

Superhighway 연속곡선의 설계 방침에 대한 연구

Study on Design Principle of Reverse Curve in Superhighway

김성규	Kim, Sungkyu	서울시립대학교 교통공학과 박사과정·주저자 (E-mail : ic@uos.ac.kr)
김상엽	Kim, Sangyoup	정회원 · 전북발전연구원 부연구위원 · 교신저자 (E-mail : road@jthink.kr)
최재성	Choi, Jaisung	정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 (E-mail : traffic@uos.ac.kr)
민동찬	Min, Dongchan	서울시립대학교 교통공학과 석사과정 (E-mail : roadmin@uos.ac.kr)
장영수	Jang, Youngsoo	한국토지주택공사 위례사업처 처장 (E-mail : ysjang@lh.or.kr)
신준수	Shin, Joonsoo	한국도로공사 스마트하이웨이사업단 차장 (E-mail : halfwing27@ex.co.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study is to conduct the research on the design principle for the driver's safety and comfort in installing consecutive curves of superhighway.

METHODS : Superhighway does not currently exist in domestic area. Thus, this study is conducted by collecting driving behavior usage of 30 people who are involved in the members of the virtual driving simulation. By identifying the distribution characteristics of each scenario in ANOVA & Tukey Test, the distribution are categorized into three groups.

RESULTS : In the case of Group A in Section 3 (R2 entry part), lane departure exceeds the safety standard, which means to be risky condition. And then in the case of Group B and C, the lane departure values applying theoretical formula was evenly distributed compared to the proven values.

CONCLUSIONS : Based on the result, the continuous curve design principles at superhighway should follow three standards as follow. First, an additional linear part needs to be inserted between two curves. Second, what if inserting the linear part is difficult, it would be better to insert a curve more than 2,000m. Third, R1/R2 ratio should not be over two. This design primarily aims to the safety of the operator. Such road alignment also meets the expectations of drivers, thus, it may help drivers to be compatible and amenable while driving continuous curve in superhighway.

Keywords

super highway, reverse curve, offset from lane center, combination of radius curve, electroencephalogram

Corresponding Author : Kim, Sangyoup, Ph. D
Jeonbuk Development Institute, #57, Jeollagamyong-ro,
Wansan-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 560-014, Korea
Tel : +82.63.280.7154 Fax : +82.63.286.9206
E-mail : road@jthink.kr

International Journal of Highway Engineering

http://www.ksre.or.kr/

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jul. 14, 2014 Revised Jul. 16, 2014 Accepted Nov. 26, 2014

1. 서론

대한민국의 도로는 기능에 따라 5개로 나뉘며, 그 중 이동성에 초점을 맞춘 고속도로는 설계속도 100~120km/h를 기준으로 설계되고 있다. 교통의 트렌드가 차량 중심에서 사람 중심으로 변화하고 있으나, 일각의 측면에서는

교통의 이동성을 극대화하는 보다 높은 속도로 주행이 가능한 고속도로에 대한 수요도 존재한다. 이에 국외의 경우 오스트리아는 140km/h의 속도로 설계된 고속도로 사례가 있으며, 독일은 130km/h를 권장속도로 하는 제한속도 무제한의 고속도로를 건설하고 있다. 이러한 도로들은 기존의 고속도로(expressway)보다 높은 속도로 주행이

가능한 도로로, 주행가능한 도로라는 개념으로 Superhighway로 정의하고 있다. 국내의 경우 국외의 Superhighway 추진 동향에 맞추어 기존 설계속도보다 높은 설계속도 140km/h의 고속도로 설계를 위한 설계요소 재정립과 관련한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

도로 설계자는 창조적이고, 안전하고, 효율적이며 지속가능한 설계를 하기 위해 노력해야 하는데, 이를 위해서는 설계자들이 안전하고 합리적인 계획 및 설계를 할 수 있도록 설계 시 필요한 도로 및 시설에 관한 최소기준을 정립하여야 한다(AASHTO 2000; Mclean 1981; Sayed and Leur 2005). 이러한 측면은 설계속도 상향에 따라 더욱 중요한 요인으로 작용한다. 특히 곡선부 주행의 경우 차량의 속도와 그에 따른 원심력에 의해 나타나는 주행궤적의 변화가 안정적인지 판단하는 것과 곡선부 주행에 필요한 조향시간이 운전자에게 충분히 공급되었는지를 살펴보아야 한다. 특히 대한민국의 경우 산지가 많은 지형적 특성으로 인해 곡선부 설치가 많으므로 주변과 조화를 이루는 선형을 설계하여야 한다.

한국도로공사에서는 본 연구에 앞선 연구로 스마트하이웨이의 단일원곡선의 설계요소에 대한 연구가 진행되 바 있다. 따라서 본 연구에서는 Superhighway의 곡선부 설계방안 중에 주로 연속곡선에 대해서 논의해보고자 한다. 국내에서 적용 중인 연속곡선유형은 크게 2부류로 복합곡선(Compound Curve), 배향곡선(Reverse Curve)이 있다. 다만, 본 연구의 주목적이 Superhighway의 본 선부를 위주로 하고 있으므로, 주로 고속도로 진출입로에 적용되는 복합곡선보다는 배향곡선을 주로 다루기로 한다.

배향곡선의 설계방안에 대해서 국외에서는 도로시설물과 관련된 지침에 수록하고 있다. Alberta주의 도로표지판 설치기준에 따르면 서로 반대방향의 평면곡선 사이에 일정 직선길이 120m가 확보되지 않을 경우 주의표지판을 곡선 시작부에 설치하도록 하고 있고, Iowa 주 역시 곡선 사이에 600ft의 직선이 미확보될 경우 배향곡선 주의표지판을 설치하도록 하고 있다(AASHTO 2000; Alberta 2006; Iowa DOT 2001). 이와 관련된 국내 연구는 배향곡선에서 발생하는 사고의 요인과 관련하여 진행되어 배향곡선의 곡선반경이 증가할수록 사고는 감소하며, 배향곡선 중 작은 곡선반경에 해당하는 곡선의 반경이 작을수록, 편경사 변화율이 클수록 사고 발생율이 높아지는 것으로 나타났다(Kang 2002; Lee 2008). 이와 같이 배향곡선과 관련된 연구와 설계지침이 국내외로 연구·제안되고 있으나, 배향곡선의 설계기

준 및 재원과 관련된 연구는 진행된 결과가 없다. 연구 동향에 따라 국내 도로설계 지침에서도 도로선형의 연속성측면에서 큰 평면곡선반경의 곡선부와 작은 평면곡선반경의 곡선부를 접속시키는 것을 배제하도록 언급만 하고 있는 실정으로 실무에서 국내와 같은 산지특성의 지역에 설치하는데 무리가 있다(MLTMA 2009).

따라서 국내의 산지특성으로 인해 부득이하게 연속곡선을 설치할 경우 명확한 설계재원값을 적용할 수 없는 문제가 발생하게 된다. 특히 Superhighway의 연속곡선부에서는 운전자에게 더 많은 위험성과 불쾌감을 제공할 수 있으므로 안전성과 쾌적성의 측면에 대해 연구를 수행하고자 한다.

2. 연구방법론

Superhighway의 연속곡선에 대한 본 연구에서는 (1)연속곡선에 대한 기존 100~120km/h의 설계기준이 Superhighway에 적용가능한지, (2)어떠한 곡선반경 또는 곡선반경 조합이 위험한지, (3)Superhighway에서 연속곡선과 원곡선을 구분짓는 기준은 어떠한가에 대해 주로 연구하고자 한다.

자동차 운전자는 직선부에서 평면곡선부로 주행할 때 그 회전반경이 무한대(직선)에서 차츰 일정한 반경이 되도록 핸들을 조작하게 된다. 즉, 직선주행에서 일정한 반경의 곡선구간으로 주행하기 위해서는 직선과 평면의 원곡선부 사이에서 특별한 형태의 곡선주행을 하게 되는데 이를 완화주행이라 하며, 그때의 회전각속도는 아래 Eq. (1)과 같다.

$$w = \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\theta}{ds} \times \frac{dt}{ds} = \frac{v}{R} \quad (1)$$

w : 자동차의 회전각속도

v : 자동차의 주행속도(m/sec)

R : 주행궤적상의 임의의 점에서의 평면곡선반경

θ : 회전각

특히 직선부에서 평면곡선부로 또는 평면곡선부에서 직선부로 주행하는 차량의 회전각속도(Eq. (2) 참고)가 일정하게 될 때 운전자가 안전하고 쾌적하게 주행할 수 있다(AASHTO 2000; MLTMA 2009). 반대로 운전자가 일정한 핸들조작이 불가능할 경우 차량의 회전반경이 일정하게 나오지 않게 되므로 곡선부에서 발생할 수

있는 차량 이탈사고로 이어질 수 있다.

$$w' = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\theta}{dt} \right) = \frac{v}{s} \times \sec^2 \theta \frac{d\theta}{ds} \quad (2)$$

따라서 본 연구에서는 곡선부 주행의 위험성을 평가하기 위해 곡선부 주행 시 차량 이탈거리를 지표로 활용하였다. 이를 위해 차량이 얼마나 이탈을 해야 위험한지에 대한 기준을 수립하였다. 주행 중인 차량이 정해진 차선을 벗어날 경우를 위험한 것으로 판단하여, Fig. 1과 같이 차로여유폭(Lateral Width) 이상 이탈할 경우를 위험한 상황으로 인식하였으며, Eq. (3)을 통해 산출하였다. 차로폭은 현재 스마트하이웨이 연구에서 초고속주행에 적합한 차로폭 3.75m를 준용하였으며, 차량의 전폭은 5개 회사에서 2013년 시판하였던 33종의 차량의 평균인 1.808m를 적용하였다. 그 결과 차로여유폭(Offset from Lane Center)는 0.971m로 산정되었다.

$$\text{Offset of Lane Center} = \frac{\text{Lane Width} - \text{Overall Width}}{2} \quad (3)$$

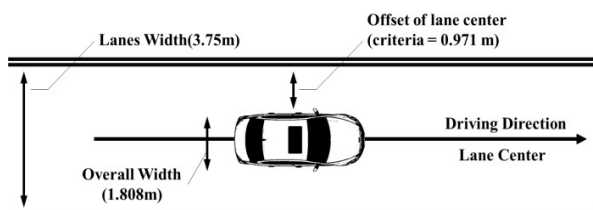


Fig. 1 Offset from Lane Center Criteria

Table 1. Overall Width of Passenger Car (2013)

Model Name	Overall Width(m)	Model Name	Overall Width(m)
Accent	1.705	K5	1.835
Avante	1.775	K5 Hybrid	1.835
Avante coupe	1.775	K7	1.850
i30	1.780	K7 Hybrid	1.850
Veloster	1.805	K9	1.900
Sonata	1.835	SM7	1.870
Sonata Hybrid	1.835	SM5	1.860
i40	1.815	SM3	1.810
Grandeur	1.860	Chairman W	1.895
Grandeur Hybrid	1.860	Chairman H	1.895
Genesis	1.890	Spark	1.595
Genesis coupe	1.865	Aveo	1.735
Equus	1.900	Aveo Hatch back	1.735
Morning	1.595	Cruze	1.790
Pride	1.720	Cruze5	1.790
K3	1.780	Malibu	1.855
K3 coupe	1.780	Average	1.808

그러나 현재 국내에 건설된 고속도로들은 모두 설계속도100~120km/h에 기준을 둔 도로들로써, 이보다 높은 설계기준을 가지는 Superhighway의 주행특성을 실측실험으로 분석할 수 없는 한계가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 가상주행 시뮬레이션 프로그램인 UC-win/road software와 차량시뮬레이터 I-drive 3ch 2DOF MP 기종을 사용하였다. 또한, 기존연구에 따르면, 110km/h부터 160km/h까지 주행특성을 본 연구에서 활용한 방법에 따라 분석한 결과 110km/h에서 140km/h까지는 주행 시 나타나는 운전자의 뇌파가 유사하게 나타났으며, 140km/h부터 운전자의 뇌파값이 높게 평가되어 기존의 설계기준을 가지는 고속도로와 다른 특성을 보이는 것으로 분석되었다(Lim, 2012). 따라서, 본 연구는 Superhighway 연속곡선의 기초연구로서 Superhighway의 운전자 주행특성이 나타나기 시작하는 설계속도 140km/h 도로를 집중적으로 분석하였다.



Fig. 2 UC/win-road Software (Left) & I-Drive Simulator (Right)

UC-win/road software에 적용할 실험 시나리오 맵 구성은 곡선반경 조합별로 25개의 시나리오로 구성하였으며, 그 곡선반경의 범위는 1,200m, 1,500m, 2,000m, 2,500m, 3,000m로 설정하였다. 이는 기수행된 스마트하이웨이 연구에서 최소곡선반경기준을 1,200m로 설정한 것에 기인하며, 또한 직선의 행태를 나타내는 곡선반경을 3,000m로 제시하였기 때문이다. 또한 두 곡선사이의 직선삽입 길이별로 추가적인 시나리오를 구성하였으며, 직선삽입 길이는 0m, 160m, 300m, 500m, 1,000m 총 5개로 구분하였다. 160m의 직선길이는 완화곡선 설치를 위한 최소길이이며 (140km/h 주행 시 2초에 80m 완화곡선 설치), 300m는 편경사 설치를 위한 최소길이이다. 스마트하이웨이의 선행연구에서 곡선반경 1,200m의 경우 편경사를 8%로 적용하는 것이 운전자의 불쾌감을 저감시킬 수 있다는 것을 밝혀내었으며, 이에 따라 편경사 접속설치 길이를 계산한 결과 150m의 직선부 편경사 설치가 필요하기 때문이다. 이후의 직선길이 500m와 1,000m는 임

의적으로 설정하였다. 최종적으로 1 CASE 당 25개의 시나리오로 구성하여 총 125개 시나리오를 구축하였다.

Table 2. Scenario & CASE for Reverse Curve of Superhighway Simulation

CASE	L (Length of Tangent)	Scenario of R1-R2 Combination
1	0m	1200-1200, 1200-1500, 1200-2000 1200-2500, 1200-3000
2	160m	1500-1200, 1500-1500, 1500-2000 1500-2500, 1500-3000
3	300m	2000-1200, 2000-1500, 2000-2000 2000-2500, 2000-3000
4	500m	2500-1200, 2500-1500, 2500-2000 2500-2500, 2500-3000
5	1,000m	3000-1200, 3000-1500, 3000-2000 3000-2500, 3000-3000

시뮬레이션 맵 구축 시 곡선길이에 따른 영향력을 최소화하기 위해 충분히 긴 길이라고 생각되는 2,000m를 적용하였다. 또한 Eq. (4)의 수식에 따라 완화곡선의 길이를 최소값인 80m로 설정하였으며, Eq. (5)에 따라 클로소이드 파라미터는 아래 Fig. 3으로 적용하였다.

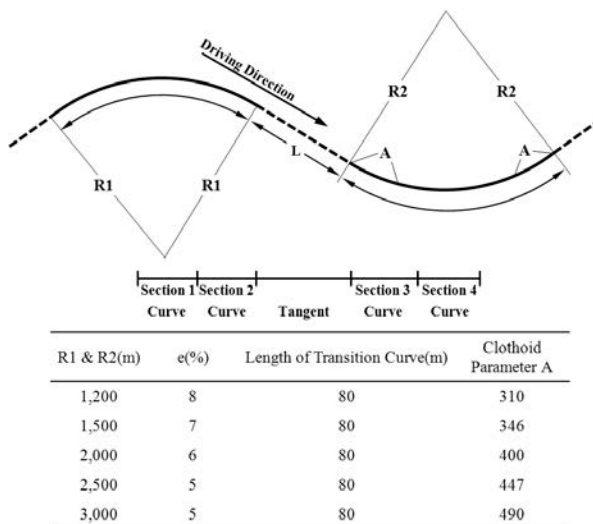


Fig. 3 Simulation Map Construction & Analysis Section Setting

$$\text{Length of Transition Curve} = v \times t \quad (4)$$

v : 주행속도(m/sec, 40m/sec 적용)

t : 주행시간(2sec 적용)

$$A^2 = R \times L \quad (5)$$

A : 클로소이드 파라미터

R : 평면곡선 반지름(m)

L : 완화곡선 길이(m)

3. 자료수집

Superhighway의 차량 이탈거리 시뮬레이션의 피실험자는 성별, 연령을 고려하여 총 30명을 대상으로 하였다. 피실험자를 대상으로 시뮬레이션 주행과 실험에 대한 교육 후 각 3회의 예비주행을 통해 시뮬레이터에 대한 이해도를 높일 수 있도록 하였다.

자료수집을 위해 우선적으로 구축된 가상주행시뮬레이션의 맵의 이정(Station)과 일반곡선부구간과 곡선부 연결구간으로 이루어진 분석대상구간(Section)을 매칭하였다. 이후 Fig. 4와 같이 산출된 이탈거리 결과를 바탕으로 분석대상구간의 이탈거리를 평균화한 값을 수집하였다.

Table 3. Composition of Test Subject for Simulation

Age	Sum	Male	Female
20~29	16	6	7
30~39	10	7	3
40~49	2	1	1
50~59	2	1	1
Total		30	

따라서 1개의 R1-R2조합 시나리오 당 4개의 이탈거리 값이 수집되었으며, 총 125개 시나리오 30명의 피실험자를 통해 15,000개의 이탈거리 실험값을 수집하였다. 수집된 실험값들의 기초통계량(Basic Statistics)은 Table 4와 같다. 기초통계량에 따르면 곡선부 주행 시 발생하는 차로이탈거리(Offset from Lane Center) 평균값은 378.4~566.8mm 사이에 존재하는 것을 알 수 있다. 대체적으로 곡선반경이 작은 조합의 경우 이탈거리 값이 크게 산정되었으며, 분산 역시 큰 것으로 나타났다. 또한 곡선간 삼입된 직선길이가 500m 이상인 경우 이탈거리 평균값과 분산값이 낮게 산출되었다.

앞에서 제시하였듯이 일반적으로 곡선부 주행 시 차로 이탈현상이 발생하는데 이는 횡가속도에 따라 달라지며, Eq. (6)으로 산정할 수 있다. 본 연구에서는 운전자의 반응속도를 0.6초로 적용하였는데 이는 운전자의 반응속

Table 4. Basic Statistics

(Unit : mm)

L(m)	R1(m)	N	R ² (m)									
			1,200		1,500		2,000		2,500		3,000	
			Ave.	Stddev	Ave.	Stddev	Ave.	Stddev	Ave.	Stddev	Ave.	Stddev
0	1,200	30	537.8	245.1	559.9	255.8	438.6	125.2	438.2	125.4	426.3	117.1
	1,500	30	534.3	269.9	408.0	118.1	417.8	109.2	416.7	128.0	421.3	120.1
	2,000	30	549.7	249.2	423.5	120.1	423.8	122.9	422.5	123.7	401.1	124.9
	2,500	30	553.8	271.7	412.8	117.0	429.5	123.3	417.0	127.2	403.9	120.2
	3,000	30	543.8	244.7	547.9	262.5	402.3	120.0	433.8	120.5	421.3	116.7
160	1,200	30	560.0	252.0	554.2	260.8	414.6	118.8	422.1	125.9	429.3	114.6
	1,500	30	548.0	265.9	439.5	117.1	430.5	122.5	420.8	113.4	424.7	119.0
	2,000	30	539.1	261.6	432.6	118.0	424.5	120.3	423.1	118.7	398.6	122.6
	2,500	30	546.9	263.2	432.9	118.1	414.2	118.2	434.0	115.5	416.7	119.6
	3,000	30	543.5	250.4	561.3	249.2	427.1	122.6	418.4	123.3	433.2	123.2
300	1,200	30	560.4	257.2	539.1	270.7	417.5	121.6	424.6	129.9	429.3	117.7
	1,500	30	519.4	238.6	421.4	121.0	427.3	116.1	403.5	117.3	420.5	111.9
	2,000	30	555.7	261.7	406.1	119.9	430.1	112.6	427.4	128.3	424.9	116.5
	2,500	30	547.3	249.8	396.2	118.3	421.0	120.5	426.6	126.9	421.3	127.6
	3,000	30	566.8	246.0	548.3	255.9	398.1	119.8	432.0	125.5	415.0	116.0
500	1,200	30	387.1	96.0	390.4	90.1	406.3	100.5	389.5	94.0	411.0	94.4
	1,500	30	396.6	99.2	396.6	94.7	396.1	100.5	396.8	92.6	408.2	94.5
	2,000	30	389.6	95.5	396.2	100.3	386.1	92.7	411.0	95.1	397.8	99.5
	2,500	30	387.1	96.0	401.3	98.5	403.5	96.3	400.2	104.1	401.5	102.6
	3,000	30	398.4	98.3	388.6	95.7	387.3	92.4	406.4	106.2	398.1	100.9
1,000	1,200	30	388.9	99.6	394.2	97.6	393.6	101.5	400.9	104.3	409.3	98.5
	1,500	30	404.5	89.0	399.4	97.1	389.4	91.5	397.4	94.0	393.2	106.8
	2,000	30	404.6	98.8	400.8	93.7	384.0	98.0	378.4	99.1	390.6	100.3
	2,500	30	393.5	98.4	393.0	103.0	406.4	106.3	396.2	100.4	402.2	99.7
	3,000	30	385.9	94.1	398.2	99.8	388.8	96.6	395.7	98.9	379.2	100.9
Total	-	-	485.7	191.7	441.7	143.7	410.3	110.8	413.3	113.5	411.1	111.4

도와 관련된 연구 중 차량의 이상거동이 시작되고 0.2~0.4초 후에 운전자가 반응한다는 연구를 준용한 결과이다(Emmelmann 1981; Baker 1986). 따라서 운전자 반응속도를 중간값인 0.3초를 적용하였고 여유치, 안전치, 운전자 반응 후 조향장치가 작동하는 시간을 고려하여 최종적으로 0.3초의 2배값인 0.6초를 적용하였다.

$$Offset\ of\ Lane\ Center = \frac{V}{3.6} \times s \times \tan(r_R \times s \times \frac{180}{\pi}) \quad (6)$$

V : 주행속도(km/h)

s : 반응시간(0.6sec)

r_R : 횡가속도(m/sec²)

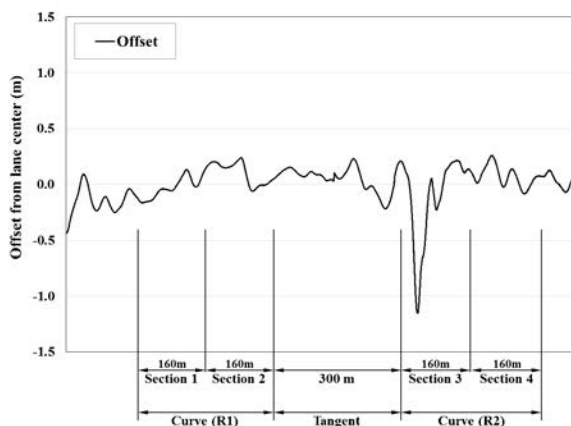


Fig. 4 Offset Results of Simulation (e.g: CASE 3-Scenario 1)

이론적으로 발생하는 차로이탈거리와 시뮬레이션을 통해 산출된 차로이탈거리와의 비교는 Fig. 5로 확인할 수 있다. 대부분의 케이스 및 시나리오에서는 Eq. (6)에 의해 산출된 차로이탈거리값과 유사한 것으로 나타났다. 그러나 일부 케이스 및 시나리오의 Section 3 즉, R1에서 R2로 진입할 때 차로이탈거리값은 Eq. (3)을 통해 산출된 차로이탈 기준을 넘어서는 것으로 나타나 안전성이 확보되지 않음을 알 수 있다. 앞서 밝혔듯이 완화주행이 운전자의 쾌적성과 부합한다. 그러나 곡선 반경이 작거나 두 곡선간의 곡선반경 차이가 큰 경우 일

정한 각속도로 주행하지 못하며, 배향곡선의 주행이 일반적인 단일원곡선의 주행행태와 다르게 나타날 수 있음을 의미한다.

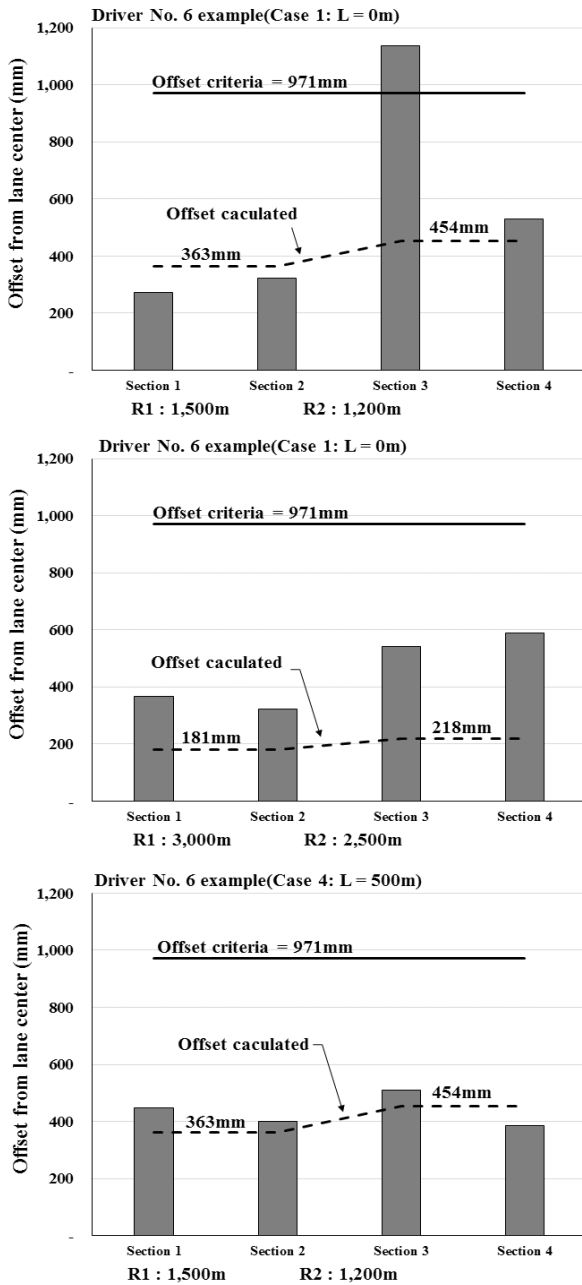


Fig. 5 Distribution of Offset from Lane Center According to R-pair & L (e.g : Driver No.6)

4. 분석 및 결론

곡선반경 조합별로 차로이탈거리 분포가 상이하다는 것은 앞선 기초통계량에서 살펴볼 수 있었다. 본 연구에서는 (1)시나리오별 차로이탈거리 차이가 유효한지를 우선 검증하고, (2)동일한 특성을 나타내는 곡선반경 조

합을 찾고자 하였다. 이를 통해 어떠한 곡선반경 조합이 운전자에게 위험한 환경을 제공하는지 밝혀내고자 하였다. 따라서 아래 Fig. 6과 같이 각 Step을 통해 시나리오별, CASE별 통계적 동일성을 검증하고 동일한 집단의 특성을 분석하였다. 이를 통해 분석대상의 분포가 모두 동일하지 여부를 우선 밝혀내고, 그 분포가 다르다면 어떤 시나리오 및 케이스에서 동일한 분포를 구성하는지 살펴보고자 하였다.

차로이탈거리값의 동일성을 검증하기 위해 통계프로그램인 SPSS 12.0을 사용하였으며, 프로그램 내 분석기법인 ANOVA Test와 Tukey Test를 수행하였다.

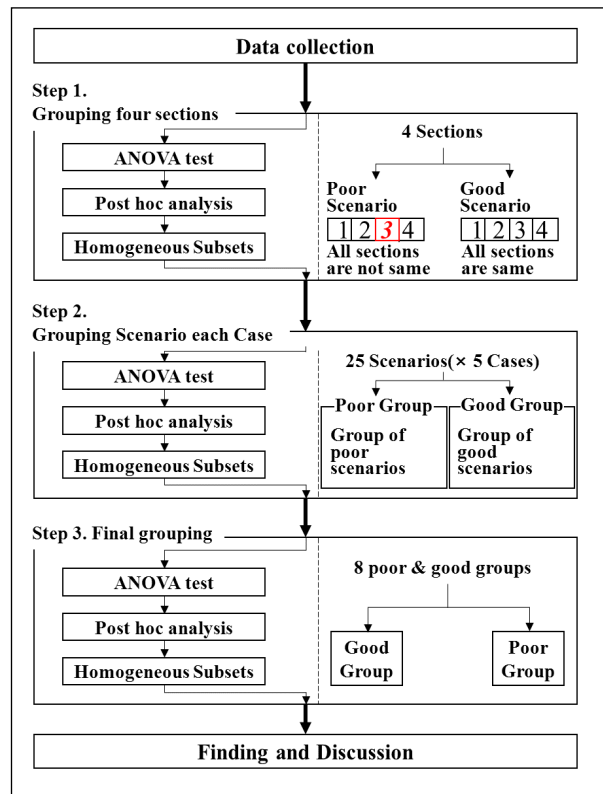


Fig. 6 Flow Chart for Research

Tukey test는 sample의 여러 집단에 대하여 다중비교하는 통계적 분석방법으로 집단간 평균값의 유의한 차이를 검증하기 위해 ANOVA(등분산분석)과 결합하여 사용된다. 이 결합된 test는 먼저 ANOVA로 집단들의 평균의 동일성을 검증하고 다음으로 Tukey test로 통계적으로 유의한 집단들을 분류한다. 이러한 이유로 Tukey test는 Post hoc test(사후검정)으로 불리기도 한다. 교통분야에 있어 Tukey test는 ANOVA 분석의 Post hoc test(사후검정)로서 교통안전, 교통시설, 도로설계 등의 분야에서 대안을 분석하는 도구로서 주로 활용되고 있다(Moon 2013; Park 2012; Shim 2009; Shim 2009).

[Step 1] 분석대상구간(Section) 동일성 검증

Fig. 3에서 제시하였듯이, 125개의 시나리오는 각각 4개의 분석구간(section)으로 구분되어있다. 본 연구에서는 1개의 시나리오내에 4개의 분석구간이 서로 동일한 분포를 가지는 지 검증하였다. 분석결과 Table 6에 제시된 것과 같이 일부 시나리오에서 4개의 분석구간의 차로이탈값이 다른 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다. 앞서 제시한 Table 4와 Fig. 5의 분석결과와 동일한 시나리오에서 차로이탈값 증가현상이 나타나고 있으며, 이러한 현상이 통계적으로 유의미함을 밝혀냈다.

Table 5. Result of Tested Four-Sections ANOVA (Step 1)

R2(m)	R1(m)	L=0m		L=160m		L=300m		L=500m		L=1,000m	
		F	Prob	F	Prob	F	Prob	F	Prob	F	Prob
		1,200	1,200	119.4	0.000*	102.9	0.000*	106.8	0.000*	0.2	0.894
	1,500	159.2	0.000*	145.1	0.000*	111.3	0.000*	0.2	0.901	0.3	0.809
	2,000	126.1	0.000*	128.4	0.000*	109.9	0.000*	0.6	0.631	0.6	0.623
	2,500	144.1	0.000*	123.2	0.000*	107.0	0.000*	0.2	0.894	1.0	0.415
	3,000	110.8	0.000*	113.8	0.000*	91.8	0.000*	0.3	0.800	0.9	0.428
1,500	1,200	130.4	0.000*	110.6	0.000*	147.3	0.000*	0.1	0.966	0.3	0.822
	1,500	0.2	0.901	0.7	0.574	0.7	0.550	1.1	0.339	1.0	0.396
	2,000	1.3	0.289	0.5	0.684	1.1	0.371	1.0	0.401	1.2	0.310
	2,500	1.1	0.343	0.7	0.539	0.4	0.737	1.6	0.188	0.8	0.486
	3,000	131.5	0.000*	116.2	0.000*	100.4	0.000*	0.2	0.882	0.7	0.573
2,000	1,200	0.8	0.484	0.5	0.676	0.5	0.654	1.2	0.301	0.6	0.620
	1,500	0.9	0.455	0.6	0.642	0.3	0.800	0.5	0.703	0.8	0.518
	2,000	1.8	0.160	0.9	0.432	0.4	0.764	0.9	0.461	1.0	0.397
	2,500	0.3	0.839	0.1	0.946	0.1	0.931	1.1	0.356	0.9	0.447
	3,000	1.3	0.265	1.7	0.166	0.4	0.758	1.4	0.249	2.1	0.106
2,500	1,200	0.7	0.550	0.6	0.636	0.7	0.549	0.5	0.705	0.7	0.571
	1,500	1.9	0.129	0.4	0.740	0.7	0.541	0.6	0.646	1.5	0.217
	2,000	0.5	0.704	0.6	0.617	0.2	0.892	0.4	0.755	0.5	0.660
	2,500	0.8	0.512	0.4	0.772	0.2	0.900	1.3	0.283	0.7	0.537
	3,000	1.3	0.285	1.8	0.157	0.2	0.888	0.3	0.835	0.4	0.772
3,000	1,200	1.0	0.398	1.2	0.314	0.4	0.766	0.1	0.980	0.5	0.654
	1,500	1.1	0.347	0.0	0.993	1.9	0.129	0.7	0.554	1.2	0.298
	2,000	1.0	0.411	0.3	0.829	0.7	0.526	0.4	0.771	0.4	0.769
	2,500	0.1	0.940	0.7	0.553	1.2	0.320	0.5	0.704	0.5	0.654
	3,000	0.4	0.777	1.0	0.412	0.9	0.466	0.3	0.806	2.7	0.047

a. d.f. of all cases is 3, d.f.=four sections-1
 b. Sum of square는 논문 양식으로 인해 생략함.
 * F statistic is statistically significant at $p < 0.05$.

분석결과 각 Section간 차로이탈값 특성이 다르게 산정된 시나리오는 총 125개 중 21개였다. 이러한 현상을 곡선반경(R)과 직선길이(L)로 정리하면 (1) R1과 R2가 작은 경우(특히 R2가 작은 경우) (2) R2가 작으면서, R1이 R2의 2배 이상인 경우($R1 > 2 \times R2$) (3) 직선삽입길이(L)이 300m 이하인 경우로 정리할 수 있다.

주목할 것은 L(Length of Tangent)이 300m 이하인 경우에서만 발생하였으며, L이 500m 이상인 경우

Table 6. Homogeneous Subsets of Tested Four-Sections (Step 1.-Tukey HSD)

R2 (m)	R1 (m)	Section																				
		L=0m				L=160m				L=300m				L=500m				L=1,000m				
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
1,200	1,200	1	1	2*	1	1	1	2*	1	1	1	2*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,500	1	1	2*	1	1	1	2*	1	1	1	2*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,000	1	1	2*	1	1	1	2*	1	1	1	2*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,500	1	1	2*	1	1	1	2*	1	1	1	2*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3,000	1	1	2*	1	1	1	2*	1	1	1	2*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,500	1,200	1	1	2*	1	1	1	2*	1	1	1	2*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3,000	1	1	2*	1	1	1	2*	1	1	1	2*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2,000	1,200	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3,000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2,500	1,200	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3,000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3,000	1,200	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3,000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

* The mean difference is significant at the 0.05 level

곡선반경 조합과 상관없이 모든 시나리오에서 각 Section의 차이가 발생하지 않았다는 것이다. 이러한 결과는 L이 없거나 작은 경우 R1의 주행행태가 R2 진입 시에 영향을 미치지 않지만 L이 500m 이상인 경우 각 곡선간의 영향력이 상실되기 때문으로 판단된다. 즉 두 곡선 사이에 500m 이상의 직선을 삽입한다면, 두 곡선의 주행행태는 단일 원곡선의 행태와 동일하게 나타난다는 것이다.

[Step 2] 25개 시나리오의 동일성 검증

Step 1에서는 각 시나리오별 분석대상구간의 분포를 살펴보았다면, Step 2에서는 125개의 시나리오간의 분포를 살펴보고 동일한 집단이 있는지 분석하였다. 즉, 3번 Section에서 차로이탈값이 크게 산정된 시나리오들이 서로 동일한지 또는 각 Section간의 차로이탈값이 고르게 산정된 시나리오들이 서로 동일한지를 살펴보았다. 이를 통해 곡선반경과 직선길이의 영향력을 더욱 명확히 알아보려고 한다.

분석결과 Table 7에서 보듯이 L이 0m, 160m, 300m

인 3가지의 CASE에서 각 시나리오들이 모두 동일하지 않은것으로 나타났다. 반면에 L이 500m, 1,000m인 CASE에서는 모든 시나리오들이 동일한 것으로 나타났다. 즉, L이 300m 이하인 시나리오들은 서로 다른 분포를 나타내고 있다는 것이며, 이는 Section 3의 차로이탈값이 크게 산정된 시나리오들을 의미한다.

Table 7. Result of 25 Scenarios ANOVA (Step 2)

L(m)	Group	Sump of square	d.f	F
0	Between Group	10,046,393	24	14.389*
	Within Group	86,547,903	2,975	-
	Total	96,594,296	2,999	-
160	Between Group	9,865,466	24	14.231*
	Within Group	85,930,224	2,975	-
	Total	95,795,690	2,999	-
300	Between Group	10,501,287	24	15.306*
	Within Group	85,047,629	2,975	-
	Total	95,548,916	2,999	-
500	Between Group	170,763	24	0.751
	Within Group	28,167,273	2,975	-
	Total	28,338,036	2,999	-
1,000	Between Group	184,936	24	0.789
	Within Group	29,040,351	2,975	-
	Total	29,225,287	2,999	-

* F statistic is statistically significant at $p < 0.05$.

Table 8의 Tukey HSD검정 결과를 살펴보면 더욱 명확한 결과를 확인할 수 있다. 앞선 Step 1에서 Section 3의 차로이탈값이 크게 산정된 시나리오는 그렇지 않은 시나리오와 다른 그룹으로 형성되었으며, 이러한 현상은 L이 300m 이하인 경우에만 발생하였다. 반면 L이 500m 이상인 케이스에서는 모든 시나리오들이 동일한 그룹으로 형성되었다.

즉, L이 500m 이상인 케이스에서는 두 곡선간의 영향력이 없으므로, 독립적인 원곡선의 주행행태가 나타나게 되며, 그렇기 때문에 다양한 곡선반경의 조합에도 불구하고 일정한 차로이탈값이 산정된 것이다.

반면에 L이 300m 이하인 경우는 곡선반경의 조합에 따라 상이한 분포 특성을 나타내고 있다. Step 1의 결과와 마찬가지로 작은 곡선반경의 조합인 경우, R1이 R2보다 2배 이상 큰 경우 차로이탈값이 크게 산정되었으며, 특히 R2가 작은 시나리오에서 대부분 발생하였다.

[Step 3] 8개 그룹 간 동일성 검증

Step 2의 결과에 따라 본 연구에서는 125개의 시나

Table 8. Homogeneous Subsets of 25 Scenarios (Step 2-Tukey HSD)

(Unit : mm)

L = 0 m			L = 160 m			L = 300 m					
R1	R2	1	2	R1	R2	1	2	R1	R2	1	2
5	3	401.1		5	3	398.6		2	4	396.2	
3	5	402.3		3	4	414.2		3	5	398.1	
5	4	403.9		3	1	414.6		4	2	403.5	
2	2	408.0		5	4	416.7		2	3	406.1	
2	4	412.8		4	5	418.4		5	5	415.0	
4	2	416.7		4	2	420.8		3	1	417.5	
4	4	417.0		4	1	422.1		5	2	420.5	
3	2	417.8		4	3	423.1		3	4	421.0	
5	2	421.3		3	3	424.5		5	4	421.3	
5	5	421.3		5	2	424.7		2	2	421.4	
4	3	422.5		3	5	427.1		4	1	424.6	
2	3	423.5		5	1	429.3		5	3	424.9	
3	3	423.8		3	2	430.5		4	4	426.6	
5	1	426.3		2	3	432.6		3	2	427.3	
3	4	429.5		2	4	432.9		4	3	427.4	
4	5	433.8		5	5	433.2		5	1	429.3	
4	1	438.2		4	4	434.0		3	3	430.1	
3	1	438.6		2	2	439.5		4	5	432.0	
1	2		534.3	1	3		539.1	1	2		519.4
1	1		537.8	1	5		543.5	2	1		539.1
1	5		543.8	1	4		546.9	1	4		547.3
2	5		547.9	1	2		548.0	2	5		548.3
1	3		549.7	2	1		554.2	1	3		555.7
1	4		553.8	1	1		560.0	1	1		560.4
2	1		559.9	2	5		561.3	1	5		566.8
prob	0.993	1.000		prob	0.980	1.000		prob	0.996	0.898	
L = 500 m			L = 1,000 m								
R1	R2	1	R1	R2	1						
3	3	386.1	4	3	378.4						
1	1	387.1	5	5	379.2						
1	4	387.1	3	3	384.0						
3	5	387.3	1	5	385.9						
2	5	388.6	3	5	388.8						
4	1	389.5	1	1	388.9						
1	3	389.6	3	2	389.4						
2	1	390.4	5	3	390.6						
3	2	396.1	2	4	393.0						
2	3	396.2	5	2	393.2						
1	2	396.6	1	4	393.5						
2	2	396.6	3	1	393.6						
4	2	396.8	2	1	394.2						
5	3	397.8	4	5	395.7						
5	5	398.1	4	4	396.2						
1	5	398.4	4	2	397.4						
4	4	400.2	2	5	398.2						
2	4	401.3	2	2	399.4						
5	4	401.5	2	3	400.8						
3	4	403.5	4	1	400.9						
3	1	406.3	5	4	402.2						
4	5	406.4	1	2	404.5						
5	2	408.2	1	3	404.6						
5	1	411.0	3	4	406.4						
4	3	411.0	5	1	409.3						
prob		0.958	prob		0.749						

* 1=1,200m, 2=1,500m, 3=2,000m, 4=2,500m, 5=3,000m

* subset for alpha = 0,05

리오를 8개의 그룹으로 분류하였다. Step 3에서는 최종적으로 8개의 그룹이 동일성을 지닌 그룹인지 아닌지에 대한 분석을 수행하였다. 8개의 그룹을 명명하기 위해 직선길이(L)로 구분하였으며, 차로이탈값이 크게 산정된 시나리오를 Poor, 차로이탈값이 균등하게 산정된 시나리오를 Good으로 명명하여 그룹을 구성하였다.

Table 9의 ANOVA Test에 따르면 8개 그룹은 서로 다른 그룹으로 이루어져 있음을 알 수 있다. Tukey Test를 통해 살펴본 결과 크게 A, B, C의 3개 그룹으로 종합할 수 있다. Step 2에서 Poor그룹(Group A)으로 산정된 시나리오는 모두 동일한 분포를 가지고 있는 것으로 나타났다.

다만, 특이한 것은 차로이탈값이 균등한 시나리오는 직선길이의 크기에 따라 2개의 그룹으로 나누어진다는 것이다. 즉, L이 500m 이상(Group C)인 시나리오와 L이 300m 이하(Group B)인 시나리오는 차로이탈값이 균등하더라도 다른 그룹으로 나누어진 것을 알 수 있다.

Table 10에서 보듯이 Group A의 경우 평균값이 0.5m 수준으로 다른 그룹과의 확연한 차이가 있음을 알 수 있다. 그러나 Group B와 Group C의 경우 차로이탈값의 평균이 0.4m 수준으로 산정되었으며 그 차이 역시 0.03m 수준으로 나와 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나 통계분석 결과 Group B와 C는 서로 다른 그룹이며, 그 분포가 확연히 다르다는 것을 알 수 있다.

Table 9. Result of Tested Five Cases ANOVA

Group	Sum of square	d.f.	F
Between Groups	42,754,478	7	289.706*
Within Groups	316,071,212	14,992	-
Total	358,825,690	14,999	-

* F statistic is statistically significant at $p < 0.05$.

Table 10. Homogeneous Subsets of Five Cases (Tukey HSD)

(Unit : mm)

Group	N	Subset for alpha = 0.05		
		A	B	C
(L=1,000) & (Good)	3,000			394.7
(L=500) & (Good)	3,000			397.3
(L=300) & (Good)	2,160		419.0	
(L=0) & (Good)	2,160		419.0	
(L=160) & (Good)	2,160		424.3	
(L=0) & (Poor)	840	546.7		
(L=300) & (Poor)	840	548.1		
(L=160) & (Poor)	840	550.4		
Prob.		0.998	0.980	1.000

Table 11. Post Hoc Test Result About Five Cases (Tukey HSD)

Group(I)	Group(J)	Mean Difference (I-J)	Prob.
(L=0) & (Poor)	(H=160) & (Poor)	-3.7	1.000
	(H=300) & (Poor)	-1.4	1.000
	(H=0) & (Good)	126.8	0.000
	(H=160) & (Good)	122.5	0.000
	(H=300) & (Good)	127.7	0.000
	(H=500) & (Good)	149.5	0.000
(L=160) & (Poor)	(H=1,000) & (Good)	152.0	0.000
	(H=0) & (Poor)	3.7	1.000
	(H=300) & (Poor)	2.3	1.000
	(H=0) & (Good)	130.5	0.000
	(H=160) & (Good)	126.2	0.000
	(H=300) & (Good)	131.4	0.000
(L=300) & (Poor)	(H=500) & (Good)	153.1	0.000
	(H=1,000) & (Good)	155.7	0.000
	(H=0) & (Poor)	1.4	1.000
	(H=160) & (Poor)	-2.3	1.000
	(H=0) & (Good)	128.2	0.000
	(H=160) & (Good)	123.9	0.000
(L=0) & (Good)	(H=300) & (Good)	129.1	0.000
	(H=500) & (Good)	150.9	0.000
	(H=1,000) & (Good)	153.4	0.000
	(H=0) & (Poor)	-126.8	0.000
	(H=160) & (Poor)	-130.5	0.000
	(H=300) & (Poor)	-128.2	0.000
(L=160) & (Good)	(H=160) & (Good)	-4.3	0.977
	(H=300) & (Good)	0.9	1.000
	(H=500) & (Good)	22.6	0.000
	(H=1,000) & (Good)	25.2	0.000
	(H=0) & (Poor)	-122.5	0.000
	(H=160) & (Poor)	-126.2	0.000
(L=300) & (Good)	(H=300) & (Poor)	-123.9	0.000
	(H=0) & (Good)	4.3	0.977
	(H=300) & (Good)	5.2	0.938
	(H=500) & (Good)	27.0	0.000
	(H=1,000) & (Good)	29.5	0.000
	(H=0) & (Poor)	-127.7	0.000
(L=500) & (Good)	(H=160) & (Poor)	-131.4	0.000
	(H=300) & (Poor)	-129.1	0.000
	(H=0) & (Good)	-0.9	1.000
	(H=160) & (Good)	-5.2	0.938
	(H=500) & (Good)	21.8	0.000
	(H=1,000) & (Good)	24.3	0.000
(L=0) & (Poor)	(H=0) & (Poor)	-149.5	0.000
	(H=160) & (Poor)	-153.1	0.000
	(H=300) & (Poor)	-150.9	0.000
	(H=0) & (Good)	-22.6	0.000
	(H=160) & (Good)	-27.0	0.000
	(H=300) & (Good)	-21.8	0.000
(L=1,000) & (Good)	(H=1,000) & (Good)	2.5	0.998
	(H=0) & (Poor)	-152.0	0.000
	(H=160) & (Poor)	-155.7	0.000
	(H=300) & (Poor)	-153.4	0.000
	(H=0) & (Good)	-25.2	0.000
	(H=160) & (Good)	-29.5	0.000
(L=500) & (Poor)	(H=300) & (Good)	-24.3	0.000
	(H=500) & (Good)	-2.5	0.998

5. 결론

본 연구에서는 기초통계량분석부터 ANOVA 및 Tukey Test를 거쳐 연속곡선의 주행행태를 결정짓는 요인에 대해 분석하였다. 그 결과 두 곡선 사이에 500m 이상의 직선이 삽입된 경우 두 곡선은 서로간의 주행에 영향을 미치지 않게 되어 독립적인 원곡선으로 볼 수 있다는 것을 밝혀내었다.

또한 두 곡선이 연속곡선의 형태이거나, 짧은 직선이 두 곡선 사이에 삽입된 경우 곡선반경의 크기와 그 비율에 따라 주행행태가 달라질 수 있음을 밝혀냈다.

주목할 것은 곡선부 주행 시 차로이탈 행태와 운전자의 감정과의 연관성에 있다. 본 연구에서는 주행 시물레이션 실험 시 운전자의 뇌파를 함께 측정하도록 조치하였다. 뇌파측정 실험의 목적은 연속곡선부 주행 시의 운전자의 불안한 정도를 측정하는 것으로, 이러한 행태를 잘 나타낼 수 있는 뇌파인 EEG뇌파 중 불안 및 긴장을 나타내는 13~30Hz의 High Beta파를 수집하였다 (Lim 2012).

Fig. 7에서 나타나듯이 그룹 A, B, C간의 차로이탈 거리 평균값의 변화는 그룹 A에서 두드러지게 나타났다. High Beta파 역시 그룹 A에서 두드러지게 나타났으나, 그 행태가 차로이탈값과는 상이하였다. 즉, 차로이탈거리는 Section 3에 한정되어 크게 나타났으나, High Beta파의 경우 Section 2에서 이미 증가하고 있는 추세로 나타난 것이다. 또한 그룹 B와 C의 차로이탈 거리 평균값은 동일한 것으로 보이나, 그룹 B의 경우 High Beta파가 Section 2~3구간에서 소폭 변화하는 것을 볼 수 있다. 뇌파특성을 살펴보면 운전자는 주행 중 앞선 구간에 대한 고려를 하고 있으며, 이는 운전자 기대심리와 함께 작용할 것이다. 따라서 이러한 기대심리가 위배되는 설계로 인해 적정 조향 또는 반응을 운전하지 못하게 되므로 안전성 및 쾌적성에 저해되는 요소로 작용하게 된다. 따라서 이러한 설계를 지양해야 하는 것은 마땅할 것이다.

결론적으로 연속곡선 형태의 설계 시 (1)두 곡선 사이에 500 이상의 직선을 삽입하거나, 그렇지 못할 경우 (2) 곡선반경 2,000 이상의 큰 곡선을 활용할 것, (3)R1/R2 비율이 2 이상이 되지 않도록 하는 것이 운전자의 안전성과 쾌적성을 확보하는 설계이며, 운전자의 기대심리에 부합한다고 할 수 있다.

연속곡선을 설치하는 것은 되도록 하지 않고 있지만, 국내지형 특성상 연속곡선 설치에 대한 기준은 반드시 필요하다. 현재 국내 지침은 연속곡선의 설치에 대해서

기술적으로만 언급하고 있어 문제가 있어왔다. 본 연구를 통해 국내에 정성적으로 언급되었던 연속곡선에 대해 공학적 접근이 가능할 것이며, 더 나아가 정량적인 설계방침으로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

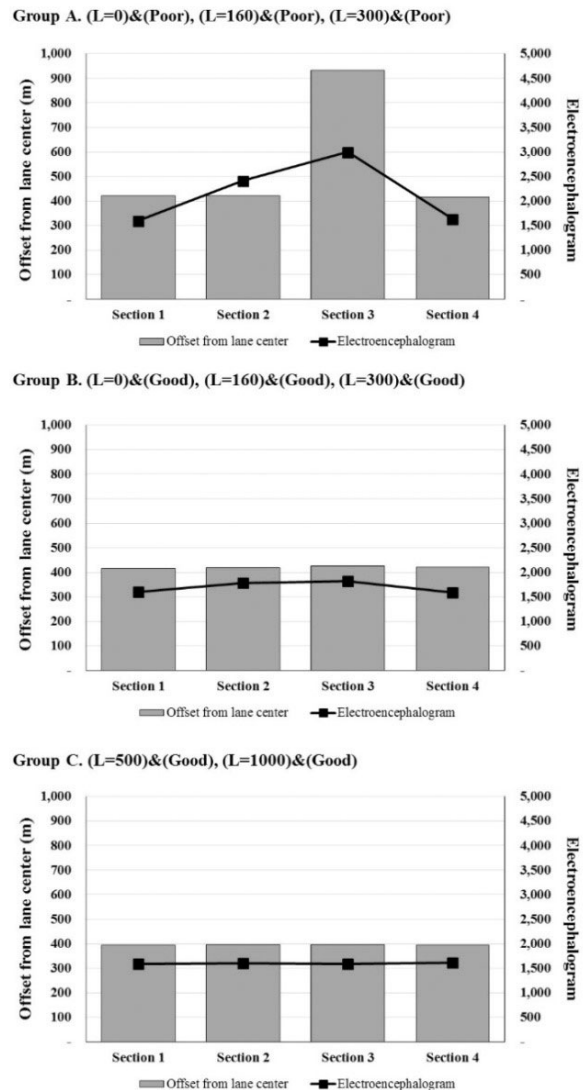


Fig. 7 Relationship of Offset from Lane Center & Electroencephalogram

감사의 글

이 연구는 스마트하이웨이 사업단을 통하여 지원된 SMART Highway 기하구조 기본연구 R&D 과업에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

References

- AASHTO, 1994. A policy on geometric design of highways and streets. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO, 2000. A policy on geometric design of highways and

- streets. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO, 2002. A policy on geometric design of highways and streets. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO, 2004. A policy on geometric design of highways and streets. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Alberta, 2006. Reverse Turn and Reverse Curve Signs, Alberta Infrastructure.
- Baker, C.J., 1986. A simplified analysis of various types of wind-induced road vehicle accidents. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 22(1), pp. 69-85.
- Emmelman, H.J., 1981. Driving Stability in Side Winds. *Aerodynamics of Road Vehicles*. pp. 201-221.
- Iowa DOT, 2001. Iowa Traffic Control Devices and Pavement Markings: A Manual for Cities and Counties, Iowa DOT Project TR-441.
- Kang, M.U., Do, C.U. and Son, B.S. 2002. Fitting Distribution of Accident Frequency of Freeway Horizontal curve Sections & Development of Negative Binomial Regression Models. *Journal of Korean Society of Transportation*, 20(7), pp. 197-204.
- Lee, S.K., 2008. A Development of the Accident Prediction Models Considering Compound Curves, M.A. thesis, University of Hanyang, Korea.
- Lim J.B. et al., 2012. A Study of the Relationship between Driver's Anxiety EEG & Driving Speed in Motorway Sections. *The Korean Society of Safety*, 27(3), pp. 167-175.
- McLean, J., 1981. Driver speed behaviour and rural road alignment design. *Traffic Engineering & Control*, 22(4), pp. 208-211.
- MLTMA, 2009. Highway Geometric Design Standard and Regulation, Ministry of Land and Transportation and Maritime Affairs, Korea.
- Moon, H.R., Han, D.C., and Kang, W.P., 2013. Characteristic of Road Traffic Noise According to Road Vertical Alignment. *the Korean Society of Highway Engineers, Journal of the Korean Society of Highway Engineers*, 15(4), pp. 95-105.
- Park, J.H., Yun, D.G., Sung, J.G., and Kang, W.E., 2012. An Alternative Effectiveness Analysis on Anti-Dew Road Sign. *the Korean Society of Highway Engineers, Journal of the Korean Society of Highway Engineers*, 14(2), pp. 55-61.
- Shim, K.B., and Hwang, K.S., 2009. Development of Computation Model for Traffic Accidents Risk Index ?Focusing on Intersection in Chuncheon City-. *the Korean Society of Highway Engineers, Journal of the Korean Society of Highway Engineers*, 11(30), pp. 61-74.
- Shim, S.W., and Choi, K.C., 2009. Classification of Freeway Traffic Condition by the Impacts of Road Weather Factors. *Korean Society of Civil Engineers, Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 29(6D), pp. 685-691.
- Sayed, T. and Leur, P.D., 2005. Predicting the safety performance associated with highway design decisions: a case study of the sea to sky highway. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 32, pp. 352-360.