이후, Fig. 1과 같이 버스 전면/측면/후면을 10개 부분으로 구분하고, 버스충돌유형을 전면부, 측면부전면, 측면부후면, 후면부로 정의하여 각 사고데이터의 파손 부위를 확인하여 1차 충돌 유형 데이터를 구축하였다. 각 사고데이터의 파손 부위 확인 후, 전면부 사고는 파손 부위가 Fig. 1의 1, 2, 3에 해당하는 사고, 측면부전면 사고는 파손 부위가 Fig. 1의

Table 1 Criteria for Classification of Variables

Variable	Criteria
Type of Bus	- Red/Rapid/Metropolitan/City Airport: 0 - Intra-city Large/Middle/Small/Low-floor: 1 - Express/Intercity/Airport Limousine: 2
Responsibility of Accident	- Assaulter of Accident: 0 - Victim of Accident: 1 - Under Investigation: 2
Weather Condition	- Clear/Cloudy: 0 - Snow/Rain/Fog/Hail/Thunder Storm: 1
Road Surface	- Dry/Paved: 0 - Wet/Freezing/Under Construction: 1 - Parking Garage: 2
Type of Accident	- Vehicle to Vehicle: 0 - Vehicle to Pedestrian: 1 - Vehicle Only: 2
Other Party	- Passenger Car: 0 - Bus: 1 - Truck: 2 - Motorcycle: 3 - Others: 4 - None: 5 - Unidentified: 6
Type of Road	- Motorway: 0 - Urban Road: 1 - Local Road: 2
Type of Location	- Main Line: 0 - Intersection: 1 - Merging/Diverging Area: 2 - Bus Stop: 3 - Hazardous Route(Tollgates, Tunnels etc.): 4 - Parking Garage/Terminal/Service Area: 5 - Others: 6

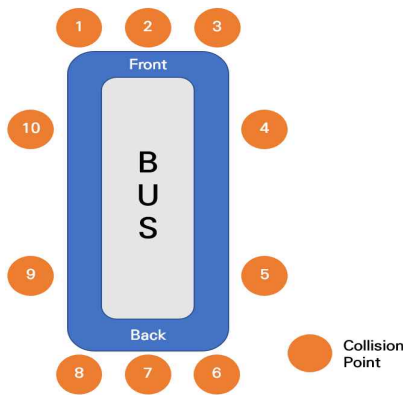


Fig. 1 Bus Collision Points

4, 10에 해당하는 사고, 측면부후면 사고는 파손 부위가 Fig. 1의 5, 9에 해당하는 사고, 후면부 사고는 파손 부위가 Fig. 1의 6, 7, 8에 해당하는 사고로 사고데이터를 분류하여 2차 충돌유형 데이터를 구축하였다.

분류 결과, 사고데이터는 전면부 760개, 측면부전면 363개, 측면부후면 374개, 후면부 331개로 분류되었다.

### 3.2. K-평균 군집분석 적용

버스충돌유형별로 분류한 사고데이터에 대해 K-평균 군집분석을 수행한다. 군집분석 수행에 앞서, 버스충돌유형별 사고데이터에 대한 적정 군집 수를 판단해야 한다. 본 연구에서는 설정 군집 수의 적정 여부를 판단하기 위해 elbow method를 활용한다. Elbow method 그래프 분

석 결과, 각 버스 충돌유형 그래프는 모두 군집 수가 4개인 경우의 y축에 해당하는 오차제곱합이 군집 수가 5개인 경우와 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 즉, 4개 군집은 적정 군집 수로 나타났다.

### 3.3. K-평균 군집분석 결과

K-평균 군집분석 결과, 전면부는 각각의 군집에 포함된 데이터 수가 31개(1번 군집), 610개(2번 군집), 5개(3번 군집), 114개(4번 군집)로 나타났다. 사고 수리 비용 평균을 기반으로 군집별 사고심각도를 판단한 결과, 3번 군집 → 1번 군집 → 4번 군집 → 2번 군집 순으로 사고심각도가 높은 것으로 나타났다. 마찬가지로, 사고 수리 기간과 충돌 지점 수 평균도 사고심각도와 동일한 양상을 보이는 것으로 나타났다. 측면부전면은 각각의 군집에 포함된 데이터 수가 5개(1번 군집), 22개(2번 군집), 276개(3번 군집), 60개(4번 군집)로 나타났다. 사고 수리 비용 평균을 기반으로 군집별 사고심각도를 판단한 결과, 1번 군집 → 2번 군집 → 4번 군집 → 3번 군집 순으로 사고심각도가 높은 것으로 나타났다. 또한, 사고 수리 기간과 충돌 지점 수 평균도 사고심각도와 동일한 양상을 보이는 것으로 나타났다. 측면부후면은 각각의 군집에 포함된 데이터 수가 43개(1번 군집), 4개(2번 군집), 317개(3번 군집), 10개(4번 군집)로 나타났다. 사고 수리 비용 평균을 기반으로 군집별 사고심각도를 판단한 결과, 2번 군집 → 4번 군집 → 1번 군집 → 3번 군집 순으로 사고심각도가 높은 것으로 나

버스 실사고 데이터 구축을 통한 대표 버스충돌유형 분석 연구

Table 2 Results of K-means Clustering Analysis of Collision Part Types

Variable	Classification	Cluster Mean				Type
		Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	
Front	N	31	610	5	114	None
	Repair Cost	11,299,428	995,306	28,439,064	4,025,939	Continuous
	Type of Bus	1.32	1.33	1.00	1.23	Categorical
	Responsibility of Accident	0.52	0.57	0.60	0.52	Categorical
	Weather Condition	0.10	0.14	0.00	0.15	Categorical
	Road Surface	0.19	0.34	0.20	0.25	Categorical
	Type of Accident	0.26	0.22	0.00	0.25	Categorical
	Other Party	2.39	2.96	3.40	3.49	Categorical
	Type of Road	0.74	1.00	0.60	0.86	Categorical
	Type of Location	1.32	2.08	1.40	1.60	Categorical
	Repair Term	15.13	0.56	46.40	4.82	Continuous
Number of Crash Points	4.48	1.79	7.00	3.01	Continuous	
Mid_Front	N	5	22	276	60	None
	Repair Cost	28,439,064	12,013,867	932,070	5,020,744	Continuous
	Type of Bus	1.00	1.36	1.32	1.08	Categorical
	Responsibility of Accident	0.60	0.55	0.58	0.67	Categorical
	Weather Condition	0.00	0.09	0.11	0.20	Categorical
	Road Surface	0.20	0.23	0.37	0.22	Categorical
	Type of Accident	0.00	0.18	0.38	0.23	Categorical
	Other Party	3.40	2.27	2.53	3.47	Categorical
	Type of Road	0.60	0.82	0.98	0.97	Categorical
	Type of Location	1.40	1.27	2.32	1.25	Categorical
	Repair Term	46.40	15.86	0.64	6.53	Continuous
Number of Crash Points	7.00	4.36	1.78	3.62	Continuous	
Mid_Rear	N	43	4	317	10	None
	Repair Cost	3,241,574	27,723,868	721,717	9,882,480	Continuous
	Type of Bus	1.26	1.00	1.32	1.30	Categorical
	Responsibility of Accident	0.72	0.50	0.47	0.50	Categorical
	Weather Condition	0.14	0.00	0.11	0.10	Categorical
	Road Surface	0.19	0.25	0.38	0.20	Categorical
	Type of Accident	0.23	0.50	0.54	0.60	Categorical
	Other Party	2.77	4.25	2.96	2.80	Categorical
	Type of Road	1.00	0.50	1.11	0.80	Categorical
	Type of Location	1.49	1.25	2.37	1.00	Categorical
	Repair Term	3.56	37.75	0.56	13.60	Continuous
Number of Crash Points	2.86	7.25	1.49	5.10	Continuous	
Rear	N	34	9	2	286	None
	Repair Cost	4,286,073	14,017,341	33,303,500	844,444	Continuous
	Type of Bus	0.97	1.22	1.00	1.26	Categorical
	Responsibility of Accident	0.76	0.67	1.00	0.53	Categorical
	Weather Condition	0.09	0.00	0.00	0.07	Categorical
	Road Surface	0.35	0.00	0.00	0.41	Categorical
	Type of Accident	0.41	0.44	0.00	0.37	Categorical
	Other Party	2.76	2.44	3.00	2.73	Categorical
	Type of Road	0.76	0.89	0.00	1.13	Categorical
	Type of Location	2.50	1.22	2.00	2.89	Categorical
	Repair Term	5.21	17.78	34.50	0.66	Continuous
Number of Crash Points	3.41	4.89	6.00	2.27	Continuous	

타났다. 또한, 사고 수리 기간과 충돌 지점 수 평균도 사고심각도와 동일한 양상을 보이는 것으로 나타났다. 후면부는 각각의 군집에 포함된 데이터 수가 34개(1번 군집), 9개(2번 군집), 2개(3번 군집), 286개(4번 군집)로 나타났다. 사고 수리 비용 평균을 기반으로 군집별 사고심각도를 판단한 결과, 3번 군집 → 2번 군집 → 1번 군집 → 4번 군집 순으로 사고심각도가 높은 것으로 나타났다. 마찬가지로, 사고 수리 기간과 충돌 지점 수 평균도 사고심각도와 동일한 양상을 보이는 것으로 나타났다. 각 버스충돌유형에 대해 K-평균 군집분석 결과는 Table 2와 같다.

#### 4. 대표 버스 충돌사고

##### 4.1. 사고심각도가 높은 버스 사고

앞서 분석한 K-평균 군집분석 결과를 기반으로 사고심각도가 높은 사고를 선별한다. 4가지 버스 충돌사고 유형별 K-평균 군집분석 결과 중 버스충돌유형별로 버스 사고심각도 지표인 사고 수리 비용 평균이 가장 큰 군집과 두 번째로 큰 군집 두 개를 선정하였다. 이렇게 선정한 것은 사고심각도 지표인 사고 수리 비용이 클수록, 사고 수리 기간이 길고, 충돌 지점 수가 많은 경향을 보이는 등 전반적으로 버스 사고심각도가 높은 것으로 판단되었기 때문이다. 이러한 기준으로 버스충돌유형별 사고심각도가 높은 군집을 선정한 결과, 전면부 사고는 전체 760개 사고데이터 중 36개가 선정되었고, 측면부전면 사고는 전체 363개 사고데이터 중 27개가 선정되었고, 측면부후면 사고는 전체 374개 사고데이터 중 14개가 선정되었으며, 후면부 사고는 전체 331개 사고데이터 중 11개가 선정되었다. 버스충돌유형별 각 구성 요인의 빈도수 분석 결과는 Table 3과 같다.

빈도수 분석 결과, 모든 버스 충돌유형에서 동일하게 빈도수가 높은 특성이 나타난 사고 상황은 ‘버스 종류’, ‘사고 책임 여부’, ‘기상상태’, ‘노면상태’, ‘사고유형’, ‘도로유형’임을 확인할 수 있었다. 버스 종류는 ‘고속/시외버스’, 사고 책임 여부는 ‘피해사고’, 기상상태는 ‘맑음/흐림’, 노면상태는 ‘마르고, 포장된 노면’, 사고유형은 ‘차대차 사고’, 도로유형은 ‘자동차 전용도로’로 나타났다.

측면부후면 유형의 경우 ‘가해사고’와 ‘피해사고’가 동률을 이루는 것으로 나타났다. 상대차량 요인의 경우, 후면부 유형을 제외하고 ‘트럭’이 빈도수가 높은 특성으로 나타났다. 후면부 유형은 ‘승용차’가 빈도수가 높은 특성

으로 나타났다. 또한, 전면부 유형의 경우 ‘버스’와 ‘트럭’이 동률을 이루는 것으로 나타났고, 측면부후면 유형의 경우, ‘트럭’과 ‘공작물 충돌’이 동률을 이루는 것으로 나타났다. 지점유형 요인은 전면부, 측면부전면 유형은 ‘합류부/분류부’ 지점이 빈도수가 높은 특성으로 나타났고, 후면부, 측면부후면 유형은 ‘본선’이 빈도수가 높은 특성으로 나타났다.

그리고 모든 충돌 유형에서 동일하게 ‘고속/시외버스’가 빈도수가 높은 버스 종류 특성으로 나타났다는 것, 도로유형은 ‘자동차 전용도로’ 특성이 빈도수가 높다는 것, 지점유형의 모든 충돌유형이 ‘본선’ 또는 ‘합류부/분류부’ 구간의 빈도수가 높다는 것을 볼 때, 자동차 전용도로 상에서의 버스 사고 즉, 고속도로 또는 고속화도로 구간에서의 버스 사고심각도가 높다는 것을 판단할 수 있다.

##### 4.2. 대표 버스 충돌사고

각 버스 충돌유형 구성 요인별 특성에 대한 빈도수 분석 결과를 활용하여 대표 버스 충돌사고를 제시하였다. 전면부 사고 유형의 대표 사고상황으로는 ‘고속/시외버스’인 경우, ‘피해사고’인 경우, 날씨가 ‘맑음/흐림’인 경우, ‘마르고 포장된 노면’인 경우, ‘차대차 사고’인 경우, 상대차량이 ‘버스 또는 트럭’인 경우, 도로유형이 ‘자동차 전용도로’인 경우, 지점유형이 ‘합류부/분류부’인 경우로 나타났다. 측면부전면 사고 유형의 대표 사고상황으로는 ‘고속/시외버스’인 경우, ‘피해사고’인 경우, 날씨가 ‘맑음/흐림’인 경우, ‘마르고 포장된 노면’인 경우, ‘차대차 사고’인 경우, 상대차량이 ‘트럭’인 경우, 도로유형이 ‘자동차 전용도로’인 경우, 지점유형이 ‘합류부/분류부’인 경우로 나타났다. 측면부후면 사고 유형의 대표 사고상황으로는 ‘고속/시외버스’인 경우, ‘가해사고 또는 피해사고’인 경우, 날씨가 ‘맑음/흐림’인 경우, ‘마르고 포장된 노면’인 경우, ‘차대차 사고’인 경우, 상대차량/충돌대상이 ‘트럭 또는 공작물’인 경우, 도로유형이 ‘자동차 전용도로’인 경우, 지점유형이 ‘본선’인 경우로 나타났다. 마지막으로, 후면부 사고 유형의 대표 사고상황으로는 ‘고속/시외버스’인 경우, ‘피해사고’인 경우, 날씨가 ‘맑음/흐림’인 경우, ‘마르고 포장된 노면’인 경우, ‘차대차 사고’인 경우, 상대차량이 ‘승용차’인 경우, 도로유형이 ‘자동차 전용도로’인 경우, 지점유형이 ‘본선’인 경우로 나타났다. 버스충돌유형별 대표 사고상황은 Table 4와 같다.

버스 실사고 데이터 구축을 통한 대표 버스충돌유형 분석 연구

Table 3 Results of Frequency Analysis for Variables

Variable	Classification	Collision Parts				Type
		Front	Mid_Front	Mid_Rear	Rear	
N		36	27	14	11	None
Repair Cost	Mean (std)	13,679,933 (6,900,733)	15,055,570 (7,365,550)	14,980,019 (9,574,679)	17,523,915 (9,109,346)	Continuous
Type of Bus	Red Bus	(11)	(8)	(4)	(4)	Categorical
	Intra-City Bus	(4)	(3)	(3)	(1)	
	Express/Intercity Bus	✓(21)	✓(16)	✓(7)	✓(6)	
Responsibility of Accident	Assaulter of Accident	(17)	(12)	✓(7)	(3)	Categorical
	Victim of Accident	✓(19)	✓(15)	✓(7)	✓(8)	
	Under Investigation	(0)	(0)	(0)	(0)	
Weather Condition	Clear/Cloudy	✓(33)	✓(25)	✓(13)	✓(11)	Categorical
	Snow/Rain/Fog	(3)	(2)	(1)	(0)	
Road Surface	Dry/Paved Road	✓(29)	✓(21)	✓(11)	✓(11)	Categorical
	Wet/Freezing/Under Construction	(7)	(6)	(3)	(0)	
	Parking Garage	(0)	(0)	(0)	(0)	
Type of Accident	Vehicle to Vehicle	✓(32)	✓(25)	✓(10)	✓(9)	Categorical
	Vehicle to Pedestrian	(0)	(0)	(0)	(0)	
	Vehicle Only	(4)	(2)	(4)	(2)	
Other Party	Passenger Car	(3)	(3)	(2)	✓(3)	Categorical
	Bus	✓(11)	(7)	(1)	(2)	
	Truck	✓(11)	✓(9)	✓(4)	(2)	
	Motorcycle	(0)	(0)	(0)	(0)	
	Others	(2)	(2)	(1)	(0)	
	None	(4)	(2)	✓(4)	(2)	
	Unidentified	(5)	(4)	(2)	(2)	
Type of Road	Motorway	✓(21)	✓(15)	✓(8)	✓(6)	Categorical
	Urban Road	(4)	(3)	(2)	(2)	
	Local Road	(11)	(9)	(4)	(3)	
Type of Location	Main Line	(12)	(9)	✓(7)	✓(5)	Categorical
	Intersection	(5)	(4)	(1)	(0)	
	Merging/Diverging Area	✓(16)	✓(12)	(5)	(4)	
	Bus Stop	(1)	(1)	(0)	(1)	
	Hazardous Route (Tollgate, Tunnel etc.)	(2)	(1)	(1)	(1)	
	Parking Garage/Terminal/ Service Area	(0)	(0)	(0)	(0)	
	Others	(0)	(0)	(0)	(0)	
Repair Term	Type of Road	19.47 (15.20)	21.52 (16.53)	20.50 (17.61)	20.82 (10.22)	Continuous
Number of Crash Points	Number of Crash Points	4.83 (1.92)	4.85 (1.73)	5.71 (2.55)	5.09 (2.74)	Continuous

Table 4 Representative Bus Crash Situation

Variable	Collision Parts			
	Front	Mid_Front	Mid_Rear	Rear
Type of Bus	Express/Intercity	Express/Intercity	Express/Intercity	Express/Intercity
Responsibility of Accident	Victim	Victim	Assaulter or Victim	Victim
Weather Condition	Clear/Cloudy	Clear/Cloudy	Clear/Cloudy	Clear/Cloudy
Road Surface	Dry/Paved Road	Dry/Paved Road	Dry/Paved Road	Dry/Paved Road
Type of Accident	Vehicle to Vehicle	Vehicle to Vehicle	Vehicle to Vehicle	Vehicle to Vehicle
Other Party	Bus or Truck	Truck	Truck or Object	Passenger Car
Type of Road	Motorway	Motorway	Motorway	Motorway
Type of Location	Merging/ Diverging Area	Merging/ Diverging Area	Main Line	Main Line

#### 4.3. 실사고 데이터 사례 확인

Table 4에서 제시한 버스충돌유형별 대표 사고상황에 대한 실사고 데이터를 확인하여 사고상황을 심층적으로 분석하였다.

예를 들어, 전면부 유형의 3개의 실사고를 확인하면 다음과 같다. 첫 번째 상황은 사고차량이 고속도로상의 1차로(버스전용차로) 운행 중 2차로를 주행하던 관광버스가 1차로로 차로변경 중 제동하여 사고차량이 관광버스의 후미를 추돌한 사고상황이다. 두 번째 상황은 사고차량이 고속도로를 운행 중 사고차량을 후속하던 25톤 화물트럭이 사고차량 후미를 추돌하여 사고차량이 밀리게 되고, 6중 연쇄추돌로 이어진 사고상황이다. 세 번째 상황은 사고차량이 고속도로상의 1차로를 운행 중, 2차로를 주행하던 시외버스가 1차로로 급차로변경 이후 급제동하여 사고차량이 시외버스 후미를 추돌한 사고상황이다. 이상과 같이 실사고 데이터를 확인하여 대표 상황이 어떤 형태의 실사고로 발생하는지 세부적 상황을 검토할 수 있다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 2018년~2019년 수집된 버스 파손 부위 사진이 포함된 1,416개의 버스 수리 내역을 버스 사고 데이터로 선정하여 대표 충돌유형 상황을 분석하였다. 분석방법으로는 K-평균 군집분석 방법론을 활용하였다. 사고상황 요인으로 사고 차량의 수리 기간, 버스 운행 구분, 사고 책임 여부, 기상상태, 노면상태, 사고유형, 상대 차량 종류, 사고 도로 유형, 사고 지점 유형 등을 선정하

였다. 사고데이터를 버스충돌유형별로 분류하였고, 전면부 760개, 측면부전면 363개, 측면부후면 374개, 후면부 331개 데이터로 분류되었다.

분류된 데이터를 기반으로 각 버스충돌유형에 대해 K-평균 군집분석을 실시하였다. 버스충돌유형별로 군집 분석 결과, 각 유형의 군집은 버스 사고심각도 지표인 버스 수리 비용을 기준으로 분포되었음을 확인할 수 있었다. 전면부는 31개, 610개, 5개, 114개의 데이터로 군집이 형성되었고, 측면부전면은 5개, 22개, 276개, 60개의 데이터로 군집이 형성되었고, 측면부후면은 43개, 4개, 317개, 10개의 데이터로 군집이 형성되었고, 후면부는 34개, 9개, 2개, 286개의 데이터로 군집이 형성되었다.

K-평균 군집분석 결과를 기반으로 대표 버스충돌유형 상황을 정의하여 제시하였다. 대표 버스충돌유형 분석 결과가 시사하는 바는 다음과 같다. 첫째로, 버스의 사고 심각도가 높은 사고 구간은 고속도로 및 고속화도로 등 자동차전용도로 상의 본선 또는 합류부/분류부 구간(본선 포함)이라는 것이다. 따라서, 향후 수소버스 안전도 방안 연구 시 고속도로 및 고속화도로 상을 주행하는 수소버스 관련 안전도 제고 방안을 제시하는데 주안점을 뒤야 할 것으로 판단된다. 사고 상황 중 다수가 전면부, 후면부 충돌로 인하여 발생하는 사고인만큼, 수소연료전지가 위치하는 전면부와 수소버스 엔진이 위치하는 후면부에 대한 안전성 보강이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 둘째로, 사고심각도가 높은 버스 유형이 고속/시외버스라는 것이다. 현재, 수소버스는 주로 시내버스 노선을 위주로 도입되고 있으나, 향후 고속/시외버스 노선에도 수소버스가 도입될 계획이다. 따라서, 수소버스의 고속/시외버스 노선 투입에 대응하기 위한 안전도 제고 방안을 제



시해야 할 것으로 판단된다.

본 연구의 한계점으로는 다음과 같다. 본 연구에서는 사고심각도가 높은 사고를 중점적으로 채택하여 분석하다 보니, 상대적으로 시내버스 대비 사고심각도가 높은 고속/시외버스 사고가 모든 버스충돌유형의 대표 버스충돌사고로 선정되었다. 따라서, 향후 수소버스 관련 시나리오 추가 연구 및 분석 시 시내버스 시나리오를 심층적으로 고려해야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 기존 교통사고분석시스템에서 수집하는 사고데이터가 아닌, 버스 파손사진을 포함한 실사고데이터를 기반으로 사고심각도를 분석하고 군집분석을 통해 대표 충돌상황을 검토하였다. 따라서, 본 연구는 향후 안전성 평가를 위한 충돌사고 분석 등에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부 수소버스 안전성 평가기술 및 장비개발 사업의 연구비 지원(과제번호 20HBST-B158067-01)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

(1) MacQueen, J., 1967, "Some methods for classification and analysis of multivariate observations", In Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability, Vol. 1, No. 14, pp. 281~297.

(2) 이문석, 정건희, 2018, "K-평균 알고리즘을 이용한 적설관측소 군집분석", 한국방재학회 학술대회 논문집, Vol. 18, No. 2, pp. 367~367.

(3) Anderson, T. K., 2009, "Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots", Accident Analysis & Prevention, Vol. 41, pp. 359~364.

(4) Kaplan, S. and Prato, C. G., 2012, "Risk factors associated with bus accident severity in the united states: A generalized ordered logit model", Journal of safety research, Vol. 43, No. 3, pp. 171~180.

(5) Chu, H. C., 2013, "Assessing factors causing severe injuries in crashes of high-deck buses in long-distance driving on freeways", Accident Analysis & Prevention, Vol. 62, pp. 130~136.

(6) Prato, C. G. and Kaplan, S., 2014, "Bus accident severity and passenger injury: Evidence from Denmark, Eur. Transp. Res., Rev 6, pp. 17~30.

(7) Feng, S., Li, Z., Ci, Y. and Zhang, G., 2016, "Risk factors affecting fatal bus accident severity: Their impact on different types of bus drivers", Accident Analysis & Prevention, Vol. 86, pp. 29~39.

(8) 빈미영, 손슬기, 2018, "버스운전자 성별 교통사고 심각도 영향요인 분석", 대한교통학회지, Vol. 36, pp. 440~451.

(9) Sam, E. F., Daniels, S., Brijs, K., Brijs, T. and Wets, G., 2018, "Modelling public bus/minibus transport accident severity in Ghana", Accident Analysis & Prevention, Vol. 119, pp. 114~121.

(10) 윤상원, 고승영, 김동규, 2018, "순서형 프로빗 모형을 이용한 버스 운송사업 유형별 사고심각도 영향요인 분석", 대한교통학회지, Vol. 36, No. 1, pp. 13~22.