

악천후 시 운전자 기대심리와 가변 제한속도간 관계정립을 위한 가상주행 시뮬레이터 연구

A Study on The Relationship Between Driver Expectancy and Variable Speed Limit Under the Adverse Weather Conditions By Using A Driving Simulator

김 용 석*

(Yongseok Kim)

(Korea Institute of Construction & Building Technology)

이 석 기**

(Sukki Lee)

(Korea Institute of Construction & Building Technology)

김 솔 램***

(Soullam Kim)

(Korea Institute of Construction & Building Technology)

요 약

본 연구는 가상주행 시뮬레이터 실험을 통해 악천후시 가변 제한속도 표출 효과를 검토하였다. 본 연구는 기상변화 없이 제한속도를 낮추어 표출한 경우와 기상이 변화되었는데도 제한속도를 낮추어 표출하지 못한 경우는 운전자의 기대 심리를 위배한 것으로 기상 변화에 따라 속도를 감속 표출하는 것에 비해 상대적으로 안전 측면에서 바람직하지 못하다고 가정하고 이를 가상주행 시뮬레이터 결과를 통해 검토하였다. 본 연구는 운전자의 기대심리에 부합되는 정도를 나타 내는 지표로 운전자 순응도를 선택하였고, 이를 정량화하기 위한 수단으로 표출 제한속도를 포함한 일정 속도구간 내 누적확률밀도를 이용하였다. 검토결과, 운전자의 기대심리를 위배하였다고 가정된 조건들이 비교그룹에 비해 상대적으로 운전자의 주행행태적 측면에서 부정적인 것으로 평가되었다.

핵심어 : 가변 제한속도, 악천후, 가상주행 시뮬레이터, 운전자 순응도, 누적확률밀도

ABSTRACT

The study reviewed the effects of the variable speed limit under adverse weather conditions by using a driving simulator. The study assumed that the display of the reduced speed limit without any change of the weather condition and the display of the same speed limit under the change of the weather conditions violate the expectancy of drivers, so it brings the negative effects on the safety. The study regards drivers conformance as the index of the degree of the compliance of driver expectancy, and utilizes the cumulative probability density within the certain range of the speed including displayed speed limit as the quantitative measure of effectiveness. The study reviewed this assumptions by using a driving simulator. As the results, the cases assumed to violate the expectancy of drivers showed the negative effects on the driving behaviour of driver relatively.

Key words : Variable Speed Limit, Adverse Weather, Driving Simulator, Drivers Conformity, Cumulative Probability Density

† 본 연구는 국토교통과학기술진흥원 국토교통기술사업화 지원사업의 ‘야간 및 악천후 대응 능동형 속도관리시스템 개발’ 과제의 지원으로 수행하였습니다.

* 주저자 및 교신저자 : 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원

** 공저자 : 한국건설기술연구원 도로연구소 수석연구원

*** 공저자 : 한국건설기술연구원 도로연구소 연구원

† Corresponding author : Yongseok Kim(Korea Institute of Construction & Building Technology), E-mail safeys@kict.re.kr

† Received 12 December 2016; reviewed 22 December 2016; Accepted 26 December 2016

I. 서론

폭설, 강우, 안개 등 악천후로 인한 대형 교통사고는 인재로 인식되고 있으며, 인명손실에 따른 사회경제적 피해뿐만 아니라 국가 SOC에 대한 사회적 불신이 팽배하다. 특히, 106중 교통사고(영종대교, 2015.2.11.) 등 매년 악천후 관련 대형 교통사고가 발생하였다. 반면, 기후변화로 인해 해수면의 온도가 증가되고 있으며, 악천후 발생 빈도가 늘어나고 있어 기상 악천후에 대응한 보다 능동적인 안전대책 마련이 시급한 실정이다. 악천후 대응 안전대책은 제도, 교육, 공학적인 다양한 방법이 있으나, 본 연구에서는 악천후 상황에 따라 자동차의 운행속도를 제한하는 가변 제한속도 표출을 검토하였다. 제한속도를 설정하는 주된 이유는 도로 안전을 보장하기 위한 것이다. 제한속도를 설정하는 근거는 과속 운전으로 파생되는 외부 효과(external effect)로 볼 수 있다. 과속 운전자는 자신은 물론 주변 운전자의 안전에도 부정적인 영향을 미치지만, 이러한 효과가 사회 비용으로 간주되지 않는다는 점이다. 속도 제한의 다른 근거는 운전자가 자신의 속도를 결정함에 있어 노면 상황이나 전방 도로 상황 등에 대해 완전한 정보를 갖고 있지 못하다는 것과 자신이 선택한 속도에서 사고가 발생했을 때 그 피해 정도를 분명하게 알지 못하다는 것이다[1]. 따라서 도로 및 교통조건에 부합하는 적정 제한속도를 제공하는 것은 과속에 따른 외부효과를 최소화하고 운전자가 안전한 주행을 담보하기 위한 최적의 안전속도를 제공하는데 있다.

이런 이유로 도로교통법 19조에 따라 자동차의 운행속도를 제한하고 있으며 특히 비, 안개, 눈 등으로 인한 악천후 시에는 감속운행에 대한 규정을 제시하고 있다. 악천후 시 감속규정을 두는 이유는 갑작스런 기상변화로 운전자의 시 환경이 변화되고 노면 습윤이나 적설로 인하여 상시 제한속도로 운행하는 경우는 비상시 충분한 감속 및 정지에 필요한 안전거리를 확보하기 곤란하기 때문이다. 또한 운전자는 갑작스런 기상변화로 인한 노면의 상태에 대해 완전한 정보를 가질 수 없으므로 기상상태(강

우, 강설, 안개 농도 등)에 따른 안전한 속도를 산출하고 이를 운전자에게 신속하게 제공하는 가변 제한속도 시스템을 활용할 필요가 있다. 기상상태에 따라 제한속도를 가변적으로 제공하는 공학적인 이유는 기상 및 노면상태에 대한 객관적 정보(도로 기상검지기로 취득한 정보)를 이용하여 생성한 안전속도를 제공함으로써 운전자별로 속도 선택에 주관성을 최대한 배제하고 운전자간 속도편차를 최대한 줄이는데 목적이 있다. 통상 운전자간 속도 편차의 증가는 교통사고 발생가능성을 높일 수 있기 때문에 기상변화에 따라 제한속도를 변경 표출하는 것을 국내·외에서 안전 대책으로 간주하고 적용하려는 것이다.

본 연구는 기상조건에 따라 가변 제한속도를 표출 시 효과를 가상주행 시뮬레이터를 활용하여 평가하기 위한 것으로 평가의 척도는 운전자의 순응도(Conformance)로 하였다. 기상 변화 없이 제한속도를 낮춘 경우와 기상이 변화되었음에도 제한속도를 변경 없이 표출한 경우는 운전자의 기대심리(Driver Expectancy)를 위배한 것으로 기상에 연계하여 적정 제한속도를 표출한 경우에 비해 운전자의 순응도가 낮아질 것으로 가정하고 이를 검토하였다.

II. 선행연구 고찰 및 연구가정 수립

1. 기상 연계 가변 제한속도 표출기준

가변 제한속도란 시시각각으로 변화되는 도로 교통 상황 및 기상 변화에 맞추어 운전자에게 적기에 적합한 정보를 제공하기 위해 도입한 개념이다. 국내에서도 2010년 7월에 가변제한속도 개념을 도로교통법 시행규칙 제19조[4]에 명시하고 있으며 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Variable Speed Limit Criteria in Road Transport Act

Weather Conditions	Speed Limit Criteria
-Wet Road Surface Condition -Snow Covered on Road Surface : Less Than 20 mm	Speed Limit Reduction by 80%
-Visibility Distance : Less Than or Equal to 100m -Frozen Road Surface -Snow Covered on Road Surface : Greater than or Equal to 20mm	Speed Limit Reduction by 50%

현재 영종대교에 가변 제한속도에 대한 시험운영을 수행 중에 있다. 시험구간에서 기상조건(안개)에 따른 가변 제한속도 운영기준은 <Table 2>와 같이 정하고 있다.

<Table 2> Variable Speed Limit Criteria Applied for Young-Jong Bridge Test Site

Speed Limit (km/h)	Weather Conditions
100	Normal Weather Condition
80	-Visibility Distance by Fog : Less Than or Equal to 250m -Snow Covered : Less Than 20 mm -Wind : 10-20 m/s
50	-Visibility Distance by Fog : Less Than or Equal to 100m -Snow Covered : Greater Than or Equal to 20 mm -Wind : 20-25m/s
30	Visibility Distance by Fog : Less Than or Equal to 50m
Road Closure	-Visibility Distance by Fog : Less Than or Equal to 20m -Snow Covered : Greater Than or Equal to 100mm -Wind : Greater Than or Equal to 25m/s

국내와 동일하게 국외에서도 기상상황에 따라 가변 제한속도에 대한 기준을 제시하고 있다[2]. <Table 3>은 미국 알라바마 교통성에서 제시한 가시거리와 제한속도 설정기준은 <Table 3>과 같다. 참고로 알라바마 주(state)에서도 1995년에 안개로

인해 197중 사고가 발생한 것이 기상에 따른 제한속도 가변표시의 계기가 되었다.]

<Table 3> Variable Speed Limit Criteria in DOT of Alabama State

Visibility Distance	Speed Limit (kph)
Less than 274.3m	104.5(65mph)
Less than 201.2m	88.4(55mph)
Less than 137.2m	72.4(45mph)
Less than 85.3m	56.3kph(35mph)
Less than 53.3m	Road Closure

미국 와싱턴 교통성에서 제시한 기상상태와 제한속도 설정기준은 <Table 4>와 같다[2].

<Table 4> Variable Speed Limit Criteria in DOT of Washington State

Weather Condition	Road Surface Condition	Speed Limit
Light Rain Visibility Distance : Greater Than 800m	Dry Wet	104.5kph (65mph)
Heavy Rain Fog Visibility Distance : Less than 320m	Slushy Frozen	88.4kph (55mph)
Heavy Rain or Snow Snowstorm Visibility Distance : Less than 160m	Thin Water film Snow Covered Severe Slushy	72.4kph (45mph)
Frozen Rain Heavy Rain or Snow Snowstorm Visibility Distance : Less than 160m	Thick Water Film Snow/Shushy Mixed and Covered	56.3kph (35mph)

2. 가변 제한속도 효과

국내에서 드라이빙 시뮬레이터를 이용하여 가변 제한속도 제공 효과를 검토한 선행 연구로, Choi (2015)는 주행 시뮬레이션 실험을 통해 가변속도제한 적용 시 운전자의 주행특성 및 순응도(Driver Conformance)를 분석하였다[3]. 그 결과, 기상악화 시 가변 제한속도 적용으로 인하여 속도 분산이 감소하였고 혼잡구간에 보다 안정적으로 접근하는 운전행태를 보였음을 제시하였다. 특히 자체 개발한 운전자 순응

도 모형에 따라 분석한 순응도는 이 연구에서 정의한 ‘Moderate AWC(시정거리 150~250m)’에서 65%, ‘Heavy AWC(시정거리 150m 이하)’에서 80%로 나타났다. 운전자 연령이 높을수록 가변 제한속도에 순응하였으며, 정보제공 전 속도가 낮고 속도편차가 작을수록 가변속도제한에 순응할 확률 증가에 긍정적인 영향을 미쳤다고 제시하였다.

본 연구와 차이점으로 위 연구는 기상을 변화하면서 운전자의 속도 선택 행태의 변화를 검토한 것이라면 본 연구는 기상조건이 변경되지 않음에도 제한속도를 낮추어 제공하는 것과 기상조건과 연계하여 제공하는 경우의 비교 및 기상조건에 따라 가변 제한속도를 제공하는 것과 제공하지 않는 경우에 대한 비교를 수행하여 기상상황에 따라 가변 제한속도를 제공해야 하는 당위성을 평가한 점이다.

3. 가변 제한속도 표출효과 검토방안 수립

본 연구는 가상주행 시뮬레이터 실험을 통해 악천후 시 가변 제한속도 표출 효과를 검토하기 위해 두 가지 연구 가정을 수립하였다. 첫째, 기상조건이 변경되지 않았음에도 제한속도를 낮추어 표출한 경우와 기상 변화조건에서 가변 제한속도를 낮추어 표출하였을 때 운전자의 주행 행태적 차이가 있는지를 검토하였다. 둘째, 기상이 변화되었음에도 제한속도를 변경하지 않는 경우와 기상 변화에 맞추어 제한속도를 변경한 경우에 운전자의 주행 행태적 차이가 있는지를 검토하였다. 이는 주행 중 전방에 기상변화가 없음에도 제한속도를 낮추어 표출되는 경우와 눈·비·안개 등으로 기상변화가 발생했음에도 제한속도를 그대로 유지하는 경우 모두 운전자의 기대심리(Driver Expectancy)를 위배하여 운전자의 주행행태에 부정적인 영향을 줄 것으로 전제하였다.

III. 가상주행 시뮬레이터 실험

본 연구는 가상주행 시뮬레이터를 활용하여 가변 제한속도의 표출에 따른 효과를 두 가지 연구 가정을 수립하고 평가하는 방식으로 수행하였다.

실제 도로에서 다양한 기상조건별로 가변 제한속도 표출에 대한 효과를 검토하는데 한계가 있으므로 기상조건에 대한 시나리오를 구축하고 가변 제한속도를 표출하였을 때 운전자의 주행행태적인 변화를 검토하고 연구에서 수립한 가정에 대해 평가하는 것으로 하였다.

1. 방법론

기상조건 및 노면상태 데이터를 반영하여 가상주행실험을 위한 순차적 시나리오를 구성하였고, 맑은 상태는 ‘N’, 강우는 ‘R’, 강설은 ‘S’, 안개는 ‘F’ 기호(Label)로 표시하였다. <Table 5>에서 기호 ‘N1’으로 표시된 시나리오에 대해 설명하면, 피실험자는 시험시작 후 0.3km를 가속하고 이후 표출된 가변속도 100kph 표지에 맞추어 0.3km 구간을 주행한다. 0.6km 주행 이후에는 다시 표출된 가변속도 80kph에 맞추어 속도를 유지한다. 0.3km 이후에는 다시 가변제한속도 60kph에 맞추어 속도를 유지하고 0.3km 이후에는 50kph에 맞추어 속도를 유지한다.

<Table 5> The Scenarios of Driving Simulator

Label of Section	The Station of Road in Driving Scenario (Driving Distance, km)	Weather Condition	Speed Limit Displayed
N1	0+000~1+500* (1.5)	Normal	100-80-60-50
N2	1+500~2+400 (0.9)	Normal	60-80-100
R1	2+400~4+500 (2.1)	Rain	80
N3	4+500~5+600 (1.1)	Normal	100
S1	5+600~6+700 (1.1)	Snow	80-50
N4	6+700~7+900 (1.2)	Normal	60-80-100
R2	7+900~9+100 (1.2)	Rain	80-60-50
N5	9+100~10+300 (1.2)	Normal	60-80-100
S2	11+300~13+400 (2.1)	Snow	100
N6	13+400~14+500 (1.1)	Normal	100
F1	14+500~17+200 (2.7)	Fog	80-50
N7	17+200~18+700 (1.5)	Normal	50-60-80-100
F2	18+700~21+700 (3.0)	Fog	100

*Chain 0+000 means km+meters

본 연구는 현실성 있는 도로 환경을 모사하기 위해 경부고속도로 동탄 JCT~안성IC 구간(L=23.4km)

에서 도로 이미지를 동영상 촬영하고 가상의 실험용 고속도로 영상 이미지를 구축하였다. 도로는 왕복 6차로로 구성하였고, 기상조건은 맑음, 강우, 강설, 안개 4가지 기상환경을 반영한 15개 시나리오를 구성하였다. 기상을 반영하는 방법은 비나 눈이 오는 기상상태 데이터를 재현하였고 노면 상태는 비가 와서 노면 습윤 상태, 눈이 내려서 노면 위에 쌓여있는 상태로 나누어 상태를 모사하였다. 기상상태에 따라 제한속도를 변경하였으며 현재 도로교통법에 제시된 기상조건과 제한속도간의 관계 기준을 참조하여 시나리오를 구축하였다.

본 실험 전에 피실험자가 드라이빙 시뮬레이터 환경에 충분히 적응할 수 있도록 예비 주행 도로를 구축(곡선부 4개 구간 및 직선부 등 총 6.0km 왕복 6차로 구성)하였고, 피실험자의 시뮬레이션 식크니스(Simulation Sickness)를 고려하여 모션 축이 없는 드라이빙 시뮬레이터 사용하였다. 피실험자의 몰입감 제고를 위해 <Fig. 1>에 보인 50인치 대형 모니터 사용하였고 화면 범위는 수직각 20°, 수평각 40.65°로 구축하였다. 도로를 따라 문형식으로 가변 제한속도를 표출하였으며 모니터 우 하단에는 속도 표시기를 표출하였다.



<Fig. 1> Driving Simulator Environment

피실험자는 20세 이상 34세 이하를 하나의 그룹으로 35세 이상 50세 이하를 다른 그룹으로 구분하여 각각 35인씩 총 70인으로 구성하였다. 남녀 성비 구성은 국내 운전면허 소지자의 성별비인 60대 40을 반영하여 60(남): 40(여)으로 구성하였다. 모든 피실험자는 운전면허를 소지하고 있고 양안시력은

0.8이상을 기준으로 하였다. 피실험자에게는 소정의 참여수당을 지급하였다.

2. 결과 검토

1) 첫 번째 연구가정에 대한 검토

본 연구는 기상조건이 변경되지 않았음에도 제한속도를 낮추어 표출한 경우와 기상 변화조건에서 가변 제한속도를 낮추어 표출하였을 때 운전자의 주행 행태적 차이가 있는 지를 검토하였다. 첫 번째 연구 가정을 검토하기 위해 <Table 6>에 제시된 4가지 조건(기호 N1, R2, S1, F1)에 있어 가상주행 시뮬레이터를 주행한 피실험자 70명의 주행행태 자료검토가 이루어졌다. <Table 6>은 4가지 조건에 대한 주행 시나리오를 상세하게 제시한 것이다.

N1, R2, S1, F1에 상응하는 기상 조건별 가상주행 시뮬레이터로 재현한 주행 환경은 각각 <Fig. 2>, <Fig. 3>, <Fig. 4>, <Fig. 5>와 같다.



<Fig. 2> Driving Environment of N1



<Fig. 3> Driving Environment of R2



<Fig. 4> Driving Environment of S1



<Fig. 5> Driving Environment of F1

<Table 6> Scenarios Description for the First Study Assumption

Label of Section	Scenario Description
N1	-The Display of Reduced Speed Limit under the Normal Weather Condition -Section Length: 1.5 km(Transition Section : 0.6 km) -Weather Condition: Normal -Change of Displayed Speed Limit: 80-60-50 at Every 0.3km Distances
R2	-The Display of the Reduced Speed Limit According to the Variation of the Adverse Weather -Section Length: 1.2 km(Transition Section : 0.3 km) -Weather Condition: Rain -Change of Displayed Speed Limit: 80-60-50 at Every 0.3km Distances
S1	-The Display of the Reduced Speed Limit According to the Variation of the Adverse Weather -Section Length: 1.1 km(Transition Section : 0.3 km) -Weather Condition: Snow -Change of Displayed Speed Limit: 80-50 at Every 0.4km distances
F1	-The Display of the Reduced Speed Limit According to the Variation of the Adverse Weather -Section Length: 2.7 km(Transition Section : 0.3 km) -Weather Condition: Fog(Visibility Distance: 200 m, 150 m, 100 m) -Change of Displayed Speed Limit: 80-60-50 with the Spacing of 0.8 km, 0.5 km, 0.5 km Respectively

<Table 7>은 기상조건별 운전자의 주행행태로써, 구간속도에 대한 평균과 표준편차를 제시한 것이

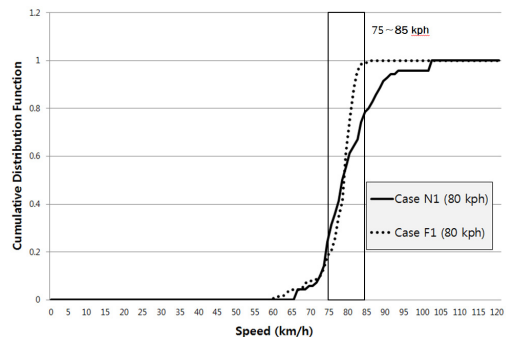
다. 단순하게 통계 값을 살펴보면, 기상조건이 변경되지 않았음에도 제한속도를 낮춘 경우인 'N1'과 기상조건과 연동하여 제한속도를 하향한 경우인 'R2', 'S1', 'F1'간에 구간속도의 평균이나 표준 편차 값은 큰 차이가 없게 나타났다.

<Table 7> Statistics of Drivers Operating Speeds

Label of Section	Number of Sample	Displayed Speed Limit (kph)					
		80		60		50	
		Mean	SD.	Mean	SD.	Mean	SD.
N1	70	79.35	7.62	59.17	5.76	50.87	3.72
R2	70	73.04	6.54	57.14	3.94	49.64	3.24
S1	70	74.01	5.51	-	-	51.02	3.82
F1	70	77.14	4.64	59.18	4.10	52.89	3.59

본 연구의 주 관심은 운전자의 기대심리 위배가 운전자의 주행행태에 부정적인 영향을 주는 지를 평가하는 것이다. 이를 검토하기 위해 운전자가 표출된 제한속도에 얼마만큼 근접하게 주행하였는지를 운전자의 순응도(Driver Conformance)로 정의하였다. 이를 평가하는 지표로 운전자들이 표출 제한속도에 최대한 순응한 것으로 판단한 속도 범위를 표출 제한속도의 '± 5 kph' 범위로 정하고, 이 범위 내 포함된 속도에 대한 누적확률밀도(Cumulative Probability Density)를 순응도 척도로 간주한 것이다.

<Fig. 6>은 'N1'과 'F1' 시나리오별 표출 제한속도 80 km/h 조건에서 얻어진 누적확률밀도를 예시로 보인 것이다. 'N1'의 경우는 속도 75~85 km/h 사이의 누적확률밀도가 0.557로 나타났고, 'F1'의 경우는 누적확률밀도가 0.814로 나타났다.



<Fig. 6> Cumulative Distribution Function of N1 & F1

<Table 8>은 'N1'과 비교군인 'R2', 'S1', 'F1'에 대한 누적확률밀도를 정리한 것이다.

<Table 8> Comparison of Cumulative Probability Density for the Conformance of Drivers

Label of Section	Number of Sample	Displayed Speed Limit (kph)	Speed Range(SR, kph)	Cumulative Probability Density
N1	70	80	75<SR<85	0.557
		60	55<SR<65	0.786
		50	45<SR<55	0.871
R2	70	80	75<SR<85	0.514
		60	55<SR<65	0.814
		50	45<SR<55	0.929
S1	70	80	75<SR<85	0.657
		50	45<SR<55	0.843
F1	70	80	75<SR<85	0.814
		60	55<SR<65	0.886
		50	45<SR<55	0.543

기상조건이 변경되지 않았음에도 제한속도를 낮추어 표출한 경우인 'N1'과 기상 변화조건에서 가변 제한속도를 낮추어 표출한 'R2', 'S1', 'F1' 조건에 대해 누적확률밀도 관점으로 상대적 비교를 시행한 결과는 <Table 9>와 같다. 검토 결과, 총 8개의 비교에서 기대심리를 위배하지 않았다고 가정할 조건이 그렇지 않은 조건(N1)에 비해 5가지 경우에서 누적확률밀도가 크게 나타났다.

<Table 9> Comparison of Conformance by Using Cumulative Probability Density

Label of Section	Displayed Speed Limit (kph)	Comparison Groups		
		R2	S1	F1
N1	80	-	+	+
	60	+		+
	50	+	-	-

<Note>

'+' = Case that Cumulative Probability Density of N1 is Less than that of Comparison Groups

'-' = Case that Cumulative Probability Density of N1 is greater than or equal to that of Comparison Groups

2) 두 번째 연구가정에 대한 검토

본 연구에서 세운 두 번째 가정은 기상이 변화되었음에도 제한속도를 변경하지 않는 경우와 기상 변화에 맞추어 제한속도를 변경한 경우에 운전자의 주행 행태적 차이가 있는 지를 검토하는 것이다. <Table 10>은 두 번째 연구가정을 검토하기 위한 시나리오들을 보인 것이다. 시나리오 'R1'과 'R2'는 비교그룹으로 'R1'은 기상변화에도 제한속도를 그대로 유지한 경우이고 'R2'는 기상에 따라 속도를 낮춘 경우이다. 'S1'과 'S2'는 기상조건이 눈이 경우에 있어 비교 그룹이며, 'F1'과 'F2'는 기상조건이 안개로 인해 시정거리가 변한 경우에 있어 비교그룹이다.

시나리오 'R1'의 '약한 비'와 '강한 비' 조건에 상응하는 기상 조건별 가상주행 시뮬레이터로 재현한 주행 환경은 <Fig. 7>, <Fig. 8>과 같다.



<Fig. 7> Driving Environment of R1: Light Rain



<Fig. 8> Driving Environment of R1: Heavy Rain

시나리오 S2의 '눈이 내리지만 건조한 노면을 유지한 상태' 경우와 '눈이 오고 노면에 쌓인 경우'별 가상주행 시뮬레이터로 재현한 주행 환경은 <Fig. 9>, <Fig. 10>과 같다.

<Table 10> Scenarios Description for the Second Study Assumption

Label of Section	Scenario Description
R1	-The Display of the Same Speed Limit Regardless of the Weather Change -Section Length: 2.1 km(Transition Section : 0.3 km) -Weather Condition: Rain -Change of Displayed Speed Limit: 80(Light Rain)-80(Heavy Rain) at every 0.9km distances
R2	-The Display of the Reduced Speed Limit According to the Variation of the Adverse Weather -Section Length: 1.2 km(Transition Section : 0.3 km) -Weather Condition: Rain -Change of Displayed Speed Limit: 80-60-50 at Every 0.3km Distances
S1	-The Display of the Reduced Speed Limit According to the Variation of the Adverse Weather -Section Length: 1.1 km(Transition Section : 0.3 km) -Weather Condition: Snow -Change of Displayed Speed Limit: 80-50 at every 0.4km distances
S2	-The Display of the Same Speed Limit Regardless of the Weather Change -Section Length: 2.1 km(Transition Section : 0.3 km) -Weather Condition: Snow -Change of Displayed Speed Limit: 100(Snow but Road Surface is Not Covered By Snow)-100(Snow and Road Surface is Covered By Snow)
F1	-The Display of the Reduced Speed Limit According to the Variation of the Adverse Weather -Section Length: 2.7 km(Transition Section : 0.3 km) -Weather Condition: Fog(Visibility Distance: 200 m, 150 m, 100 m) -Change of Displayed Speed Limit: 80-60-50 with the spacing of 0.8 km, 0.5 km, 0.5 km respectively
F2	-The Display of the Same Speed Limit Regardless of the Weather Change -Section Length: 3.0 km(Transition Section : 0.3 km) -Weather Condition: Fog -Change of Displayed Speed Limit: 100(Visibility Distance=200)-100(Visibility Distance=150)-100(Visibility Distance=100)



<Fig. 9> Driving Environment of S2: Snow but Road Surface is Not Covered By Snow



<Fig. 10> Driving Environment of S2: Snow and Road Surface is Covered By Snow

시나리오 F2의 안개로 인한 시정거리가 200 m, 150 m, 100 m인 경우에 각각 상응하는 가상주행 시뮬레이터로 재현한 주행 환경은 <Fig. 11>, <Fig. 12>, <Fig. 13>과 같다.



<Fig. 11> Driving Environment of F2: Visibility Distance=200 m



<Fig. 12> Driving Environment of F2: Visibility Distance=150 m



〈Fig. 13〉 Driving Environment of F2: Visibility Distance=100 m

<Table 11>은 기상조건별 구간속도에 대한 평균과 표준편차를 제시한 것이다. 전반적으로 표출 제한속도에 상응하여 주행속도 평균값이 나타났다. ‘R1’은 ‘약한 비’와 ‘강한 비’ 조건에서 평균과 표준편차에 큰 차이가 없이 나타났다. ‘R2’의 경우는 ‘약한 비’에서 ‘강한 비’로 기상변화에 연동하여 제한속도를 하향 표출한 경우로 평균은 표출 제한속도와 유사한 수준으로 나타났으며 표준편차는 표출 제한속도가 낮아질수록 표준편차 값도 낮게 나타났다. 기상조건이 눈인 경우로, ‘S1’은 눈이 내리는 기상조건에 연동하여 속도를 하향 표출한 경우로 주행속도 평균값은 표출 제한속도에 상응하여 나타났고 ‘S2’는 눈이 오는 조건에서도 표출 제한속도를 낮추지 않고 100 kph로 유지한 경우로서 주행속도의 평균값은 표출 제한속도와 큰 차이는 없었으나 표준편차의 경우는 ‘S1’에 비하여 상대적으로 크게 나타났다. 안개로 인한 시정거리 감소를 재현한 경우로, ‘F1’은 시정거리가 감소됨에 따라 제한속도를 하향 표출한 경우로 주행속도 평균값은 표출 제한속도와 상응하게 나타났고 ‘F2’는 시정거리 감소에도 불구하고 제한속도를 100 kph로 유지한 경우로 주행속도 평균값은 표출 제한속도와 상응하게 나타났으나 표준편차는 ‘F1’에 비하여 상대적으로 크게 나타났다.

〈Table 11〉 Statistics of Drivers Operating Speeds

Label of Section	Weather Condition	Displayed Speed Limit (kph)	Statistics Summary		
			Number of Sample	Mean	SD.
R1	Light Rain	80	70	78.65	5.32
	Heavy Rain	80	70	76.00	5.23
R2	Rain	80	70	73.04	6.54
		60	70	57.14	3.94
		50	70	49.64	3.24
S1	Snow	80	70	74.01	5.51
		50	70	51.02	3.82
S2	Snow (Surface is dry)	100	70	93.18	10.45
	Snow (Surface is covered by snow)	100	70	91.98	11.81
F1	Fog	80	70	77.14	4.64
		60	70	59.18	4.10
		50	70	52.89	3.59
F2	Fog (VD.*=200)	100	70	93.25	7.16
	Fog (VD.*=150)	100	70	94.49	10.34
	Fog (VD.*=100)	100	70	93.34	11.70

*VD.=Visibility Distance

<Table 12>는 기상이 변화에도 제한속도를 변경하지 않는 경우인 ‘R1’, ‘S2’, ‘F2’과 비교군인 ‘R2’, ‘S1’, ‘F1’에 대한 누적확률밀도를 정리한 것이다.

상대적 비교를 시행한 결과는 <Table 13>과 같다. 검토 결과, 총 19개의 비교에서 기대심리를 위배하지 않았다고 가정 한 조건(R2, S1, F1)이 그렇지 않은 조건(R1, S2, F2)에 비해 14가지 경우에서 누적확률밀도가 크게 나타났다.

<Table 12> Comparison of Cumulative Probability Density for the Conformance of Drivers

Label of Section	Weather Condition	Displayed Speed Limit (kph)	Speed Range (SR, kph)	Cumulative Probability Density
R1	Light Rain	80	75<SR<85	0.814
	Heavy Rain	80	75<SR<85	0.671
R2	Rain	80	75<SR<85	0.514
		60	55<SR<65	0.814
		50	45<SR<55	0.929
S1	Snow	80	75<SR<85	0.657
		50	45<SR<55	0.843
S2	Snow (Surface Not Covered By Snow)	100	95<SR<105	0.629
	Snow (Surface Covered By Snow)	100	95<SR<105	0.614
F1	Fog	80	75<SR<85	0.814
		60	55<SR<65	0.886
		50	45<SR<55	0.543
F2	Visibility Distance= 200	100	95<SR<105	0.557
	Visibility Distance= 150	100	95<SR<105	0.700
	Visibility Distance= 100	100	95<SR<105	0.686

<Table 13> Comparison of Conformance by Using Cumulative Probability Density

Label of Section	Comparison Groups									
	R2			S1			F1			
	80 km/h	60 km/h	50 km/h	80 km/h	60 km/h	50 km/h	80 km/h	60 km/h	50 km/h	
R1	80 km/h	-	+	+						
	80 km/h	-	+	+						
S2	100 km/h				+		+			
	100 km/h				+		+			
F2	100 km/h							+	+	-
	100 km/h							+	+	-
	100 km/h							+	+	-

<Note>

‘+’ = Case that Cumulative Probability Density of R1, S2, F2 is Less than that of Corresponding Comparison Groups Respectively

‘-’ = Case that Cumulative Probability Density of R1, S2, F2 is greater than or equal to that of Corresponding Comparison Groups Respectively

V. 결 론

악천후로 인한 교통사고 발생 빈도가 늘어나고 있어 기상 악천후에 대응한 능동적인 안전대책 마련이 시급한 실정이다. 본 연구는 가상주행 시뮬레이터 실험을 통해 악천후 시 가변 제한속도 표출 효과를 검토하였다. 본 연구를 통해 첫째, 기상변화가 없음에도 가변 제한속도를 낮추어 표출한 경우와 기상 변화조건에서 가변 제한속도를 낮추어 표출하였을 때 운전자의 주행행태 적 차이가 있는 지, 둘째 기상이 변화되었음에도 제한속도를 변경하지 않는 경우와 기상 변화에 맞추어 제한속도를 변경한 경우에 운전자의 주행행태 적 차이가 있는 지를 검토하였다. 이는 기상조건이 변화되지 않았음에도 제한속도를 낮추는 것과 기상조건이 변경되었음에

도 제한속도를 그대로 유지하는 두 가지 경우 모두 운전자의 기대심리를 위배하였기 때문에 그렇지 않은 경우에 비하여 운전자의 주행행태에 부정적인 영향을 줄 것이라고 가정한 것이다.

본 연구의 주 관심은 운전자의 기대심리 위배가 운전자의 주행행태에 부정적인 영향을 주는 지를 평가하는 것이다. 이를 검토하기 위해 운전자가 표출된 제한속도에 얼마만큼 근접하게 주행하였는지를 운전자의 순응도(Driver Conformance)로 정의하였다. 이를 평가하는 지표로 운전자들이 표출 제한속도에 최대한 순응한 것으로 판단한 속도 범위를 표출 제한속도의 '± 5 kph' 범위로 정하고, 이 범위 내 포함된 속도에 대한 누적확률밀도(Cumulative Probability Density)를 순응도 척도로 간주한 것이다.

검토결과, 운전자의 기대심리를 위배하였다고 가정한 조건들이 비교그룹에 비해 상대적으로 운전자의 주행행태적 측면에서 부정적인 것으로 평가되었다. 이는 운전자의 기대심리에 부합되는 조건에서 개별 운전자들이 선택하는 속도 값들이 표출 제한속도에 근접한 값에 더 많이 분포하였다는 것을 의미하며 이는 1) 개별 운전자들이 선택한 속도가 표출 제한속도에 근접하여 안전한 주행에 긍정적인 효과를 주며 2) 상대적으로 많은 속도 값들이 표출

제한속도에 근접하게 나타남으로써 운전자간 속도 편차를 줄이는 데 긍정적인 효과를 준 것으로 판단한다.

향후 연구로, 드라이빙 시뮬레이터에서 기상조건을 현실과 완전하게 일치시키는 것에는 한계가 있으므로 추후 지속적인 관련 연구가 이루어져야 할 것으로 판단한다.

REFERENCES

- [1] TRB Committee for Guidance on Setting and Enforcing Speed Limits(1998), Managing Speed, TRB Special Report 254, TRB.
- [2] Guidelines for the Use of Variable Speed Limit Systems in Wet Weather(2012), Bryan Katz, Cara O'Donnel, Kelly Donoughe, Jennifer Atkinson, Melisa Finley, Kevin Baike, Beverly Kuhn, Davey Warren, Research Report, FHWA-SA-12-022, FHWA
- [3] Choi, S.(2015), Development of Active Variable Speed Limit Operations Technology for Adverse Weather Conditions on Freeways, Dissertation for Ph.D., Hanyang University.
- [4] Ministry of the Interior(2016), Road Transport Act.

저자소개



김 용 석(Kim, Yongseok)
2007년 : 서울시립대학교 박사 취득 (교통전공)
1994년 : 4월~현 재 : 한국건설기술연구원 연구위원
e-mail : safeys@kict.re.kr



이 석 기(Lee, Sukki)
2014년 : 단국대학교 토목환경공학과(공학박사)
2003년 8월~현 재 : 한국건설기술연구원 수석연구원
e-mail : oksk@kict.re.kr



김 솔 램(Kim, Soullam)
2016년 : UST ITS 공학 (공학석사)
2016년 1월~현 재 : 한국건설기술연구원 연구원
e-mail : soulkim@kict.re.kr