

# 차량 시뮬레이터를 이용한 안개 도로 가변제한속도 순응 경향 분석

## An Analysis on Compliance of Variable Speed Limit under Foggy Conditions using Driving Simulator

김솔람\* · 이석기\*\* · 김용석\*\*\*

\* 주저자 : 한국건설기술연구원 신진연구원

\*\* 교신저자 : 한국건설기술연구원 수석연구원

\*\*\* 공저자 : 한국건설기술연구원 연구위원

Soullam Kim\* · Sukki Lee\*\* · Yongseok Kim\*\*\*

\* Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

\*\* Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

\*\*\* Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

† Corresponding author : Sukki Lee, E-mail oksk@kict.re.kr

Vol.16 No.2(2017)

April, 2017

pp.116~127

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

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

2017.16.2.116

Received 16 January 2017

Revised 15 February 2017

Accepted 5 April 2017

© 2017. The Korea Institute of  
Intelligent Transport Systems. All  
rights reserved.

### 요 약

도로 상의 안개는 교통류에 영향을 미치는 요인으로 알려져 있다. 이를 해소하기 위한 방안으로 최근 실시간 도로 및 기상조건에 따라 적절한 제한속도를 제공하는 가변제한속도시스템 VSL(Variable Speed Limit)을 도입하여 운영하고 있다. 하지만, VSL은 운전자가 제한속도를 준수하지 않을 경우 차량 간 속도 편차가 증가하여 오히려 교통사고의 위험도를 가중시킬 수 있다. 따라서, 본 연구는 기상조건별 VSL 유·무에 따른 운전자의 가변속도제한의 순응 경향 및 교통특성 분석을 목적으로 한다. 차량 시뮬레이터를 이용한 주행 환경을 구현하여 실험을 수행하였으며 기상조건은 크게 맑음, 안개로 나누었다. 분석 결과, 피험자의 평균 속도는 대부분 제한속도를 순응하였지만 전체적으로 속도 편차는 가변제한속도를 적용할 경우에 감소하는 것으로 분석되었고 특히, 안개가 발생할 경우 더욱 뚜렷하게 감소하는 것으로 나타났다. 기상조건이 운전자의 전방 시거에 영향을 미치면 VSL에 대한 운전자의 순응도는 높아지고, 속도 편차가 감소하여 교통안전성 향상에 도움을 주는 것으로 나타났다. 이는 향후 가변속도제한 운영속도를 산정하는데 기초자료로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 안개, 가변제한속도, 차량 시뮬레이터, 순응 경향

### ABSTRACT

A fog on road is known as a weather factor that affects traffic flow. The method in order to solve the problem, recently, Variable Speed Limit(VSL) which provide reasonable speed limit by road and weather conditions in real time is introduced. However, if drivers do not comply with VSL, the road safety more decrease than without VSL because individual vehicle's speed deviation is larger than without VSL. Therefore, this paper aims to analyze to speed limit compliance and traffic characteristics under foggy conditions with and without VSL. A test using driving simulator divides into normal and foggy condition with visibilities are 200m, 150, 50-100m. The test results showed that 70 subjects's average speed mostly obeyed speed limit, but speed deviation generally declined with VSL. Especially, the speed deviation more reduced under foggy conditions. According to this study, compliance of VSL clearly rose in low visibility and VSL helped improve road safety due to reduction of speed deviation. The results of this study are expected to make use of reasonable speed limit for reference.

Key words : Foggy, Variable Speed Limit(VSL), Driving Simulator, Compliance

## I. 서 론

### 1. 연구의 배경 및 목적

도로 상의 기상 요인 중 특히, 안개는 전방시거 제약으로 인하여 운전자의 주행 행태에 영향을 미쳐 교통 흐름을 방해하고, 교통사고 위험도를 증가시키는 요인으로 알려져 있다. 2011년부터 2015년까지 안개로 인한 교통사고 발생 건수는 평균 374건으로 해마다 증가하는 경향을 보였다(Korea Road Traffic Authority, 2011-2015). 또한, 다른 기상 요인에 비하여 안개 발생 시의 교통사고 건수는 낮지만, 사망자수의 비율은 맑음 2.2%, 흐림 3.5%, 비 3.0%에 비해 월등히 높은 평균 9.8%에 이른다. 실제로 안개로 인한 교통사고는 대형 교통사고로 이어지며, 그 일례로 2015년 서해안 고속국도 영종대교 106중 추돌사고, 2011년 천안-논산 고속국도 104중 추돌사고 등이 있다. 이에 따른 안개에 대응한 도로분야의 능동적인 안전 대책 마련이 시급한 실정이다. 미국, 프랑스, 네덜란드, 독일 등 세계의 주요 국가들은 이러한 문제를 해결하기 위해 가변제한속도 시스템 VSL(Variable Speed Limit)를 도입하여 주행안전성 및 교통 혼잡을 최소화하기 위해 노력 중에 있다. 가변제한속도는 실시간 도로 및 기상 상황에 따라 적절한 속도를 가변적으로 제공하여 교통 혼잡이나 교통사고를 사전에 예방할 수 있는 기법이다. 우리나라는 도로교통법 시행규칙을 개정하여 2011년부터 가변제한속도를 시행하고 있으며(Korea Road Traffic Authority Traffic Science Institute, 2015), 영종대교에서 현재 시범 운영 중에 있다. 하지만 가변제한속도는 운전자의 제한속도 준수율이 낮거나 차량 간 속도 편차가 높아지면 교통사고를 가중시킬 수 있다. 운전자는 법정 최고 속도를 지켜야할 의무가 있으며, 기상 조건 등에 의하여 제공되는 가변제한속도에 따르지 않는다면 전반적으로 교통시스템에 혼란을 야기 시켜 교통사고로 이어질 수 있다. 따라서, 가변제한속도를 제공할 경우 운전자들이 제한속도를 어느 정도 준수하는지에 대한 경향 즉, 순응 경향을 파악하는 것이 필요하지만 대부분의 가변제한속도 연구는 교통운영 효율성 분석 연구가 대부분이며, 특히 악천후 중에서 안개에 대응한 연구는 미미한 실정이다.

이에 본 연구는 가상 주행 시뮬레이터를 활용하여 안개 도로에서의 가변제한속도에 대한 운전자 순응 경향을 분석하여 기상 조건에 따른 가변제한속도 표지 및 시스템 사용의 유효성 검증을 목적으로 한다.

### 2. 연구범위 및 방법

안개 발생 시 운전자의 가변제한속도에 대한 순응 경향을 파악하기 위해 본 연구에서는 가상 주행 환경을 구축하였다. 기상 조건은 크게 맑음, 안개로 나누었으며, 안개는 세부적으로 약 200m, 150m, 100m의 시정거리를 기준으로 나누었다. 기상 조건 및 가변제한속도의 유·무에 따라 운전자의 지점 속도를 분석하여 순응 경향을 파악하였다.

연구의 흐름은 다음과 같다. 첫째, 가변제한속도 관련 선행연구 고찰, 둘째, 가상 주행 실험 연구방법을 설명했다. 셋째, 가상 주행 실험 연구결과에 대해 서술하고, 마지막으로 결론을 제시하였다.

## II. 선행연구 동향

### 1. 가변제한속도 관련 선행연구

Allaby(2007)는 고속도로 정체구간의 침두시 및 비침두시에 가변속도제어에 따른 안전도 변화를 분석하였다. 그 결과, 가변속도제어 시 상대적으로 침두시 39%, 비침두시 5%의 안전도가 감소하는 것으로 나타났지만 평균통행시간은 증가되는 것으로 나타났다. Cho et al.(2011)은 가변속도제어가 시공간적으로 차량을 분산시켜 급격하게 증가하는 밀도 및 지정체를 예방하는 효과가 있는 것으로 보고하였다. 운전자가 지정체를 체감하는 시간에 대한 개선효과가 있는 것으로 나타났으며, 이를 통해 가변속도제어가 불안정교통류를 안정교통류로 전환시킨다고 언급하였다. Ryu et al.(2011)은 장대 터널 주행 시 운전자의 안전성을 향상시키기 위해 실제 건설 공사 구간의 기본설계안을 차량 시뮬레이터 환경에 맞춰 총 19명의 피험자를 대상으로 안전성 평가를 수행하였다. 그 결과, 도로 선형이 바뀌는 변곡점 전후가 사고 위험성이 높은 것으로 나타났다.

Choi et al.(2013)는 강우 시 고속도로의 가변제한속도의 운영 시 교통안전 효과를 분석하였다. 서울-춘천 고속도로의 강우 시 실제 데이터를 기반으로, 교통특성을 분석한 결과 강우 강도가 증가할수록 차두간격은 증가하고 평균속도는 감소하는 특성을 나타냈다. 이를 기반으로 가변제한속도 운영 시뮬레이션을 수행하였으며, 운전자 순응도를 100%, 80%, 50%로 나누어 분석하였다. 그 결과, 가변제한속도를 운영할 경우 강우 시 속도 표준편차가 증가하는 것을 감소시킴으로써 교통안전효과가 있음을 제시하였다. 또한, 운전자 순응도가 높을수록 교통안전효과가 증가한다고 하였다. Eo et al.(2013)은 터널구간의 가변속도제어 운영 알고리즘을 새롭게 개발하여 효과 검증을 수행하였다. 신호연동에서 착안하여 3개의 VSL을 실시간으로 연동하는 알고리즘을 개발하였으며 VISSIM을 활용한 시뮬레이션 분석 결과, 개별차량의 정지횟수 및 가·감속도 분산이 최대 51.2%, 13.2% 감소하여 안전성 향상에 기여한다는 것을 제시하였다. Lee et al.(2013)은 운전자의 가변속도제어 준수율에 따른 사고 위험도를 분석하였다. 정지시거에 기반한 SDI(Stopping Distance Index)를 산출하여, Paramics APT를 활용한 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 그 결과, 준수율이 높을수록 사고 위험도는 낮아지며 준수율이 동일할 경우, 교통량이 적을수록 사고 위험도가 낮아지는 것으로 분석하였다.

Li et al.(2014)은 악천후 시 가변제한속도를 적용하여 교통안전성을 향상시키기 위한 방법론을 개발하였으며, 차량추종모형을 활용하여 5가지 기상상태에서 운전자 주행행태를 분석하였다. 고속도로 본선 충돌가능성을 평가한 결과, 가변제한속도 적용 시 짙은 안개 발생 시 약 54%, 강우 강도가 높을 시 약 92%의 충돌가능성을 감소시킨다고 하였다. Han(2016)은 고령자의 운전 수행 능력을 파악하기 위해 차량 시뮬레이터를 활용하였으며, 고령자 중 운전자와 비운전자를 나누어 과속, 중앙선 침범, 정지 반응시간 등을 분석하였다. 그 결과, 운전 경험이 있는 그룹에서 위험 및 사고 횟수가 적었지만, 주행 속도, 정지 반응 시간, 차선이탈항목에서는 큰 차이가 없음을 제시하였다.

### 2. 가변제한속도 운영기준 관련 동향

국내에서는 가변제한속도 정의 및 악천후 시 감속 규정에 대해 법령이 있다. 도로교통법 시행규칙 제19조에 의하면 가변형 속도제한표지로 최고속도를 정한 경우 이를 따라야하며, 가변형 속도제한표지와 그 밖의 안전표지의 최고속도가 상이할 경우 가변형 속도제한표지를 따라야한다고 언급하고 있다. 운영기준은 비가 내려 노면이 젖은 경우, 눈이 20mm 미만 쌓인 경우 최고속도의 20%를 감속시키고, 안개, 폭우 등으로 가시거리가 100m 이내인 경우, 노면이 언 경우 및 눈이 20mm 이상 쌓인 경우 최고속도의 50%를 감속하는 것으

로 제시하고 있다(National law information center, 2010). 또한, 도로교통공단에서 악천후 시 가변제한속도의 방안을 제시하고 있다. 가변형 제한속도표지와 제한속도 산정방안을 연구하였으며, 제한속도는 정지거리, 노면상태, 교통량 등에 따라 산정하는 방안을 제시하고 있다(Hong, 2015).

국내의 가변제한속도 시범 운영구간인 영종대교의 운영기준 중 가시거리 기준의 가변제한속도는 <Table 1> 과 같다.

<Table 1> Speed Limit and Road Weather Conditions

Speed limit(km/h)	Weather condition
100	-Visibility(Normal) : more than 1km
80	-Visibility(Fog) : 250m ~ 1km
50	-Visibility(Fog) : 100m ~ 250m
30	-Visibility(Fog) : 20m ~ 50m
Road closed	-Visibility(Fog) : less than 20m

### 3. 기존 연구와의 차별성

기존의 가변제한속도 관련 연구를 살펴보면 가변제한속도의 교통안전도 향상 관련 연구가 다수를 이루었다. 대부분의 선행 연구에서 운전자가 가변제한속도를 순응할 경우 각각의 개별차량의 속도편차를 감소시켜 교통안전도가 향상하는 것으로 나타났다. 하지만, 운전자가 가변제한속도를 어느 정도 순응하는가와 안개가 발생할 경우의 순응 경향에 대한 연구는 미미하였다. 따라서, 본 연구에서는 안개 발생 시 운전자의 가변제한속도 순응도 및 교통특성을 분석하고 가변제한속도 표지의 운영 필요성을 제시하였다.

## Ⅲ. 연구방법

### 1. 도로 조건

본 연구는 보행자, 교통신호 등의 다른 요인을 배제하고자 연속류 도로를 대상으로 실험을 수행하였다. 따라서 경부고속도로 동탄 JCT~안성IC 구간을 참조하여 왕복 6차로 도로, 차로폭 3.5m의 시뮬레이션 환경을 구축하였으며, 2016년 8월 25일부터 9월 9일까지 차량 시뮬레이터를 활용하여 실험을 수행하였다. 실험거리는 약 8km로, 연속류 구간을 주행하면서 기상 변화가 이루어지도록 설계하였다.

### 2. 기상 조건

기상 조건은 크게 맑음과 안개로 나누었으며, 안개의 경우 시정거리를 세 단계(200m, 150m, 50~100m)로 구분하여 실험을 수행하였다. 시정거리 200m의 경우, 시정거리 200m 이하의 안개 발생 시 교통특성에 영향을 미치는 것으로 나타난다는 Cho and Yoon(2002), Oh(2005), Lim(2007), Kim(2016) 등의 연구 결과를 고려하였다. 또한, 시정거리 100m와 50m의 경우, 현재 영종대교에서 가변제한속도 시범 운영기준에서 제시된 기준을 고려하였다. 가상의 주행환경에서 시정거리를 적절히 모사할 수 있도록 가상 도로 주변의 식재, 표지,

중앙분리대를 기준으로 안개 상황을 모사하였다.

노면상태는 건조 상태로 맑음, 안개 모두 동일하게 설정하였다. 기상 조건이 변화되는 구간을 따로 설계하여 기상이 급작스럽게 변화되는 것을 방지하였다. <Table 2>는 기상 조건에 따른 시정거리를 나타낸다.

<Table 2> Road Weather and Visibility Conditions

Weather conditions	Visibility
Normal	over 1,000m
Foggy	200m
	150m
	50~100m

### 3. 피험자

총 70명의 남녀 운전자가 실험에 참여하였으며, 국내 운전면허 소지자의 성별 비를 반영하여 남자 42인(60%), 여자 28인(40%)으로 구성되었다. 또한, 20세 이상~34세 이하 35명, 35세 이상~50세 이하 35명의 두 그룹으로 나누어 진행하였다.



<Fig. 1> Single Channel of Driving Simulator

### 4. 실험절차

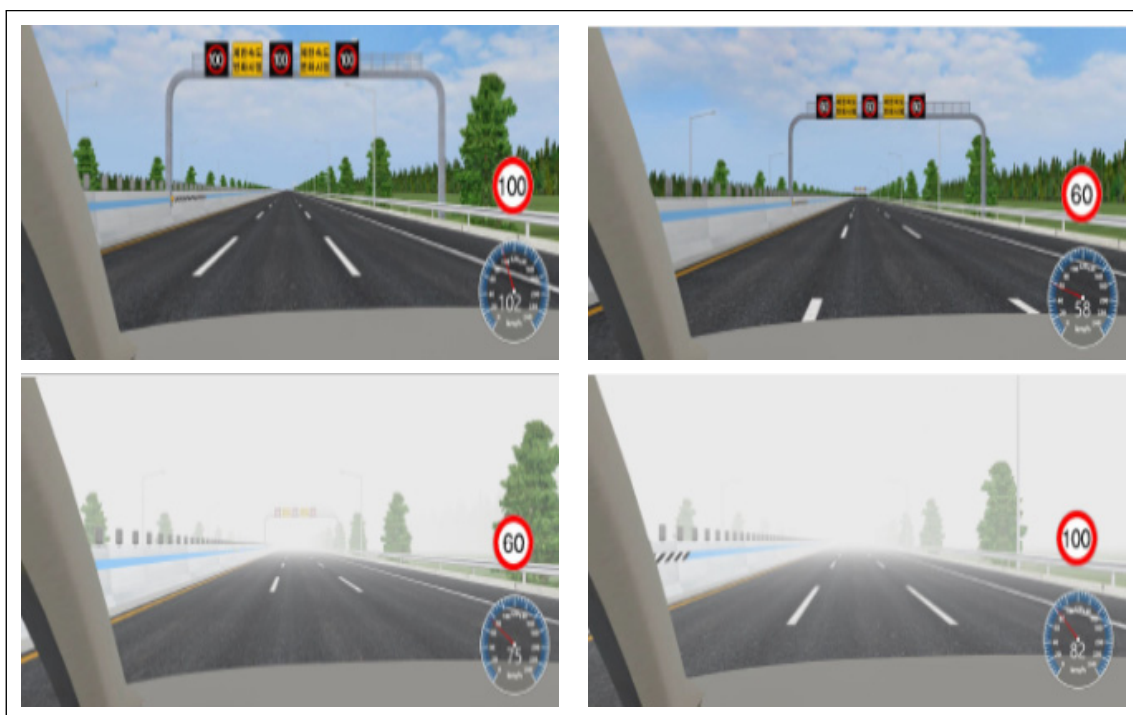
차량 시뮬레이터 실험 시 피험자가 실험에 대한 목적 및 의도 등을 알지 못하도록 실험과 관련된 전반적인 유의사항 등만을 설명 후 실험을 진행하였다. 피험자가 차량 시뮬레이터에 적응하기 위해 별도로 6km의 예비주행 시행 후, 본 실험을 수행하였다.

차량 전면 우측 유리창에 속도가 표시되도록 하였으며 제한속도가 변하기 직전에 음성 지원을 한차례 수행하였다. 기상조건 맑음 시 가변제한속도 적용 및 미 적용 구간, 안개 발생 시 가변제한속도 적용 및 미 적용 구간으로 나누어 표지가 구축된 지점의 속도를 분석하였다. <Fig. 2>는 네 가지 시뮬레이션 환경을 나타낸다. 시나리오 구분은 기상조건이 맑을 경우 N, 안개가 발생할 경우 F로 두었으며, 가변제한속도 적용의 경우 1, 미 적용일 경우 0로 두었다. 가변제한속도의 변화는 100km/h~50km/h로 설정하였으며 <Table 3>은 시나리오를 나타낸다.

〈Table 3〉 The Scenario of Test

Contents	Weather Conditions (Visibility)		Displayed Speed Limit (km/h)
N0 (without VSL)	Normal(over 1,000m)		100
N1 (with VSL)			100-80-60-50
F0 (without VSL)	Foggy	(200m)	100
		(150m)	100
		(50~100m)	100
F1 (with VSL)		(200m)	80
		(150m)	60
		(50~100m)	50

본 연구는 개별 차량의 주행속도를 평가척도로 두었으며, 각 시나리오별 교통특성을 분석하고 시나리오 간 차이를 통계적으로 검증하기 위해 T-test를 수행하였다. 또한, 제한속도 순응 범위는 제한속도를 기준으로 5km/h, 10km/h, 15km/h 이내로 총 네 가지 범위를 나누어 분석하였다. 이를 통해 가변제한속도 유·무에 따른 운전자 순응 경향 및 교통특성을 파악하고자 하였다.



〈Fig. 2〉 Virtual Environment of Driving Simulator Test

## IV. 연구결과

### 1. 교통특성 분석

차량의 주행 속도는 교통의 특성을 나타내는 요소 중 하나로, 본 연구에서는 표지판이 설치되어 있는 지점의 속도를 분석하였다. <Table 4>는 각 시나리오별 속도 특성을 나타낸다.

네 가지 시나리오 조건에 따른 각 표지판 지점의 속도를 분석한 결과, 피험자 70명의 평균 속도는 기상이 맑음 시 제한속도를 50km/h로 제시한 경우를 제외하고는 제한속도를 순응하였다. 50km/h일 경우, 운전자가 판단하기에 제한속도가 현저히 낮아 운전자 스스로 과속하는 경향이 있는 것으로 추정된다. 안개가 발생할 경우에는 가변제한속도가 제공되지 않더라도 시정거리가 낮아질수록 평균속도가 낮아졌다. 속도 편차 및 분산은 가변제한속도를 적용할 경우에 전체적으로 감소하는 것으로 분석되었다. 특히, 안개가 발생할 경우 가변제한속도 유·무에 따라 속도 편차 및 분산의 차이가 크게 나타났다. 시정거리가 낮아질수록 가변제한속도를 적용하면 속도 편차가 뚜렷하게 감소하였으며, 가변제한속도를 적용하지 않을 경우 반대로 편차가 점점 증가하는 것으로 분석되었다. 맑음 경우 역시 가변제한속도를 적용할 경우 미 적용시보다 상대적으로 속도 편차가 감소하였다. 가변제한속도를 특히, 악천후 상황에서 제공할 경우 속도 편차가 감소하여 교통 위험성이 감소하는 것으로 분석되었다.

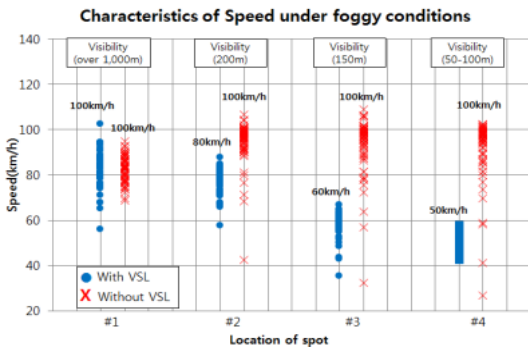
85 percentile 속도는 교통류 내에서 안전운전에 필요한 합리적인 속도의 최댓값을 나타내는 속도로, 제한속도 규정 시 기초 값으로 활용되기 때문에 본 연구에서도 제공된 제한속도가 적정하지 파악하였다. 본 연구의 85 percentile 속도는 피험자 70명의 속도 데이터 중 60번째 최댓값으로 분석하였다. 분석 결과, 평균속도의 분석결과와 마찬가지로, 맑음 시 제한속도를 50km/h로 제시한 경우를 제외하고는 제공된 제한속도에서 3km/h 이내의 속도로 주행한 것으로 나타났다.

<Table 4> Descriptive Statistics of the Test

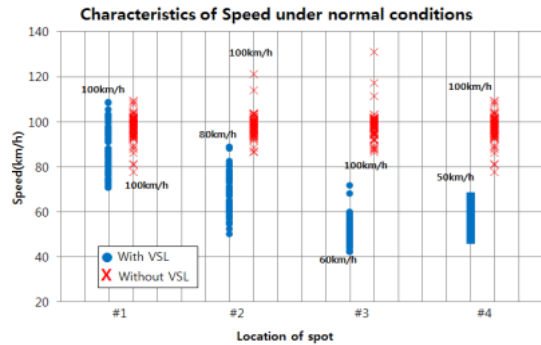
Contents	Displayed speed limit	Statistics analysis(km/h)					
		Average	Standard deviation	Variance	85 Percentile speed	Maximum	Minimum
N0	100	97.44	5.83	33.93	101.83	109.47	77.54
	100	98.19	5.08	25.84	102.11	121.18	86.34
	100	98.15	6.39	40.80	101.40	131.13	86.63
	100	97.37	5.80	33.60	101.82	109.47	77.54
F0	100	82.82	5.49	30.18	88.40	94.77	68.85
	100	94.69	9.28	86.13	100.49	106.53	42.67
	100	93.39	12.23	149.67	101.04	109.04	32.53
	100	91.83	13.63	185.73	100.03	102.49	26.72
N1	100	87.14	10.26	105.28	97.73	108.31	70.57
	80	67.16	9.26	85.76	76.47	88.54	49.72
	60	50.38	5.67	32.14	56.00	71.47	41.92
	50	56.15	3.91	15.26	60.16	66.81	47.41
F1	100	81.65	7.86	61.74	90.77	102.53	55.83
	80	77.49	5.13	26.28	81.91	87.54	57.70
	60	58.23	5.00	25.00	61.79	66.79	35.33
	50	49.39	3.29	10.82	52.83	57.89	42.51

<Fig. 3>은 F0과 F1, 즉, 안개 발생 시 가변제한속도 유·무에 따른 개별 속도 분포를 나타낸다. 그래프를 살펴보면 가로축은 가변제한속도 표지의 지점을 나타내며, 그래프 상에 각각의 제한속도 및 안개의 시정거리를 표기하였다. 세로축은 개별 차량의 지점 속도를 나타낸다. 안개 발생으로 인한 시정거리가 감소할수록 F0의 개별 차량 속도의 편차가 커지고, F1의 경우 편차가 뚜렷하게 감소하여 가변제한속도 유·무에 따라 편차가 10km/h 이상 감소하는 것을 명확하게 파악할 수 있다. 가변제한속도가 없는 경우, 시정거리가 짧아질수록 속도 편차가 증가하는 것은 시정거리가 짧아지면 운전자는 전방 시거가 확보되지 않아 개인의 판단에 따라 속도를 조절하는 것으로 판단된다. 이에 따라 개인의 적정 속도 유지에 대한 판단 차이가 다양한 것으로 보였다.

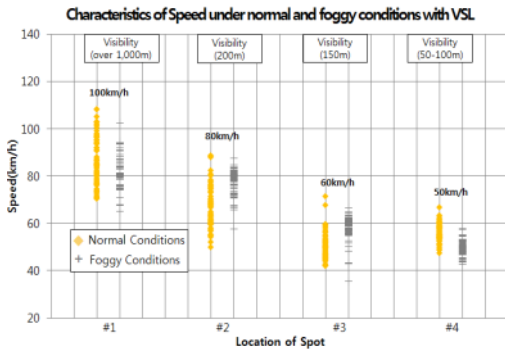
<Fig. 4>는 N0과 N1 즉, 기상이 맑을 경우 가변제한속도 유·무에 따른 속도 분포를 나타낸다. 맑을 경우에는 안개 발생 시보다 전체적으로 속도 범위가 소폭 증가하였다. 또한, 가변제한속도 유·무에 따른 속도 편차가 안개 발생 시 보다 상대적으로 적은 것으로 분석되었다.



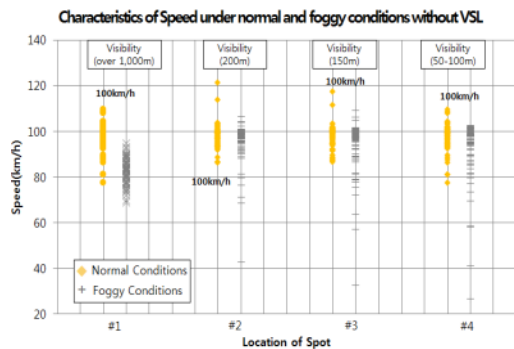
<Fig. 3> Characteristics of Speed under foggy conditions



<Fig. 4> Characteristics of Speed under normal conditions



<Fig. 5> Characteristics of Speed under normal and foggy conditions with VSL



<Fig. 6> Characteristics of Speed under normal and foggy conditions without VSL

<Fig. 5>와 <Fig. 6>는 가변제한속도 제공 조건이 동일하게 주어지지만 기상조건이 다른 속도 데이터 분석 결과를 나타낸다. 먼저 <Fig. 5>는 N1과 F1의 분석 결과로, 가변제한속도를 적용한 경우를 나타낸다. 대체로



제한속도를 준수하는 것으로 나타났지만 제한속도가 50km/h일 경우 맑은 날에는 안개 발생 시보다 평균 속도가 높은 것으로 나타났다.

반면, 가변제한속도 미 적용 구간에서는 N0과 F0의 분포는 제한속도가 100km/h로 동일하게 주어짐에도 다소 차이가 나는 것으로 분석되었다. 기상이 맑을 경우에는 모든 차량의 속도 분포는 약 80km/h~130km/h였지만, 안개가 발생할 경우에는 약 30km/h~110km/h로 최저 및 최대 속도가 전반적으로 낮아지는 경향을 보였다.

안개 발생 시에는 맑은 날에 비해 개별 차량 속도의 편차가 뚜렷하게 차이나는 것으로 나타났다. 이러한 교통특성을 분석한 결과, 가변제한속도 적용에 따라 운전자의 속도차이가 있다고 판단하였고 이를 통계적으로 검증하기 위해 T-test를 수행하였다. T-test는 95%의 신뢰수준을 기반으로 분석하였다. T-test는 N0-F0, N1-F1 두 가지와 N0-N1, F0-F1 두 가지로 나누어 총 네 가지로 수행하였다. 각 T-test의 대립가설은 ‘속도 차이가 있다’로 설정하였다. <Table 5>는 T-test 분석 결과를 나타낸다. 평균값과 표준편차는 앞서 제시하였기 때문에 생략하고, p값만을 제시하였다. 표에서 제시한 제한속도는 가변제한속도를 기준으로 하였으며, 가변제한속도 미 적용 시에는 100km/h로 일정하다. T-test 분석 결과, 대부분 p값이 0.05이하로 나타나 귀무가설이 기각되고 속도 차이가 있는 것으로 나타났다. 하지만 안개가 발생하고 제한속도를 100km/h로 동일하게 제시한 경우 p값이 0.3033으로, 가변제한속도 유·무에 따른 속도 차이가 없는 것으로 분석되었다.

<Table 5> Results of T-test

Contents	Displayed speed limit	p-value	Alternative hypothesis
N0-F0	100	2E-31	O
	100	0.0034	O
	100	0.0048	O
	100	0.0023	O
N1-F1	100	0.0005	O
	80	6E-13	O
	60	9E-15	O
	50	9E-21	O
N0-N1	100	3E-12	O
	80	4E-35	O
	60	3E-53	O
	50	5E-60	O
F0-F1	100	0.3033	X
	80	9E-33	O
	60	5E-40	O
	50	4E-38	O

## 2. 가변제한속도 순응 경향 분석

운전자의 가변제한속도 순응 경향을 파악하기 위해 과속한 운전자 수를 분석하였다. 제한속도를 준수한 운전자 외에도, 제한속도 기준 5km, 10km, 15km 이내로 준수한 운전자 수도 분석하여 가변제한속도를 순응하는 경향을 파악하고자 하였다.

분석 결과, N0의 기상이 맑을 경우 제한속도를 초과하는 차량은 약 20%인 것으로 나타났으며 제한속도

+15km/h를 초과하는 차량이 약 3% 있는 것으로 나타났다. N1의 경우, 제한속도 기준 과속 차량은 N0의 경우보다 적었으며, 대부분의 차량이 제한속도 +10km/h 이내로 주행하였다. 하지만 제한속도를 50km/h를 제공하였을 경우에는 과속율이 91%로 나타났으며, +10km/h를 초과하는 차량도 20%가 넘는 것으로 나타났다. 안개 발생 시에는 가변제한속도 유·무에 관계없이 제한속도를 초과하는 차량은 17% 이상이었지만, 제한속도 +5m/h를 초과하는 차량은 평균 약 3% 정도로 나타나 대부분 제한속도에 근접하게 운전하는 것으로 파악되었다. 특히 가변제한속도의 속도가 감소할수록 제한속도를 초과하는 차량은 최대 28대로 과속율이 40%로 나타났지만 제한속도 +5km/h를 초과한 수는 최대 5명으로, 약 7% 이내로 분석되었다. 가변제한속도가 없는 경우, 제한속도를 초과한 차량은 최대 19대로 과속율이 약 27%로 가변제한속도를 제공한 경우에 비해 제한속도 준수율이 높은 것으로 분석되었다. 가변제한속도의 조건은 동일하고, 기상 조건을 달리 주었을 때 안개가 발생한 상황에서 제한속도 순응율이 최대 15% 증가하는 것으로 나타났다.

순응 경향을 분석한 결과, 가변제한속도가 주어지더라도 기상이 맑을 시에는 운전자가 판단하기에 제한속도가 현저히 낮을 경우 과속율이 높은 것으로 판단된다. 또한, 안개가 발생하여 시정거리에 영향을 미칠 경우에는 가변제한속도 유·무에 관계없이 제한속도 +10km/h 이내의 속도로 주행하는 것으로 분석되었다.

<Table 6> Trend of Driver Adaptation

Contents	Displayed speed limit	The number of Non-Compliance to speed limit(km/h)							
		Speed limit	Ratio(%)	+5	Ratio(%)	+10	Ratio(%)	+15	Ratio(%)
N0	100	23	32.9	3	4.3	0	0.0	0	0.0
	100	20	28.6	2	2.9	2	2.9	1	1.4
	100	23	32.9	3	4.3	3	4.3	2	2.9
	100	19	27.1	3	4.3	2	2.9	2	2.9
F0	100	13	18.6	1	1.4	0	0.0	0	0.0
	100	19	27.1	4	5.7	0	0.0	0	0.0
	100	12	17.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
N1	100	8	11.4	3	4.3	0	0.0	0	0.0
	80	6	8.6	3	4.3	0	0.0	0	0.0
	60	2	2.9	2	2.9	1	1.4	0	0.0
	50	64	91.4	38	54.3	15	21.4	1	1.4
F1	80	25	35.7	1	1.4	0	0.0	0	0.0
	60	28	40.0	1	1.4	0	0.0	0	0.0
	50	28	40.0	5	7.1	0	0.0	0	0.0

## V. 결 론

본 연구에서는 기상조건이 맑음인 경우와 안개가 발생한 경우, 가변제한속도 유·무에 따른 교통특성을 분석하고 운전자의 가변제한속도 순응 경향을 분석하였다. 가변제한속도는 100~50km/h로 제공하였으며, 안개의 시정거리는 200m, 150m, 100~50m로 설정하였다.

연구결과를 정리하면 다음과 같다. 평균적으로는 기상조건과 관계없이 제한속도 이내로 주행하는 것으로 나타났지만, 특히 안개 발생 시 가변제한속도를 제공하였을 경우 속도편차 및 분산이 뚜렷하게 감소하는 것

으로 분석되었다. 또한, 가변제한속도 유·무의 속도 차이가 있는 것을 통계적으로 검증하였다.

운전자의 가변제한속도 순응 경향은 안개 발생 시에는 제한속도를 준수하는 비율이 기상이 맑을 경우보다 낮았다. 하지만 전체적으로 제한속도 초과 범위가 맑을 경우가 더 큰 것으로 나타났다. 이는 시정이 확보되었을 때 운전자가 느끼기에 제한속도가 필요 이상으로 낮을 경우 과속하는 것으로 유추된다. 또한, 안개 발생 시에는 가변제한속도 유·무에 관계없이 모든 차량이 제한속도 +5km/h를 만족하였는데 이는 시정거리가 낮아지면 운전자 스스로 속도를 감속시키는 것으로 나타났다. 하지만 안개 조건에 따른 가변제한속도를 제공하지 않을 경우 개별 차량의 속도 편차가 증가하여 교통 위험성이 증가하는 것으로 유추된다. 따라서, 기상이 악화될 경우 가변제한속도가 속도 편차를 감소시켜 교통안전성에 향상에 도움을 주는 것으로 판단된다.

다만 본 연구는 가상의 주행환경 실험을 통한 연구 결과로써 실제 도로 상의 주행환경과의 직접적 비교는 어려울 것으로 판단된다. 또한, 본 연구는 안개에 초점을 맞추어 분석하여 강우 및 강설 등 다른 기상 요인을 고려하지 못하였고, 교통량, 곡선구간, 진출입 구간 등을 고려하지 못한 한계점을 지니고 있다. 향후 보다 자세한 가상 주행환경 실험 설계를 통해 취득한 데이터와 실제 도로상의 안개 발생 시 VDS, 루프검지, CCTV 등을 통해 취득한 교통데이터와 분석한다면, 조건에 따른 적절한 가변제한속도 산정에 도움이 될 것으로 판단된다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 “악천후 대응 능동형 속도관리시스템 운영전략 및 알고리즘 개발(2차년도)” 과제 지원으로 수행하였습니다.

## REFERENCES

- Allaby P., Hellinga B. and Bullock M.(2007), “Variable Speed Limits : Safety and Operational Impacts of a Candidate Control Strategy for Freeway Applications,” *IEEE, Intelligent Transportation Systems*, vol. 8, no. 4, pp.671-680.
- Cho H. J. and Yoon S.(2002), “Effects of reduced visibility due to fog on traffic flow,” *Conference of Korean Society of Civil Engineers*, vol. 11, pp.81-84.
- Cho H. R., Kim Y. C. and Ha D. I.(2011), “Modeling and Evaluation of Traffic Flow with Variable Speed Limit on Highway,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 10, no. 1, pp.16-26.
- Choi S. and Oh C.(2013), “Development of Active Variable Speed Limit Operations Technology for Adverse Weather Conditions on Freeways,” Doctoral dissertation, Hanyang University.
- Eo H. K., Park B. J., Kim T. H. and Heo J. N.(2013), “Operational Strategy and Effectiveness Evaluation of Variable Speed Limits System in Tunnel: Focused on Hongjimun Tunnel,” *Journal of Transport Research*, vol. 20, no. 2, pp.137-151.
- Garber N. J. and Gadiraju R.(1988), “Speed Variance and Its Influence on Accidents,” AAA Foundation for Traffic Safety.
- Han S. W.(2016), “Evaluation of the Driving Performance of Elderly People Using Virtual Driving

- Simulator,” *Journal of the Korea Entertainment Industry Association*, vol. 10, no. 1, pp.95-101.
- Hong S. J.(2015), *A Study On the Operation of Variable Speed Limit System under Adverse Weather*, Korea Road Traffic Authority Traffic Science Institute.
- Kim S.(2011), “The Development of Safety Evaluation Criteria Based on Vehicle Speeds and Crash Data for Multi-lane Highways,” Doctoral dissertation, University of Seoul.
- Kim S.(2016), “An analysis of uninterrupted traffic flow characteristics and development of a risk index under foggy conditions,” Master’s thesis, University of science and technology.
- Korea Road Traffic Authority Traffic Science Institute(2015), *A Study on Usage of Variable Speed Limit Systems with Adverse Weather*, p.9.
- Korea Road Traffic Authority(2011-2015), *Road Traffic Accidents Statistical Analysis in Korea*.
- Lee D. H., Lee K. Y., Lee S. B. and Oh Y. T.(2013), “Accident Risk Analysis Based on Compliance Rate of Variable Speed Limit,” *Journal of Transport Research*, vol. 20, no. 3, pp.33-45.
- Li Z., Li Y., Liu P., Wang W. and Xu C.(2014), “Development of a Variable Speed Limit Strategy to Reduce Secondary Collision Risks during Inclement Weathers,” *Accident Analysis & Prevention*, vol. 72, pp.134-145.
- Lim C. H.(2007), “A Study on the safe speed estimation on fog-bound roads,” Master’s thesis, Graduate school, University of Seoul.
- National law information center(2016), “Road Traffic Act”.
- News 1, <http://news1.kr/articles/?2855927>, 2016.12.13.
- Oh S. O.(2005), “A study on safety enhancement for roads with high frequency of fog,” Master’s thesis, Graduate school, University of Seoul.
- Ryu J. B., Sihn Y. K., Park S. J. and Han J. H.(2011), “The Simulator Study on Driving Safety while Driving through the Longitudinal Tunnel,” *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, vol. 13, no. 1, pp.149-156.