

고속도로 정체 기준 속도의 적정성 검토 및 개선 연구

Study on the Adequacy and Improvement of the Threshold Speed of Expressway Congestion

이수진* · 고은정* · 장기태** · 박성호*** · 박재범**** · 윤일수*****

* 주저자 : 한국과학기술원 조천식녹색교통대학원 박사과정
 ** 공저자 : 한국과학기술원 조천식녹색교통대학원 부교수
 *** 공저자 : 아주대학교 건설교통공학과 박사과정
 **** 공저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 교통연구실장
 ***** 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Sujin Lee* · Eunjeong Ko* · Kitae Jang* · Sungho Park** ·

Jaebeom Park**** · Ilsoo Yun**

* The Cho Chun Shik Graduate School of Green Transportation, Korea Advanced Institute of Science and Technology

** Dept. of Transportation Eng., Ajou University

*** Transportation Research Div., Korea Expressway Corporation Research Institute

† Corresponding author : Ilsoo Yun, ilsooyun@ajou.ac.kr

Vol.19 No.5(2020)

October, 2020

pp.40~51

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.5.40>

2020.19.5.40

Received 11 August 2020

Revised 7 September 2020

Accepted 2 October 2020

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

요약

2011년에 고속도로 정체 기준 속도가 개정된 후 많은 시간이 경과함에 따라 차량의 성능 개선, 경쟁 관계에 있는 고속열차 운행 확대, 고속도로 일부 구간의 제한속도 상향 등 다양한 고속도로 주행환경 변화가 발생하였고 고속도로 이용자의 이동 신속성에 대한 기대수준 또한 증가하는 추세이다. 따라서 본 연구에서는 설문조사를 통해 고속도로 이용자의 정체에 대한 인식을 조사하고, 고속도로 교통류 분석을 통해 고속도로 정체 기준 속도의 재설정을 검토하고자 한다. 설문조사 결과, 고속도로 이용자들이 인식하는 정체 기준 속도가 다소 높아진 것을 확인하였다. K-means 알고리즘을 통해 교통량 및 속도 자료를 분석한 결과, 서행과 정체의 분류 기준은 60km/h 수준인 것으로 나타났다. 또한 정체 기준 속도를 50km/h와 60km/h로 상향하는 것을 가정하여 고속도로 정체찾은구간을 산정해본 결과, 50km/h가 고속도로 이동성 관리를 위한 정체 기준 속도로 적절한 것으로 판단된다.

핵심어 : 고속도로, 정체 기준 속도, K-means 알고리즘, 정체찾은구간

ABSTRACT

Much time has passed since Korea's expressway congestion-threshold speed was revised in 2011. In the meantime, various expressway environments have changed owing to improved performance of vehicles, expanded operations of transport competition (i.e., the GTX), and increased speed limits along some expressway sections. In addition, the speed that expressway users expect to travel at is also increasing. Therefore, through a survey, this study investigates expressway users' perceptions of congestion, and reviews the adjustment of the expressway speed congestion threshold by analyzing expressway traffic flow. One result of the survey confirms that the threshold speed expressway users consider to be congestion has slightly increased. Analyzing traffic and speed data through a K-means algorithm found that the threshold speed for congestion is 60 km/h. In addition, assuming the

congestion threshold speed increase from 40 km/h to 50 km/h and 60 km/h, frequently congested expressway sections are identified, determining that 50 km/h is appropriate as a congestion threshold for proper expressway mobility management.

Key words : Expressway, Congestion threshold speed, K-means algorithm, Frequent congestion expressway section

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

도로 부문의 교통 혼잡은 수도권을 중심으로 대도시권으로의 인구 집중 현상과 대도시 생활권역의 확장으로 인하여 특히 도시부 도로와 지역간 도로를 중심으로 심화되고 있다. 이로 인한 도시부 도로의 교통혼잡비용(travel congestion cost)은 2005년부터 2015년까지 10년 간 연 평균 3.96% 증가하였으며, 동 기간의 지역간 도로 교통혼잡비용도 2.86%의 증가세를 보이고 있다. 그 결과 우리나라 전체의 교통혼잡비용은 우리나라 GDP의 약 2.16% 수준으로서 2015년 추정치를 기준으로 할 경우 약 3조 4천억 원에 이르고 있다(Shin et al., 2018). 이러한 분석에서 고려된 도시부 도로는 전국 특별시/광역시만을 포함하고 있기 때문에 실제 교통혼잡과 교통혼잡비용은 훨씬 높을 것으로 생각된다.

대표적인 지역 간 도로라고 할 수 있는 고속도로는 여객 및 화물 수송의 핵심 통로로 사용되고 있으며, 고속도로에서의 이동성 확보를 위하여 고속도로 정체 잦은 구간 개선 등 다양한 적극적인 정체 관리 기법들이 적용되어 있다. 이러한 기법을 적용하기 위해서는 고속도로 정체의 기준이 되는 속도를 적절히 설정할 필요가 있다.

고속도로의 교통상태가 정체(congestion)로 구분되는 기준 속도가 1996년 30km/h로 지정된 이후 2011년에 40km/h로 상향되어 현재까지 기준으로 쓰이고 있다. 한국도로공사에서 이동성(mobility) 향상을 위하여 지정 및 관리하고 있는 고속도로 정체잦은구간은 2011년 정체 기준 속도 상향 직후 414km에서 2019년에는 87km까지 감소하였다. 이와 같은 정체잦은구간의 감소는 고속도로 네트워크 확대와 함께 교통정보 제공, 버스전용차로, 갓길차로제, 고속도로 우회 관리 등 정체 개선을 위한 많은 노력의 결과라고 볼 수 있다(KECRI, 2019).

하지만 2011년에 고속도로 정체 기준 속도가 개정된 후 많은 시간이 경과하였다. 그 동안 차량의 성능 개선, 고속도로 일부 구간의 제한속도 상향(100km/h에서 110km/h로 변경), 경쟁 관계에 있는 고속열차 운행 확대 등 다양한 고속도로 주행환경 변화가 발생하였다. 또한, 고속도로 이용자의 이동 신속성에 대한 기대수준 또한 증가하는 추세이다.

따라서 고속도로 정체 기준 속도는 자동차 성능 개선, 생활수준 향상에 따른 운전자의 신속한 이동 욕구 증가 등, 시대 및 환경적 변화를 수용하고, 기존의 고속도로 정체 기준속도와 운전자가 체감하는 정체 상황과의 심리적 괴리를 축소할 수 있도록 진화될 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 고속도로 정체 기준 속도의 적정성을 검토하고, 그 검토 결과에 따라서 개선 대안을 제시하는 것이 목적이다. 이를 위하여 본 연구에서는 설문조사를 통해 고속도로 이용자의 정체에 대한 인식을 조사하였다. 그리고 고속도로 교통류 분석을 통해 고속도로 정체 기준 속도의 재설정 검토하였다.

2. 연구의 범위 및 절차

본 연구의 공간적 범위는 전국에서 공용 중인 고속도로 중에서 한국도로공사가 관리하고 있는 고속도로로 설정하였다. 시간적 범위는 설문조사가 실시된 2019년으로 설정하였으며, 필요한 경우 과거에 대한 분석을 실시하였다.

본 연구에서는 먼저 고속도로 교통 정체 기준 속도의 현황을 국내와 국외로 나누어 조사하였으며, 관련된 연구를 고찰하였다. 고속도로 정체 기준 적정성 검토를 위해 고속도로 이용자를 대상으로 설문을 진행하였으며, 조사된 결과를 분석하여 고속도로 이용자의 정체 인식에 대하여 분석을 실시하였다. 정체 기준 개선 방안 도출을 위해 K-means 알고리즘을 통해 고속도로 소통상황 유형 분류를 실시하여 새로운 고속도로 정체 기준속도를 제시하였다. 그리고, 고속도로 정체 기준 속도 변화에 따른 정체잡은구간 연장의 변화를 예측해 보았다.

II. 관련 이론 및 연구 고찰

1. 교통 정체 기준 속도 활용 현황

먼저, 고속도로 정체잡은구간을 선정하는 데 사용되는 정체 기준 속도는 다음과 같다. 한국도로공사는 고속도로 이동성 향상을 위해서 차량검지기(vehicle detection system, VDS)에서 추정된 속도가 정체 기준 속도 이하로 떨어질 경우 해당 VDS zone의 교통상태를 정체(congestion)로 지정하고 이러한 정체의 지속 시간과 발생 빈도를 종합하여 정체잡은구간을 선정하고 관리하고 있다. 1996년부터 2011년 4월 이전까지 사용된 정체 기준 속도는 30km/h이다. 그 후 2011년 4월부터 정체 기준 속도를 40km/h로 상향 조정하였다(KECRI, 2019). 이러한 정체 기준 속도를 기반으로 정체잡은구간을 선정하는 지속 시간(congestion duration)과 발생 빈도(congestion frequency)는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Criteria for Frequent Congestion Expressway Sections

Classification		Threshold Speed	Congestion Duration	Congestion Frequency
1996~2011.4	-	30km/h	2 hour/day over	10 day/month over
2011.4~	Weekday	40km/h	1 hour/day over	8 day/month over
	Weekend		2 hour/day over	4 day/month over

정체잡은구간 선정을 위해 사용하는 정체 기준 속도 외에 교통 혼잡 정보 제공을 위해 사용되는 기준 속도들도 있다. 국내에서 사용하는 교통 혼잡 정보는 공통적으로 원활(no congestion), 서행(light congestion), 정체(heavy congestion)로 구분된다. 하지만, 이러한 교통 혼잡 정보 제공을 위한 기준 속도는 정보 제공 주체, 도로 등급 등에 따라 달리 사용되고 있다(KECRI, 2019). 구체적인 각 기관별 고속도로의 정체 기준 속도는 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Express Congestion Threshold Speed by Domestic Service Providers

Service Providers		No Congestion	Light Congestion		Heavy Congestion
Korea Expressway Corporation		over 80km/h	80~40km/h		under 40km/h
National Transport Information Center		over 80km/h	80~40km/h		under 40km/h
Seoul Highway Traffic Management Center		over 50km/h	50~35km/h		under 35km/h
Gyeonggi-do Traffic Management Center	Expressway	over 80km/h	80~40km/h		under 40km/h
	Highway	over 50km/h	50~35km/h		under 35km/h
SK Tmap		over 70km/h	70~30km/h		under 30km/h
NAVER		over 70km/h	70~30km/h		under 40km/h
Daum		over 70km/h	70~50km/h	50~30km/h	under 30km/h
UTIS		over 80km/h	80~40km/h		under 40km/h

국외의 경우, 일부 고속도로 관리기관에서 정체 기준 속도를 설정하여 교통 혼잡을 관리하고 관련 정보를 제공하고 있다. 미국 연방도로청(Federal Highway Administration, FHWA)은 제한속도와 통행속도의 비율로 교통정체 기준 속도를 제시하고 있다. FHWA 기준을 국내 고속도로에 적용하면 100km/h 제한속도 기준 시 48km/h 이하, 110km/h 기준 시 53.9km/h 이하를 극심한 정체로 분류될 수 있다(Neudorff et al., 2003). FHWA 기준 외에 미국에서는 주마다 교통 정체에 대하여 다른 기준을 적용하고 있다. Washington, Oregon 외의 주들은 48~56km/h 이하를 극심한 정체로 분류하고 있다. 호주와 영국은 48km/h 미만을 극심한 정체로 분류하며, 유럽 및 캐나다는 40km/h 내외를 극심한 정체로 분류한다(KECRI, 2019). 상세한 내용은 <Table 3>에 제시되어 있다.

<Table 3> Expressway Congestion Threshold Speed for Other Countries

Countries	States	No Congestion		Light Congestion		Heavy Congestion	
United States of America	California	over 80km/h		52~79km/h		under 51km/h	
	Michigan	Design Speeds	No Congestion	Light Congestion	Heavy Congestion	Extream Congestion	
		113~105km/h	over 97km/h	97~80km/h	80~56km/h	under 56km/h	
		97~89km/h	over 89km/h	89~72km/h	72~48km/h	under 48km/h	
	Washington	over 72km/h		40~71km/h		under 39km/h	
	Oregon	over 72km/h		40~71km/h		under 39km/h	
	Maryland	over 80km/h		48~79km/h		under 48km/h	
Baltimore	over 80km/h		48~79km/h		under 48km/h		
Australia	Victoria	No Congestion	Light Congestion	Heavy Congestion	Extream Congestion		
		over 87km/h	87~74km/h	74~48km/h	under 48km/h		
EU road management system		over 80km/h		80~40km/h		under 40km/h	
United Kingdom		over 80km/h		80~48km/h		under 48km/h	
Canada		over 75km/h		75~39km/h		under 39km/h	

국내 기준과 해외의 기준을 비교하였을 때, 국내 고속도로 정체(heavy congestion)의 기준 속도인 40km/h는 해외 주요국가의 해당 유형의 정체 기준 속도 범위(39~56km/h) 중 매우 낮은 편에 속하는 것으로 조사되었다.

2. 관련 연구 고찰

KEC(2008)는 고속도로 소통 정보가 일괄적인 기준 하에서 적용됨으로써 지역별·시간대별로 다른 교통류의 행태를 반영하지 못하는 문제를 해결하기 위해 각 고속도로 구간별 정체 기준 속도를 새롭게 정의하였다. 상기 연구에서는 정체의 용어, 견해 및 개념을 구분하고 교통 수요 기반의 반복적 정체(recurrent congestion)와 사고나 고장차량 등으로 인한 비반복적 정체(non-recurrent congestion)로 나누어 정리하였다. 또한 속도-교통량 그래프를 기반으로 단절점 분석(break point analysis)을 적용하여 기준 속도들을 설정하였다. 그 결과, 40km/h, 80km/h를 각각 정체-서행과 서행-소통원활의 3영역 경계 속도로 정의하는 것을 제안하였다.

KEC(2011)는 기존 정체 기준 속도의 한계를 개선하고 고속도로의 구간 정체 강도 및 빈도를 반영하기 위해 정체의 등급화를 제안하였다. 상기 연구에서는 교통 환경 변화를 고려하여, 각 고속도로 구간의 정체 등급 갱신 주기의 필요성을 설명하고 수도권 고속도로를 대상으로 VDS 15분 집계자료를 활용하여 분석하였다. 그 결과, 정체 기준 속도는 40km/h로 유지하되, 교통 소통 상황을 A~E 등급으로 정의한 후 정체(heavy congestion) 등급은 가장 낮은 E 등급으로 설정하였다.

KECRI(2012)는 국내 교통 정체의 기준 자체가 도로별로 다르고, 노선 및 구간 간 혼잡수준을 비교하는 것이 어렵다는 점을 극복하기 위해 연구를 수행하였다. 상기 연구에서, 정체 관리지표로는 구체성(혼잡 정도 표현), 활용성(도로시설간 수단간 비교 가능성), 응용성(적용 가능 범위), 이해도(이용자의 이해수준), 자료수집(수집 및 조사의 용이성)를 고려하고, '평균통행속도'를 정체의 효과적도(measures of effectiveness, MOE)로 고려하는 것을 제안하였다. 또한, 국외 사례 및 기존 지방국토관리청의 정체 기준속도, LOS를 고려하여 고속도로의 경우 40km/h, 일반국도의 경우 30km/h(연속류), 20km/h(단속류)를 정체(heavy congestion)의 기준 속도로 적용하는 것을 제안하였다. 그 내용을 바탕으로 전국 고속도로 노선-월-구간별 속도자료를 이용하여 40km/h의 정체 기준 속도를 이용하여 정체 발생 일수, 정체 발생 시간을 분석하였다. 그 결과를 바탕으로 고속도로 및 국도에 대하여 정체 발생 일수를 기준으로 A~E의 교통 소통 등급을 제시하였다.

Falcochchio and Levinson(2015)은 자유류 통행속도 또는 허용 최소 속도(acceptable minimum speed)를 이용하여 교통정체 기준(traffic congestion threshold)을 수립하고자 하였다. 자유류 통행속도 기준은 지방도로에 적합하나, 첨두시간 교통 혼잡을 고려했을 시 현실성이 떨어진다는 것을 지적하고, 운전자들이 허용할 수 있는 지체와 정체 수준을 분석하기 위해 일반적인 통행거리, 도시 크기, 도로 위계 등을 종합적으로 고려해야 된다는 것을 강조하였다. 또한 고속도로 정체 기준 속도를 제시하였으며, 가장 낮은 속도 기준은 30mph(48km/h)로 정의하였다.

Qu(2010)는 정체 기준 속도 변화(30~60mph)에 따른 정체를 설명할 수 있는 MOE들의 변화를 살펴봄으로써 정체 정의에 적합한 기준 속도를 분석하였다. 여기서 고려된 MOE는 1마일당 지체(delay per mile), 통행시간지수(travel time index, TTI), 계획시간지수(planning time index, PTI)이다. 연구 결과, 정체가 심한 구간일수록, 정체 기준 속도의 변화가 정체를 설명할 수 있는 MOE들에 미치는 영향이 적은 것으로 나타났다.

3. 관련 이론 및 연구 고찰을 통한 시사점 도출

미국, 영국 등의 해외 국가들의 정체 기준 속도는 다양하지만 고속도로의 경우 대부분 국내 기준인 40km/h보다 좀 더 높은 수준에서 관리하고 있다. 국외 기준의 평균 정체 기준 속도는 45.6km/h로 10개 국가 또는 자치주 중 7곳이 국내의 정체 기준 속도 이상으로 도로를 관리하고 있으며, 대부분 47~56km/h 수준으로 정체 기준을 설정하고 있다. 따라서 국내외 연구 및 실제 사례를 참고하여, 정체 지속 시간, 길이 등의 정

체 평가의 기준을 상향시키기 위한 기준안을 새롭게 제시하여 효과적인 도로정보 제공을 도모할 필요성이 있는 것으로 확인되었다.

Ⅲ. 고속도로 정체 기준 속도 적정성 검토

1. 설문조사 개요

설문조사는 한국도로공사에서 설정한 고속도로 정체 기준 속도에 대해 이용자들의 인식을 조사하고 이에 대한 개선방안을 수립하기 위한 목적으로 수행하였다. 고속도로 교통 정체를 느끼는 일반 시민들의 인식도와 통행속도에 따른 만족도를 측정하기 위해서 2019년 8월 28~30일(총 3일)에 금강휴게소, 안성휴게소, 문막휴게소에서 각 100명씩, 총 300명을 대상으로 한 설문조사를 실시하였다. 고속도로 정체 기준 속도(40km/h) 및 통행속도별 만족도에 대한 다양한 형식의 체감 설문을 수행하였다.

설문조사 문항은 기초질문과 심층질문으로 이루어져 있다. 기초질문은 개인특성인 성별, 연령, 운전 경력, 주 평균 운전 시간, 차종, 직업으로 구성되어 응답자의 개인 특성을 파악하는데 활용되었다. 심층질문은 고속도로 이용 특성 조사, 고속도로 정체 인식 조사로 구성되어 정체 기준 속도에 대한 시민들의 인식도를 조사하는데 활용되었다. 우선, 300명 중 73%가 남성이다. 연령대는 각각 ‘20대’가 6%(17명), ‘30대’가 21%(62명), ‘40대’가 39%(119명), ‘50대’가 22%(67명), ‘60대’가 11%(32명), 그리고 ‘70대 이상’이 1%(3명)이었다. 응답자 중 ‘40대’의 비율(39%)이 가장 높았으며, ‘50대’ (22%)와 ‘30대’ (21%)가 비슷한 비율을 보였다. 운전경력의 경우 ‘1~10년’이 28%(80명), ‘11~20년’이 40%(116명), ‘21~30년’이 26%(76명), ‘30년 초과’가 6%(18명)으로 분석되었다.

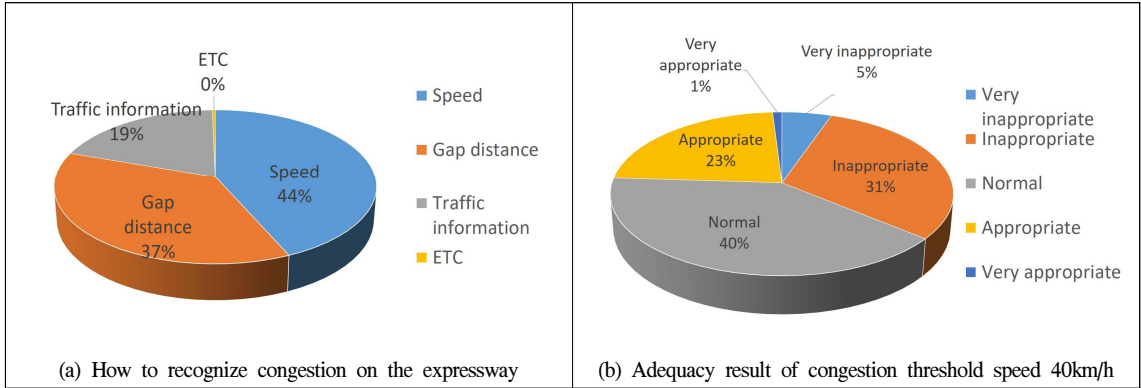
<Table 4> Composition of Survey Items

Classification	Questionnaire
Personal Information	Gender, age, driving experience, average weekly driving time, vehicle type, occupation
Characteristics of Expressway Use	Expressway use frequency, frequency of use on weekdays and weekends, main use time, mode, purpose of expressway use
Expressway Congestion Awareness	Sameness of traffic information and actual expressway situation, threshold for congestion recognition, appropriateness of congestion threshold speed, satisfaction by speed, recognition of congestion depending on speed, assessment of the congestion threshold speed increasing

2. 고속도로 정체 인식 분석 결과

<Fig. 1>에서 제시한 바와 같이, 고속도로 주행 시, 무엇을 기준으로 정체를 인식하는지에 대한 질문에 대해 ‘차량속도’가 44%(130명), ‘차간거리’ 37%(111명), ‘교통 상황 정보’ 19%(58명)로 분석되었고, 기타가 1건으로 나타났다. 설문조사 분석 결과, ‘차량속도’가 정체 인식의 기준이라는 응답이 가장 많다.

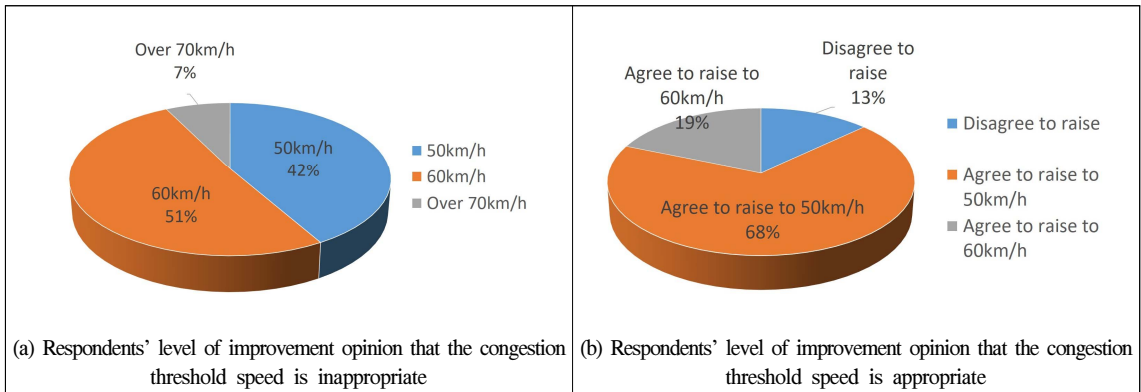
고속도로 교통 상황 중 현재 적용 중인 정체 기준 속도 40km/h가 적절한지 아닌지에 대한 질문에 ‘매우 부적절함’이라고 대답한 응답자가 5%(16명), ‘부적절함’이라고 응답한 응답자가 31%(92명), ‘보통’이 40%(120명), ‘적절함’이 23%(69명), ‘매우 적절함’이 1%(3명)로 분석되었다. ‘적절함’ 이상 의견이 24%를 차지하였으나, ‘보통~매우 부적절함’이라고 대답한 의견이 76%를 차지하였고, 그 중 ‘부적절함’ 이상 의견이 36%를 차지하였기 때문에 정체 기준 속도에 대한 적절성에 대한 심층적인 검토가 필요한 것으로 확인되었다.



<Fig. 1> Survey Results on Congestion Recognition Method and the Existing Congestion Threshold Speed

또한 <Fig. 2>에서 제시한 바와 같이, 현재의 정체 기준 속도가 적절하지 않다면, 어느 정도 수준으로 개선해야 하는지에 대한 질문에 대해 ‘50km/h’가 42%(45명), ‘60km/h’가 51%(55명), ‘70km/h 이상’이 7%(8명)로 분석되었다. 정체 기준 속도 상향에 대해 ‘50km~60km’ 사이로 상향해야 한다는 의견이 93%로 대다수를 차지하는 것으로 확인되었다.

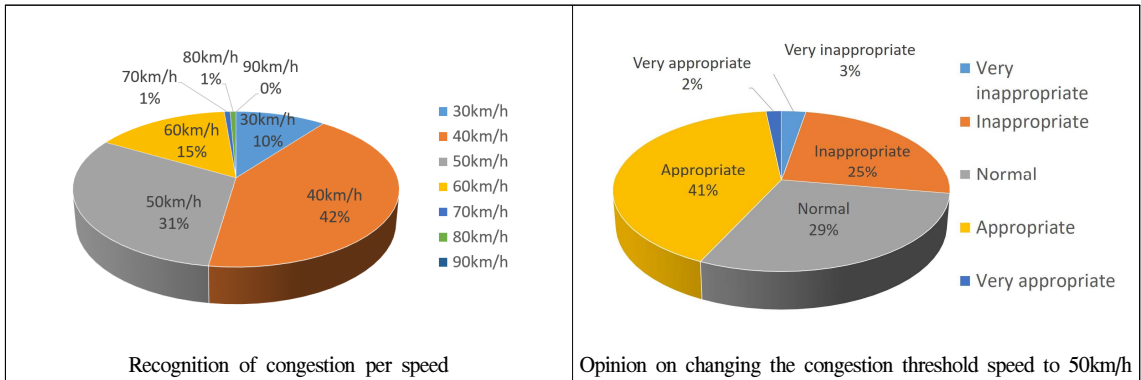
현재의 정체 기준 속도가 적절하다면, 현재의 정체 기준 속도를 상향하는 것에 대한 생각과 적정 수준에 관한 질문에 대해 ‘상향 반대’로 대답한 응답이 13%(25명), ‘찬성-50km/h로 상향’ 응답이 68%(131명), ‘찬성-60km/h로 상향’ 응답이 19%(36명)로 분석되었다. ‘찬성-50km/h로 상향’의견이 68%로 가장 많은 비율을 차지하였고, ‘상향 반대’가 가장 적은 비율(13%)을 차지하였다. 설문조사 대상자의 다수가 고속도로 정체 기준 속도 상향에 찬성하는 것으로 판단된다.



<Fig. 2> Survey Results on the Increase in Congestion Threshold Speed

<Fig. 3>에서 제시한 바와 같이, 통행속도가 어느 정도 미만일 때부터 정체를 느끼는지 여부에 대한 응답에서 ‘30km/h’로 대답한 응답자가 10%(31명), ‘40km/h’로 대답한 응답자가 42%(126명), ‘50km/h’로 대답한 응답자가 31%(93명), ‘60km/h’로 대답한 응답자가 15%(46명), ‘70km/h’, ‘80km/h’로 대답한 응답자가 1%(2명)로 나타났다. 기존 정체 기준 속도인 ‘40km/h’에서 정체를 느낀다는 응답자가 가장 많은 비율(42%)을 차지하였다. 통행속도가 ‘40km/h’, ‘50km/h’미만 일 때 정체를 느낀다는 응답자가 전체의 73%를 차지하고 있다.

현재 고속도로의 통행속도가 40km/h 미만으로 감소하였을 때, 정체(heavy congestion)로 분류하고 있는데, 이를 10km/h 상향 시키는 것에 대한 의견조사를 수행하였다. 정체 속도기준이 50km/h로 되는 것에 대한 응답 분석 결과, ‘매우 적절함’이 3%(5명), ‘적절함’이 41%(124명), ‘보통’이 29%(88명), ‘부적절함’이 24%(75명), ‘매우 부적절함’이 3%(8명)으로 분석되었다. 정체 기준속도를 올리는 방안이 적절하다는 의견이 가장 많은 비율(41%)을 차지하고 있다.



<Fig. 3> Survey Results on Congestion Recognition by Speed and Congestion Threshold Speed Increase (50km/h)

3. 시사점

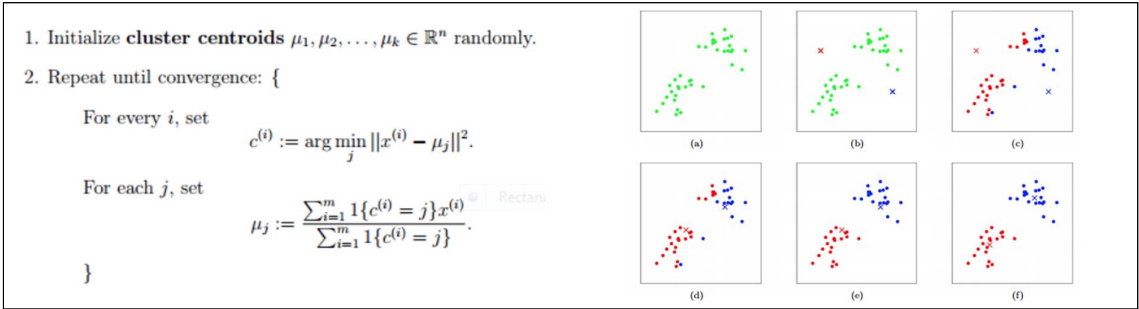
설문조사 결과는 현재의 정체 속도 기준이 운전자들의 인식과 비교하여 다소 낮은 것으로 제시하고 있다. 실제 고속도로 이용자의 정체 체감 정도 및 인식을 반영하여 정체 기준을 상향시킬 필요가 있다는 것을 보여준다. 실제로 기존 고속도로 이용자의 설문 결과 40km/h보다 높은 속도에서 정체 상황을 체감하는 것을 알 수 있으므로 이를 반영하여 고속도로 소통 정보의 신뢰도 향상 및 정체구간에 대한 체계적 관리를 위해서 정체 기준 속도를 조정하는 것이 필요한 것으로 확인되었다.

IV. 교통류 분석을 통한 정체 기준 개선 방안 도출

1. 고속도로 소통상황 유형 분류

교통량 및 통행속도를 기반으로 고속도로 소통상황을 원활, 서행, 정체의 세 가지 소통상황으로 분류하기 위하여, 클러스터 기법인 K-menas 알고리즘을 적용해 소통 상황을 군집화하고 각 군집에 대한 교통 지표 특성을 분석하였다.

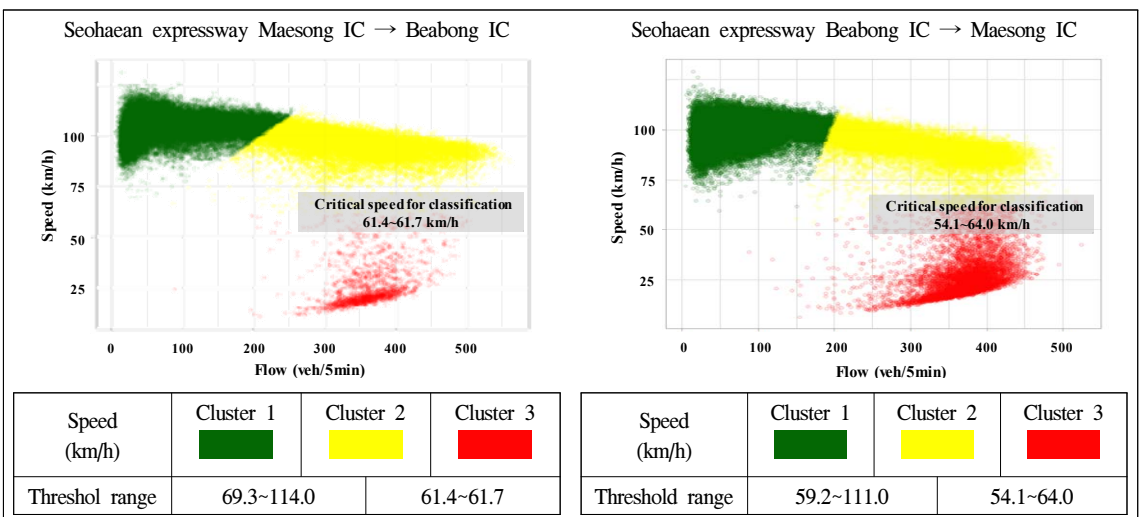
<Fig. 4>에서 설명한 바와 같이, K-means 알고리즘은 평균을 사용하여 데이터를 k개의 군집으로 분류하는 기법으로, 높은 정확도와 빠른 처리속도로 대중적으로 사용되는 클러스터 기법 중 하나이다. 본 알고리즘은 클러스터 개수 k만큼 임의로 초기 중심 값을 선택하며, k개의 중심 값과 각 데이터 간 거리를 기반으로 데이터는 가장 가까운 중심 값의 클러스터에 할당한다. 배정된 클러스터 내에서 새로운 중심 값을 계산하며 거리 기반의 클러스터 갱신 과정을 변화가 없을 때까지 반복한다.



<Fig. 4> K-means Algorithm Concept

고속도로 VDS 5분 단위 교통량 및 속도 자료에 K-means 알고리즘을 적용하여, 구간별로 소통상황을 분류하고 정체에 대한 속도 기준을 산정하였다. 2018년 평일, 고속도로 일반차로의 VDS 자료를 이용하여 소통상황 유형 분류 분석을 진행하였다. 교통량, 속도 쌍을 하나의 벡터로 하여 유클리디안 거리(Euclidean distance) 기반 유사도를 측정하므로 교통량과 통행속도 값을 정규화하는 과정이 선행되었다. 고속도로 소통상황은 앞서 언급한 바와 같이 원활, 서행, 정체로 구분되므로 클러스터 수 k 를 3으로 설정하여 분석을 진행하였다. 클러스터 수를 3으로 설정한 이유는 기존 연구들에서 사용한 것과 같이 혼잡을 크게 세 가지(no congestion, light congestion, heavy congestion)으로 구분하기 위해서이다. 분석 결과, 매송IC→비봉IC 구간의 경우, Cluster 1이 35,779개, Cluster 2가 31,226개, 그리고 Cluster 3이 1,305개로 분류되었다. 비봉IC→매송IC 구간의 경우, Cluster 1이 33,599개, Cluster 2가 27,490개, 그리고 Cluster 3이 7,223개로 분류되었다.

교통 자료는 교통량과 속도 값을 갖는 벡터로 이뤄져 있으므로, 소통상황의 기준 고려 시 속도 범위로 표현하였다. <Fig. 5>와 같이 서해안선의 매송IC→비봉IC 구간의 경우 정체와 서행의 경계 범위는 61.4~ 61.7km/h, 비봉IC→매송IC 구간의 경우 각각 54.1~64.0km/h로 산정할 수 있다. 이를 통해 정체 영역에 속하는 표본(적색)의 경계범위는 두 구간에서 모두 60km/h 수준으로 나타났다. 참고로 이 구간의 제한속도는 110km/h이다. 따라서 제한속도가 100km/h인 구간들의 경우에는 산출된 기준 속도들이 다소 낮아질 것으로 판단된다.



<Fig. 5> Classification of Traffic Conditions according to Traffic Volume and Speed Distribution

2. 정체 속도 기준 변화에 따른 정체찾은구간 변화

한국도로공사는 고속도로 정체 개선사업의 일환으로 고속도로 내 정체가 잦은 구간을 정체찾은구간으로 선정하여 정체 개선 계획을 수립하고 이를 관리하고 있다. 정체찾은구간은 통행속도 40km/h 이하의 정체 상황이 일정 시간 이상 지속되는 구간으로, 평일과 주말에 따라 판단 기준이 상이하다. 고속도로 이용자들에게 대한 설문조사 결과, 교통류 기반 정체 기준 속도 분석 결과, 그리고 제한속도가 110km/h인 고속도로 구간의 확대를 종합적으로 고려할 때, 기존 정체 기준 속도 40km/h의 상향이 필요한 것으로 판단된다. 그리고, 현행 기준 속도를 그대로 적용할 경우 수도권 주변 극히 일부 고속도로 구간만이 정체찾은구간으로 선정되어 고속도로 전체 네트워크에 대한 체계적이고 실효성있는 정체 관리가 어려울 것으로 전망된다.

따라서 본 연구에서는 정체 속도 기준을 50km/h와 60km/h로 상향하는 것을 가정하여 추정된 정체찾은구간 연장과 현행 기준 속도를 이용하여 산정한 정체찾은구간 연장을 비교하였다. 2018년 고속도로 전체 노선 구간(민자 노선 제외, 기종점 방향 구분)에서 수집된 VDS 1시간 단위 통행속도 자료를 활용하여 정체 기준 속도별 정체찾은구간 연장을 산정하였다. 여기서 정체 기준 속도 외에 정체찾은구간 선정을 위해 필요한 기준인 지속 시간 및 발생 빈도는 현행 기준을 그대로 적용하였다. 평일과 주말·공휴일을 구분하여 분석을 진행하였으며, 분석 결과는 <Table 5>와 같다.

<Table 5> Lengths of Frequent Congestion Expressway Sections according to Congestion Threshold Speeds

Classification	Congestion Threshold Speed 40km/h	Congestion Threshold Speed 50km/h	Congestion Threshold Speed 60km/h
Weekday (End point direction)	34.0km	56.1km	103.6km
Weekday (Start point direction)	34.8km	53.4km	105.7km
Weekend (End point direction)	9.3km	15.0km	33.1km
Weekend (Start point direction)	2.4km	13.5km	31.2km
Sum	80.5km	138.0km	273.6km

분석 결과, 정체 기준 속도를 50km/h로 상향 시 정체찾은구간의 길이가 80.5에서 138.0km로 변경되어 57.5km가 증가하였다. 또한, 60km/h로 상향 시 193.1km가 증가하는 것으로 나타났다. 60km/h로 변경할 경우 정체찾은구간의 길이가 너무 길어질 수 있고, 정체구간 개선사업 등을 시행하고 철저히 관리하기 힘들 질 수 있다. 따라서 고속도로 이동성 관리 측면에서 정체 기준 속도를 단기적으로 50km/h로 상향하는 것이 적절한 정체 관리에 필요한 것으로 판단된다. 또한 향후 자율주행, 화물차 군집주행, C-ITS 등이 고속도로를 중심으로 도입 및 확산될 것으로 전망되는 바, 추후 변화된 고속도로 주행 환경을 고려하여 이러한 분석이 새롭게 수행될 필요가 있다고 사료된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 운전자가 체감하는 정체 상황에 부합하는 정체 기준 속도를 알아보기 위하여 고속도로 이용자 대상 설문조사 및 교통류 분석을 실시하였다. 이를 위해 연구의 범위와 내용을 설정하고, 관련 이론과 기존 연구에 대한 고찰을 하였다. 고찰된 내용을 바탕으로 고속도로 이용자의 정체 인식 조사를 위한 설문조사를 진행하였다. 설문조사는 세 곳의 휴게소에서 총 300명을 대상으로 시행되었다. 설문 내용은 설문자 인식사항, 고속도로 이용 특성, 고속도로 정체 인식 등의 항목으로 시행되었다. 고속도로 정체 인식 설문조사 결과 기존의 정체 기준 속도(40km/h)가 다소 낮은 것으로 인식하고 있었으며, 40km/h보다 높은 속도에서 정체 상황을 체감하고 있음을 파악할 수 있었다. 교통량 및 통행속도를 기반으로 정체 상황의 기준을 알아보기 위하여 VDS 데이터를 기반으로 교통류 분석을 실시하였다. K-means 알고리즘을 통해 교통량 및 속도 자료를 활용하여 원활, 서행, 정체의 세 가지 소통상황으로 분류하였다. 분석 결과, 제한속도가 110km/h인 구간을 대상으로 서행과 정체의 분류 기준은 60km/h 수준인 것으로 나타났다. 고속도로의 효율적인 관리를 위한 정체 기준 속도를 선정하기 위하여 위하여 정체 기준 속도가 변경될 경우, 정체찾은구간 길이의 변화 정도를 분석하였다. 정체 기준 속도를 50km/h와 60km/h로 상향을 가정하여 정체찾은구간의 길이를 산정해본 결과 각각 57.5km와 193.1km가 증가하는 것으로 나타났다. 60km/h로 변경할 경우 정체찾은구간의 길이가 너무 길어질 수 있고, 정체구간 개선사업 등을 시행하고 철저히 관리하기 힘들 질 수 있다. 따라서 고속도로 이동성 관리 측면에서 정체 기준 속도를 단기적으로 50km/h로 상향하는 것이 적절한 것으로 판단된다. 또한 장기적으로는 자율주행, 화물차 군집주행, C-ITS 등의 확산, 인구의 변화, 고속도로 이용자들의 이동성에 대한 요구 사항 변화를 종합적으로 고려하여 추가적인 분석을 통해 합리적으로 설정할 필요가 있다.

또한, 현재까지는 정체 기준 속도를 도로의 유형과 무관하게 적용해온 경향이 존재한다. 즉, 연속류인 고속도로와 단속류인 도시부 도로 등은 엄연히 다른 유형의 도로이다. 특히, 도시부 도로의 경우는 최근 “안전속도 5030” 정책과 같은 속도 관리 정책이 강화되고 있다. 따라서, 향후 연속류와 단속류를 구분하여 정체 기준 속도를 설정하는 연구가 필요한 것으로 판단된다.

본 연구에서 도출된 정체 기준 속도 상향안은 정성적인 분석과 정량적인 분석을 모두 시도하여 도출된 기준이라는데 의의가 있다. 또한, 고속도로 정체 기준 속도는 자동차 성능 개선, 생활수준 향상에 따른 운전자의 신속한 이동 욕구 증가, 자율주행, 화물차 군집주행 등을 포함한 시대 및 환경적 변화를 수용하고, 기존의 고속도로 정체 기준속도와 운전자가 체감하는 정체 상황과의 심리적 괴리를 축소하는 데 기여할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 향후 고속도로의 정체 관리를 위해 적절한 정체 기준 속도 정립에 본 연구가 기초 자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 논문은 한국도로공사가 수행한 ‘고속도로 중장기 교통운영 개선방안 수립 및 관련 지표 분석’ 연구 결과와 국토교통부 교통물류연구사업 ‘V2X기반 화물차 군집주행 운영기술 개발(과제번호 : 19TLRP-B147674-02)’ 과제 지원에 의해 작성되었습니다.

REFERENCES

- Falocchio J. C. and Levinson H. S.(2015), *Road Traffic Congestion: A Concise Guide*, vol. 7, Springer.
- Korea Expressway Corporation Research Institute(KECRI)(2012), *Traffic Congestion Management System(CMS) Introduction Plan*, Korea Expressway Corporation.
- Korea Expressway Corporation Research Institute(KECRI)(2019), *Establishment of Mid- to Long-term Highway Traffic Operation Improvement Plan and Analysis of Related Indicators*, Korea Expressway Corporation.
- Korea Expressway Corporation(KEC)(2008), *Study on the Establishment of Criteria for Determining Traffic Conditions on Expressway*.
- Korea Expressway Corporation(KEC)(2011), *Improvement of the Criteria for Selecting Congested Sections of Expressway*.
- Neudorff L. G., Randall J., Reiss R. A. and Gordon R. L.(2003), *Freeway management and operations handbook*(No. FHWA-OP-04-003), United States, Federal Highway Administration, Office of Transportation Management.
- Qu T.(2010), *Investigating the Effect of Freeway Congestion Thresholds on Decision-making Inputs*, UTCM 09-12-11, Texas Transportation Institute.
- Shin H., Han S., Park M., Tak S., Park G., Park S., Kang W. and Yang S.(2018), *2018 Analyzing and improving the cause of road congestion using big data*, The Korea Transport Institute.