

평면곡선과 종단곡선이 겹친 복합선형 구간에서 교통사고 특성분석

Analysis of Traffic Accident Characteristics for the Overlap Section of Horizontal and Vertical Alignment

박민수 Park, Minsoo | 정회원 · 한국종합기술 도로공항부 전무 (E-mail : pms21@kecc.co.kr)
장명순 Chang, Myungsoon | 정회원 · 한양대학교 교통물류공학과 교수 (E-mail : hytran@hitel.net)

ABSTRACT

This study has been conducted to characterize the relations between the accident rate and the overlap section elements where the horizontal alignment and vertical alignment are overlapped. The researches were performed on Horizontal curve sections of 4-lane highways with 100km/h of design speed and speed limit. Korea Highway Corporation's Geographic Figurative Information System was adopted for geometric organization and Highway Traffic Accident Statistics was used. The results reveal that sections made of a single slope without vertical curve has greater accident rate than those with vertical curve, and that sections with 1 vertical curve are higher in the accident rate than those with over 2 vertical curve. For the sections with 1 vertical curve, SAG sections are higher than CREST sections and for the previous straight section of horizontal curve are higher than curved ones. In particular, when the road surface is wet, the accident rate is closely related with SAG vertical curves or leftward horizontal curved sections. This study will have meanings that it proposes the importance of design of road alignment by taking consideration of 3D synthetic alignment conditions for improvement of the road safety.

KEYWORDS

horizontal alignment, vertical alignment, overlap section of horizontal and vertical alignment, accident rate

요지

본 연구는 평면선형과 종단선형이 겹친 복합선형 구간에서 복합선형요소와 교통사고와의 특성을 파악하기 위한 목적으로 진행되었다. 이를 위해 설계속도 및 제한속도가 100km/h인 4차로 고속도로 중 평면곡선부를 대상으로 연구를 진행하였다. 기하구조자료는 한국도로공사 「지리도형정보시스템」 자료를 이용하였고 교통사고자료는 「고속도로 교통사고 통계」 자료를 활용하였다. 분석결과, 종단곡선이 없는 경우가 종단곡선이 있는 경우보다 사고율이 높게 나타났으며, 종단곡선이 1개인 경우가 종단곡선이 2개 이상인 경우보다 사고율이 높게 나타났다. 종단곡선이 1개인 경우, 오목종단곡선(SAG) 구간이 볼록종단곡선(CREST) 구간보다 사고율이 높게 나타났으며, 평면곡선부 이전 선형이 직선부인 경우가 곡선부인 경우보다 사고율이 높게 나타났다. 특히 노면상태가 습기(강우)일 때에는 평면곡선내 오목종단곡선인 경우이거나 평면곡선방향이 좌향구간의 경우 교통사고와 관련성이 높음을 확인하였다. 본 연구에서는 도로의 안전성을 높이기 위해 3차원적인 복합선형 조건을 고려한 도로 선형설계의 중요성을 제시하였다는 점에서 의미가 있을 것이다.

핵심용어

평면선형, 종단선형, 복합선형, 교통사고율

1. 서론

도로에서의 교통사고는 도로를 구성하는 3대 요소인 운전자, 도로, 차량 요소의 조합에 의해서 발생하게 된

다. 이중에서 도로에서의 교통사고에 가장 큰 영향을 미치는 세부요인중 하나는 도로의 선형조건이라 할 수 있다. 선형조건은 도로의 가장 기본적인 요소로서, 해당도

로의 등급, 설계속도에 따라 결정되게 된다. 또한 설계 요소인 도로선형조건의 개선은 운전자 및 차량요인의 부정적인 영향을 감소시켜 줄 수 있기 때문에 교통안전 측면에서 매우 중요한 요소라 할 수 있다.

기존 연구에서는 기하구조 요소와 교통사고와의 관계를 규명한 연구들이 많이 수행되었는데, 가장 많이 언급된 평면곡선반경 외에 DC(Degree of Curves), CCR(Curvature Change Rate), 평면곡선길이, 편경사, 완화곡선길이, 시거, 도로폭원, 노면마찰력 등 많은 기하구조 요인들이 교통사고와 밀접한 연관성이 있다는 결과가 제시되고 있다. 또한 종단선형과 관련된 요인으로 종단경사 크기, 오르막/내리막, km당 종단변화율 등이 주요한 요인으로 분석되었다.

기존 연구들은 주로 개별적인 선형요소들과 교통사고와의 관계에 대한 분석이 주를 이루었다. 즉, 2차원적인 분석을 통해서 개별적인 선형요소가 교통사고에 미치는 영향을 주로 분석하였다.

그러나 도로는 3차원적인 구조를 갖고 있기 때문에 평면선형과 종단선형을 동시에 고려하여 교통사고 특성을 분석해 볼 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 관점하에 도로 기하구조와 교통사고와의 관계를 분석하고자 한다. 연구대상은 평면곡선구간을 기반으로 하되, 이와 조합된 종단선형과의 조합을 통해 3개의 복합곡선 형태로 구분하여 교통사고특성을 분석하고자 한다.

2. 선행연구 고찰

교통사고와 선형요인과의 연관성을 분석한 기존 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

강민욱(2002)은 호남고속도로를 대상으로 단일곡선과 배향곡선구간으로 나누어 분석한 결과 배향곡선구간의 사고율이 단일곡선 구간에 비하여 높게 나타남을 보여주었다.

김상엽(2009)은 고속도로 평면곡선의 경우, 1km의 긴 직선일 경우와 두 직선사이에 짧은 곡선이 있을 경우 사고에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한 종단곡선의 경우 내리막과 종단변화 횟수는 사고를 증가시키거나 오르막 경사의 경우 사고를 감소시키는 것으로 분석되었다.

오홍운(2009)은 설계요소와 설계속도의 일관성이 교통사고 발생과 상관성이 높다는 사실을 도출하였고, 곡선반경, 곡선길이, 편경사의 크기, 관찰속도의 크기가 표준편차를 줄이는 설계일관성 측면에서 중요하다고 제

시하고 있다.

황경성(2010)은 서해안고속도로를 대상으로, 곡선길이와 곡선반경은 커질수록 사고가 감소하며 직선의 길이가 길어질수록 사고가 증가하는 것으로 나타났다. 직선부의 내리막과 복합경사는 사고를 증가시키며, 분류부와 합류부는 곡선부에 연결될 경우 사고가 증가하는 것으로 나타났다.

Lamm(1999)은 높은 CCR을 가진 도로가 낮은 CCR을 가진 도로에 비해 사고율이 높으며 CCR이 500gon/km 이상인 경우에는 사고율과 사고비용이 매우 높게 나타났음을 제시하였다.

John Milton(1998)은 간선도로를 대상으로 본선거리, 편경사, 연평균일교통량, 차로수, 종단경사, 횡단경사가 사고건수와의 관계를 음이항 회귀식을 사용한 모형을 제시하고 있다.

A.F. Iyınam et al(2003)은 터키의 지방부 도로를 대상으로 평면선형의 요소가 종단곡선의 영향보다 교통안전에 큰 영향을 미치는 것으로 분석하였다.

Ciro Caliendo et al.(2007)은 4차로, 중분대 있는 자동차전용도로에서 교통사고모형을 도출하였다. 분석결과 시거, 노면마찰력, 종단구배, 직선의 길이, 1/곡선반경, AADT가 유의한 변수로 분석하였다.

Dalal Hanno(2004)는 평면선형과 종단선형 사이의 조화와 실제 사고발생과의 영향을 평가하였다. 분석결과 불록종단곡선(CREST)보다 오목종단곡선(SAG)에서 높은 사고율이 나타났으며, 교통량이 많은 경우나 긴 곡선 길이의 경우 종단선형을 피하는 것이 안전할 것으로 분석되었다.

Moudud Hassan et al(2005)은 곡선반경, 평면곡선길이, 종단곡선 길이 등이 변화할 때 운전자의 시각적 인식의 변화를 분석하였다. 분석결과 운전자는 평면곡선이 종단곡선과 겹칠 때 평면곡선을 잘못 인식하였으며, 이러한 평면곡선에 대한 인식오류는 평면곡선이 오목종단곡선(SAG)과 중첩될 때 더 분명하게 나타났다. 배향곡선의 존재는 불록종단곡선과 조합에서는 평면곡선 형태 인식에 영향을 미쳤으나 배향곡선의 길이는 불록/오목곡선에 관계없이 영향을 미치지 않은 것으로 분석되었다.

기존 연구 결과를 정리해 보면, 모형을 통해 평면선형과 종단선형이 동시에 고려되었다 하더라도, 다양한 복합선형 형태가 교통사고에 어떠한 영향을 주는지를 밝혀내는 것에는 한계가 존재하였다. 본 연구는 다양한 복합선형 구간에서의 교통사고 특성을 분석하여 그 차이를 제시하고자 한다.

3. 분석 대상 선정 및 자료 수집

3.1. 분석 대상

먼저 분석 대상구간은 평면곡선구간으로 선정하였다. 이는 평면곡선구간이 직선구간에 비해 교통사고 발생빈도가 높으며, 종단곡선과의 조합에 따라 교통사고 특성이 달라지기 때문이다.

본 연구에서 분석대상인 복합선형 조건은 표 1과 같이 종단곡선의 유무와 종단곡선의 개수에 따라 3개의 형태로 나눌 수 있다.

표 1. 복합선형 형태별 구분

형태	구분	복합선형 형상	
A	종단 곡선이 없는 구간	H	
		V	
B	종단 곡선이 1개 있는 구간	H	
		V	
C	종단 곡선 2개 이상	H	
		V	

먼저 Type A는 평면곡선구간이 종단곡선이 없이 종단경사만 이루어진 구간을 말한다. 즉 평면곡선구간이 내리막 또는 오르막 경사만 구성된 구간이 이에 해당한다.

Type B는 종단곡선이 1개인 경우로, 오르막과 내리막 경사구간이 종단곡선으로 조합된 구간이다. 이 경우는 종단곡선의 형상에 따라 오목곡선(SAG)과 볼록곡선(CREST)으로 구분되며, 평면곡선 중심점(IP)과 종단곡선 교차점(VIP)의 이격거리와 평면곡선내 종단곡선의 크기에 따라 평면곡선과 종단곡선의 중첩도¹⁾도 중요한

1) (평면곡선내 종단곡선길이/평면곡선길이)×100

요소로 작용한다.

Type C는 평면곡선내에 종단곡선이 2개 이상(종단경사는 3개 이상) 존재하는 경우로 복합적인 선형 형태를 갖게 된다.

앞에서 제시한 3가지 형태의 복합선형 조건은 운전자의 운전 조작 및 도로의 인식에 상당히 다른 영향을 주게 되므로, 각 형태별 사고특성을 분석해 보면, 시사점 있는 결과가 도출될 수 있을 것이다.

3.2. 기하구조 자료

분석 대상에 대한 도로 조건을 통일하기 위해, 고속도로 중 양방향 4차로, 설계속도 및 제한속도가 100km/h 구간을 선정하였다. 또한 최근 도로조건이 변화가 없는 2004년~2008년의 5개년을 대상으로 기하구조자료, 교통사고자료, 교통량 자료 등을 수집하였다.

최종 선정된 분석대상구간은 호남선의 서순천IC~회덕JCT구간(248.1km), 남해선의 서순천IC~산인JCT구간(125.2km), 중앙선의 금호JCT~춘천IC구간(259.4km) 등 총 3개노선 632.7km이며, 이는 전체 고속도로 3,732km의 16.9%에 해당하는 자료이다.

이중에서 남해선 진주IC~문산IC 4.2km와 중앙선 남원주IC~신림IC 19.2km 구간은 제한속도가 80km/h 구간으로 과업대상에서 제외하여 자료의 조건을 통일시켰다.

고속도로 기하구조 자료를 수집하기 위해서, 한국도로공사 “지리도형정보시스템”의 종평면도 자료를 이용하여 선형조건 자료를 정리하였다. 고속도로 종평면도 자료는 노선별로 20m 단위로 구분하여 평면선형과 종단선형의 세부 기하구조 자료가 표시되어 있으며, 구조물, 절성토여부, 표지판, 폭원 등이 표현된 유지관리용 도면이다.

이를 이용하여 평면곡선부 구간에 대하여 상하행 방향별로 구분하여 개별 평면선형 설계요소, 종단선형 설계요소 등을 정리하였다.

또한 추가적으로 해당 평면곡선 구간 이전의 평면선형 조건이 직선부인지, 곡선부인지에 대한 분석도 병행하여 시행하였다. 즉 교통사고는 교통사고가 발생하는 구간의 조건에 의해서도 영향을 받지만 연속된 도로조건을 주행하는 운전자는 이전의 주행여건과 기하구조 조건에 따라서도 영향을 받기 때문에, 본 연구에서는 평면곡선부 이전 선형에 대한 영향도 고려하고자 평면곡선부 이전 선형조건을 정리하였다.

최종적으로 분석에 활용된 자료를 정리해 보면 표 2와 같다.

표 2. 기하구조 자료 정리

기본대상	복합선형조건		이전 선형조건
	중단곡선 없는 경우		
평면곡선 구간	중단곡선 있는 경우	중단곡선 1개	직선부인 경우
		중단곡선 2개 이상	곡선부인 경우

최종 정리된 곡선부 지점수는 942지점이고 곡선부 연장은 양방향 기준으로 654.6km로, 이는 연구대상 노선 전체연장 632.7km(편도방향)의 51.5%²⁾에 해당한다.

구축된 곡선부 942지점 중 교통사고가 발생한 구간은 481지점으로 전체의 51.1% 차지하고 있으며 교통사고 미발생구간은 461지점(48.9%)으로 나타났다.

3.3. 교통사고 자료

교통사고자료는 한국도로공사에서 조사·발표하는 「고속도로 교통사고 통계」를 이용하였다. 고속도로 교통사고자료는 사고일자, 사고시간, 노선명, 이정, 사망/부상자수, 날씨, 사고원인, 주야구분, 사고유형, 사고차량수, 작업장여부, 노면상태, 포장상태, 사고차종, 세부 사고내용 등 다양한 사고정보를 포함하고 있다.

본 연구에서는 2004년~2008년 사고자료를 방향별, 이정별로 정리하여 전절에서 정리한 평면선형자료의 방향별 이정 자료와 비교하여 평면곡선부에 발생한 사고건수, 사망/부상자수와 사고율을 정리하였다.

사고율은 평면곡선구간의 개별 사고건수로 정리된 자료를 1억대당 사고율개념으로 재정리하여 각 구간별로 상대적인 비교가 가능하게 하였다. 여기에서 사고건수는 5년간의 사고건수를 사용하였다.

$$\text{사고율}(AR) = \frac{\text{5년간사고건수} \times 100,000,000}{\text{일평균교통량} \times \text{구간길이 (km)}} \quad (1)$$

사고율에 적용된 일평균 교통량은 고속도로 교통량 통계자료를 이용하여 구간별 방향별 연평균일교통량(AADT)를 산출하였으며, 5개년(2004~2008)의 출입

2) 전체 대상구간 632.7km은 편도방향 기준시 1,265.4km이며 곡선부 정리구간 651.6km는 전체의 51.5%에 해당되며, 정리된 곡선부 자료는 모든 곡선부 자료를 정리한것은 아니고 종평면도 자료중 분리구간 등 설계자료 누락구간은 제외됨.

시설 구간별 AADT를 이용하여 교통량을 산출하였다. 중차량 구성비는 2008년 구간별 차량구성비를 기준으로 산정하였다.

본 연구에서는 2004~2008년 5개년의 전체 교통사고자료 2,862건 중 다음의 과정을 거쳐 분석에 사용된 사고자료를 선택하였다.

먼저 사고발생지점에 따라 자료를 정리하였는데, 사고자료에는 최초사고지점이 본선 이외에 연결로, 영업소(TG), 휴게소 등에서도 발생된 자료도 포함하고 있다. 본 연구에서는 연결로 상에서 발생한 사고, 영업소(TG) 및 휴게소 내에서 발생한 사고는 본선 선형조건과는 다른 특성을 보이는 것으로 판단하여 사고자료에서 제외하였다. 또한 터널내에서 발생한 사고도 제외하였는데, 터널구간은 폐쇄된 공간적 특성, 길어깨 폭 축소, 차로변경 제한 등으로 본선 일반구간과 다른 특성을 보이는 것으로 판단하여 제외하였다.

다음으로 사고유형, 사고원인, 작업구간 여부에 따라 다음 자료는 평면곡선부와 관련이 없는 것으로 판단하여 자료를 제외하였다. 사고유형에 따른 구분은 차-사람, 차-시설, 단독, 추돌, 충돌, 접촉, 화재, 기타 등으로 구분되는데, 본 연구에서는 차-사람, 추돌, 충돌, 화재, 기타 사고 등은 제외하였다. 사고원인은 크게 운전자 결함, 차량결함, 기타로 구분되는데, 차량결함 및 기타에 의한 사고는 제외하였다. 여기에서 차량결함에 의한 사고는 타이어파손이 대부분이었으며 엔진과열, 제동장치, 조향장치 결함 등으로 조사되었다. 기타 사고는 동물침입, 적재불량 노면잡물 등에 의한 사고로 나타났다. 사고발생구간이 작업구간과 관련된 사고는 분석에서 제외하였는데, 공사내용은 갯길작업/교량보수/중분대작업/차선도색 등으로 나타났다.

이상의 과정을 거쳐 최종 정리된 평면곡선부에서 발생한 교통사고는 총 990건으로 집계되었다.

4. 선형조건별 교통사고 비교 분석

4.1. 평면곡선반경과 교통사고

먼저 분석대상 구간인 평면곡선구간에서 평면곡선반경과 교통사고와의 관계를 분석해 보았다. 평면곡선반경과 교통사고의 관계는 그림 1과 같다.

평면곡선반경 크기에 따른 그룹별 분산분석 결과는 표 3에서 보는 바와 같이 유의확률이 0.000이므로, 유의수준 5%하에서 평면곡선 반경의 크기에 따른 사고율의 차이가 존재하는 것으로 나타났다.

또한 각각의 모집단 평균이 다른 모집단의 평균과 차이가 있는지를 분석하는 Scheffe 사후분석 결과, 700m 이하그룹과 700~1,000m 그룹이 동일 집단을 형성하고 700~1,000m 그룹과 1,000~1,500m 그룹, 1,500m 초과그룹이 동일한 집단을 형성하며 700~1,000m 그룹은 두 집단의 특성을 동시에 갖는 것으로 분석되어 각 그룹 별로 유의한 차이는 확보하지 못하는 것으로 나타났다.

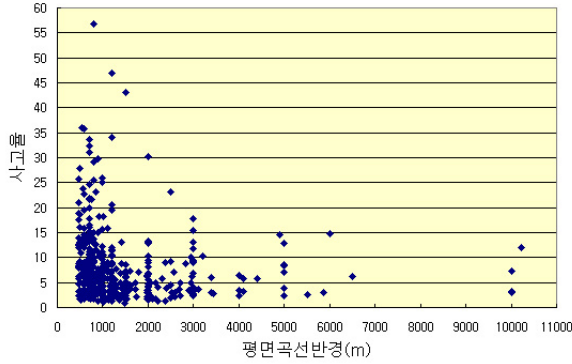


그림 1. 평면곡선반경과 교통사고

표 3. 평면곡선반경 크기별 교통사고 분석실험

	제곱합	df	평균 제곱	F	유의 확률
집단 - 간	1200.5	3	400.1	8.745	.000
집단 - 내	21826.9	477	45.7		
합계	23027.5	480			
제공내용	N	1	2		
Scheffe	R≤700	142	9.9		
	700<R≤1000	126	8.0	8.0	
	1000<R≤1500	90		7.1	
	R>1500	123		5.8	
유의확률			.208	.088	

4.2. 복합선형 조건별 교통사고 분석

4.2.1. 종단곡선 유무와 교통사고

평면곡선 구간내에 종단곡선의 유무에 따른 교통사고 자료 분포는 종단곡선이 없는 경우가 73구간(15.1%)이고 종단곡선이 있는 경우는 408구간(84.9%)으로 구분되었다.

종단곡선의 유무와 교통사고와의 관계는 표 4와 같이 평면곡선부에 종단곡선이 없는 경우가 종단곡선이 있는 경우보다 사고율이 높게 나타나는 것으로 분석되었다.

또한 종단곡선이 없는 경우에 대하여 종단경사의 방향(하향/상향)에 따라 구분하면 다음 표 5와 같다.

분석결과, 하향경사 구간이 상향경사 구간보다 사고

율이 높게 나타났으나, T-검정결과 통계적 유의성은 확보하지 못한 것으로 나타났다.

표 4. 종단곡선 유무와 교통사고

구 분	자료수		사고율			T-test	
	갯수	비율	범위	평균	표준 편차	t	유의 확률
종단곡선이 없는 경우	73	15.1%	2.0~43.2	9.4	7.2	2.041	0.042
종단곡선이 있는 경우	408	84.9%	0.9~56.9	7.6	6.8		

표 5. 종단경사 방향과 교통사고(종단곡선 없는 경우)

구 분	자료수		사고율			T-test	
	갯수	비율	범위	평균	표준 편차	t	유의 확률
하향경사	42	57.5%	2.4~43.2	10.4	8.3	1.526	0.132
상향경사	31	42.5%	2.0~25.7	8.0	5.1		

4.2.2. 종단곡선수에 따른 교통사고 특성

종단곡선이 있는 경우의 자료는 종단곡선이 1개인 경우가 236구간(57.9%), 종단곡선이 2개 이상인 경우가 172구간(42.1%)로 구분되었다.

종단곡선의 개수와 교통사고와의 관계는 종단곡선이 1개 구간(종단경사 2개)이 종단곡선이 2개 이상(종단경사 3개 이상)인 구간보다 사고율이 높게 나타났다.

표 6. 종단곡선 갯수와 교통사고

구 분	자료수		사고율			T-test	
	갯수	비율	범위	평균	표준 편차	t	유의 확률
종단곡선이 1개인 경우	236	57.9%	1.4~46.9	8.3	6.7	2.460	0.015
종단곡선이 2개이상인 경우	172	42.1%	0.9~56.9	6.7	7.2		

종단곡선이 1개인 경우를 종단곡선의 형태에 따라 오목곡선(SAG)과 볼록곡선(CREST)으로 구분하여 분석한 결과, 표 7과 같이 상향경사 이후에 하향경사가 접속되는 볼록곡선(CREST)일때 보다 하향경사 이후에 상

표 7. 종단곡선 형태와 교통사고(종단곡선 1개인 경우)

구 분	자료수		사고율			T-test	
	갯수	비율	범위	평균	표준 편차	t	유의 확률
오목곡선 (SAG)	125	53.2%	1.5~46.9	9.5	7.9	3.037	0.003
볼록곡선 (CREST)	111	46.8%	1.4~25.1	7.0	4.9		

향경사가 접속되는 오목곡선(SAG)일때의 사고율이 높게 나타났다.

중단곡선이 2개 이상인 경우에 평면곡선부 시점과 종점의 중단계획고의 차이³⁾에 따라 오르막과 내리막으로 구분하여 교통사고와의 관계를 분석하였다.

분석결과, 중단계획 형상이 오르막구간보다 내리막구간에서 사고율이 더 높게 나타났다.

표 8. 중단계획 형상과 교통사고(중단곡선 2개 이상 경우)

구 분	자료수		사고율			T-test	
	갯수	비율	범위	평균	표준 편차	t	유의 확률
오르막구간	91	52.9%	1.1~24.7	5.6	4.3	2.168	0.032
내리막구간	81	47.1%	0.9~56.9	7.9	8.8		

4.2.3. 평면곡선구간 이전 선형조건과 교통사고

평면곡선부 이전구간의 선형조건에 따른 자료 분포는 직선부인 구간은 399구간(82.8%)이고 곡선부인 구간은 82구간(17.2%)으로 구분되었다.

이전 직선부의 길이는 43~5,629m로 나타났고, 이전 구간이 곡선부인 경우 연속된 평면곡선의 접속형태는 배향곡선⁴⁾이 전체 82구간중 75구간(91.4%)을 차지해 대부분의 경우를 이루고 있었다.

평면곡선 이전구간의 선형조건과 교통사고와의 관계는, 표 9에서 보는 바와 같이 평면곡선 이전구간이 직선부(직선부 → 곡선부)인 경우가 이전구간이 곡선부(곡선부 → 곡선부)인 경우보다 사고율이 높게 나타났다. 이것은 연속된 곡선구간을 주행하는 운전자들은 이미 곡선부 주행여건에 적응한 결과로 판단된다.

표 9. 평면곡선부 이전 선형조건과 교통사고

구 분	자료수		사고율			T-test	
	갯수	비율	범위	평균	표준 편차	t	유의 확률
직선부	399	82.8%	1.1~56.9	8.3	7.1	2.686	0.007
곡선부	82	17.2%	0.9~35.7	6.0	5.4		

직선부 구간의 경우에 있어서도 중단경사가 존재하는데, 직선부의 중단경사가 하향중단경사 구간이 상향경

3) 평면곡선 시점부의 중단계획고와 평면곡선 종점부의 중단계획고의 차에 따라 (+)인 경우는 오르막구간으로, (-)인 경우 내리막 구간으로 구분함

4) 배향곡선일 경우는 이전구간의 평면곡선 방향(좌향/우향)과 해당구간의 평면곡선의 방향이 반대인 경우임

사구간보다 사고율이 높게 나타났다.

표 10. 이전 직선부의 경우 중단경사와 교통사고

구 분	자료수		사고율			T-test	
	갯수	비율	범위	평균	표준 편차	t	유의 확률
하향경사	215	53.9%	1.3~56.9	9.0	7.9	2.113	0.035
상향경사	184	46.1%	1.1~34.1	7.5	6.1		

또한 평면곡선 이전구간이 곡선구간일 경우, 즉 평면곡선이 연속되는 구간의 경우 이전곡선반경과 해당 곡선반경의 비율과 사고와의 관계는 표 11과 같다.

작은 곡선에서 큰 곡선이 연결되는 경우보다 큰 곡선에서 작은 곡선이 연결되는 구간의 사고율이 더 높게 나타났다. 이는 연속된 두 개의 평면곡선구간을 주행하는 경우, 작은 곡선→큰 곡선구간에서 차량은 평면곡선부내에서 가속의 행태를 보이고 큰 곡선 → 작은 곡선구간에서는 감속이 발생하여, 평면곡선구간에서 감속이 발생하는 구간에서 사고발생이 높게 나타난 것으로 판단된다.

표 11. 연속된 곡선부의 곡선반경 비율과 교통사고

구 분	곡선반경비율	자료수		사고율			T-test	
		갯수	비율	범위	평균	표준 편차	t	유의 확률
작은곡선 → 큰곡선	1.0 미만	27	32.5%	1.3~15.3	4.4	3.2	2.373	0.020
큰곡선 → 작은곡선	1.0 이상	55	67.5%	0.9~35.7	6.8	6.0		

5. 노면상태 및 선형요소와 교통사고

본 장에서는 노면상태가 건조인 경우와 습기(강우)인 경우로 구분하여, 노면상태가 습기인 경우에 교통사고와 관련이 높은 기하구조 요소를 분석해 보고 이러한 교통사고의 차이가 나타나게 된 원인을 분석해 보고자 한다.

먼저, 중단곡선형태가 오목곡선(SAG)과 볼록곡선(CREST)인 경우를 노면상태에 따라 비교하면 다음 그림 2와 같다. 노면상태가 건조인 경우는 오목곡선 144건 대 볼록곡선 133건으로 두 경우의 비율이 1.08 배로 비슷한데, 노면상태가 습기(강우)인 경우에는 오목곡선 116건 대 볼록곡선 58건으로 오목곡선(SAG)인 경우가 2배 이상 높은 사고건수를 보이는 것으로 나타났다.

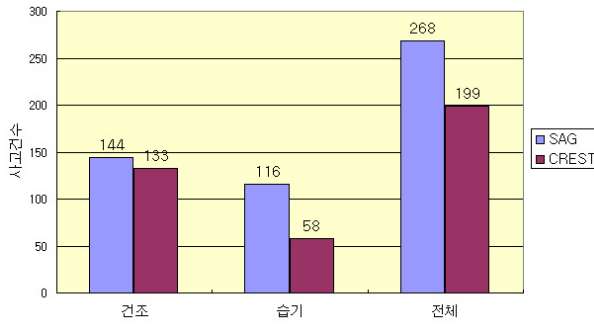


그림 2. 종단곡선형태 및 노면상태와 교통사고

이것은 노면상태가 습기(강우)인 경우 노면수의 흐름에 따라 내리막구간과 오르막구간이 연결되는 오목곡선(SAG)부에서는 종단계획상 최저점부가 평면곡선내부에 포함되어 배수처리가 불리한 경우가 많아 교통사고에 영향을 미친 것으로 판단된다.

또한, 평면곡선방향(좌향/우향)에 따라서 노면상태가 건조와 습기인 경우를 비교하여 보면 그림 3과 같다. 노면상태가 건조인 경우에는 좌향곡선 278건 대 우향곡선 315건으로 우향곡선이 1.13배 사고건수가 높게 나타났는데, 노면상태가 습기인 경우에는 반대로 좌향곡선 248건 대 우향곡선 128건으로 좌향곡선이 1.9배 높은 사고건수를 보이는 것으로 나타났다.

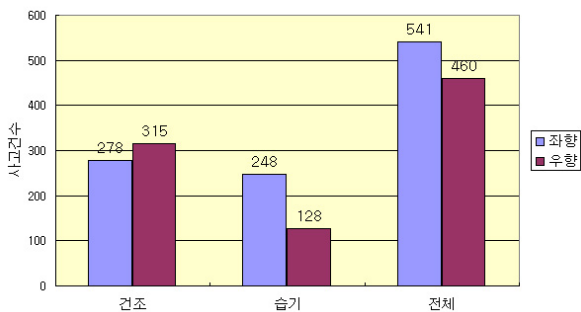


그림 3. 평면곡선방향 및 노면상태와 교통사고

이것은 다음 그림 4에서 보는 바와 같이 좌향곡선구간에서 습기(강우)시 노면수의 흐름으로 살펴보면 설명될 수 있다.

평면곡선방향이 좌향곡선 구간의 경우 역편경사(편경사의 방향이 변함: $- \rightarrow +$, $+ \rightarrow -$) 변화구간이 평면곡선내에서 2개 구간이 발생하고, 노면수가 다른 구간보다 느리게 흐르는 편경사가 "0"인 구간이 2개 구간 발생하는 등 노면상태가 습기(강우)인 경우에는 노면수의 흐름이 불량한 구간이 존재하는 좌향 평면곡선 구간은 교통사고와 관련성이 높은 것으로 판단된다.

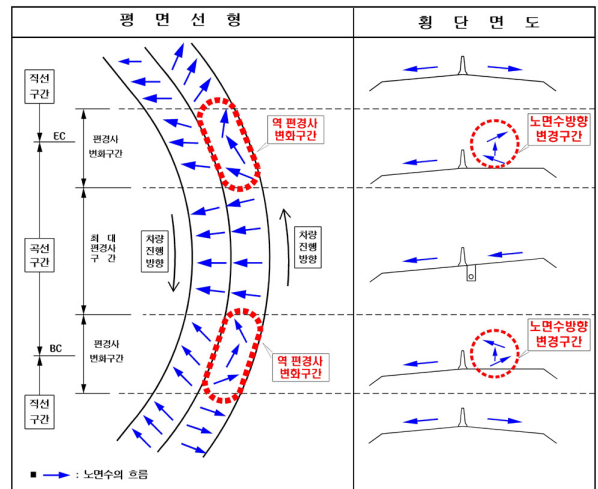


그림 4. 평면곡선방향에 따른 강우시 노면수 흐름도

이상에서 살펴본 바와같이, 종단곡선이 오목곡선(SAG)인 경우이거나 평면곡선 방향이 좌향인 경우에 노면상태가 습기일 때에는 교통사고 발생가능성이 높은 것으로 분석되었다. 따라서 좌향 평면곡선부 및 오목형 종단곡선구간이나 두 구간이 겹치는 구간에 대해서는 설계시에는 배수처리계획에 대한 세심한 검토가 필요함이 확인되었다.

6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 평면선형 및 종단선형이 겹친 복합선형 구간에서의 복합선형요소와 교통사고와의 관계분석을 목적으로 진행되었다.

연구대상구간은 고속도로 4차로 구간중 설계속도 및 제한속도가 100km/h인 구간의 평면곡선부를 대상으로 하였다. 본 연구에서 확인한 평면선형과 종단선형이 겹친 복합선형구간에서 교통사고특성을 정리하면 다음과 같다.

1. 종단곡선 유무에 따라 구분하면 평면곡선구간내에 종단곡선이 없는 경우(즉 단일 종단경사)가 종단곡선이 있는 경우보다 사고율이 높게 나타났다.
2. 종단곡선이 없는 경우, 종단경사가 하향경사일때 상향경사보다 사고율이 높게 나타났다.
3. 종단곡선이 있는 경우, 종단곡선이 1개인 경우가 종단곡선이 2개인 경우보다 사고율이 높게 나타났다.
4. 종단곡선이 1개인 경우, 종단곡선 형태가 오목곡선(SAG) 구간이 볼록곡선(CREST) 구간보다 사고율이 증가하는 것으로 분석되었다.
5. 평면곡선부 이전 선형조건이 직선부(직선→곡선)인

경우가 곡선부(곡선 → 곡선)인 경우보다 사고율이 더 높게 나타났다.

6. 평면곡선부 이전구간이 곡선부일 경우, 큰 곡선에서 작은 곡선으로 주행하는 경우가 작은 곡선에서 큰 곡선으로 주행하는 경우보다 높은 사고율을 보이는 것으로 분석되었다.
7. 노면상태가 습기(강우)일 때에는 평면곡선내 오목형(SAG) 종단곡선인 경우이거나 평면곡선방향이 좌향구간의 경우 교통사고와 관련성이 높음을 확인하였다.

본 연구는 복합선형구간에서 복합선형자료와 교통사고의 특성을 분석하였으며, 평면선형과 종단선형이 겹친 경우 교통사고에 미치는 영향을 설명하였다. 본 연구에서는 도로의 안전성을 높이기 위해 3차원적인 복합선형 조건을 고려한 도로 선형설계의 중요성을 제시하였다는 점에서 의미가 있을 것이다. 이러한 자료를 바탕으로 향후 복합선형구간에서의 안전도 평가모형 개발의 기초자료로 활용할 수 있을 것이다. 다만, 종단곡선이 있는 경우 종단곡선수, 형상등에 따라 세분화하면 더욱 설명력이 높은 모형을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

국토해양부(2009), "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설", 대한토목학회

강민욱(2002), "고속도로 곡선구간에서의 사고 예측모형 개발", *대한토목학회논문집*, 제 22권 제 6-D호 pp.1077-1088

김상엽(2009), "고규격 고속도로에서 선형특성을 반영한 사고예측모형 개발 -서해안고속도로를 중심으로-", 2009 *한국도로학회 학술대회 논문집*, pp.351-358

오흥운(2009), "도로선형설계요소의 표준편차를 이용한 설계 일관성과 교통사고와의 상관성", *한국도로학회 논문집*, 제11권 2호, pp.159-166

이동민(2009), "지방부 다차로 도로구간에서의 사고예측모형

개발(대도시권 외곽 및 구릉지 특성의 도로구간 중심으로)", *대한교통학회지*, 제27권 제4호, pp. 1-9

한국도로공사, *고속도로 교통사고 통계, 각년도*

한국건설기술연구원(2010), *도로 기하구조 안전성 평가기술 개발*

황경성(2010), "차량 속도를 이용한 도로 구간분할에 따른 고속도로 사고빈도 모형 개발 연구", *대한교통학회지*, 제 28권 제2호, pp.151-159

A.F. Iyınam, S. Iyınam, M. Ergun(2003), "Analysis of Relationship Between Highway Safety and Road Geometric Design Elements: Turkish Case", *Traffic Forum*, Technical University of Dresden

Ciro Caliendo, Maurizio Guida, Alessandra Parisi(2007), "A crash-prediction model for multi-lane roads", *Accident Analysis and Prevention* 39, pp.657-670

Dalal Hanno(2004), "Effect of the Combination of Horizontal and Vertical Alignments on Road Safety", The University of British Columbia

Francesco Bella(2005), "Driver Perception of Crest and Sag Combinations at the Driving Simulator : effects on driver's behaviour", Roma TRE University

Hauer, E. Road Grade and Safety(2007). University of Toronto, Toronto, Ontario, www.roadsafetyresearch.com

Lamm, R., B. Psarianos, and T. Mailaender(1999), *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*. McGraw-Hill, New York

Milton, John and Fred Mannering(1998), "The Relationship among Highway Geometries -Traffic-related elements and Motor Vehicle Accident Frequencies", *The relationship among Highway Geometries*, Transportation Research Board 25

Moudud Hasan, Tarek Sayed, Yasser Hassan(2005), "Influence of vertical alignment on horizontal curve perception : effect of spirals and position of vertical curve", the NRC Research Press Web site

Yasser Hassan, Tarek Sayed, and Shaun Bidulka(2002), "Influence of Vertical Alignment on Horizontal Curve Perception(Phase II: Modeling Perceived Radius)", *Transportation Research Record 1796 Paper No. 02-2168*, pp. 24-34

(접수일 : 2011. 10. 27 / 심사일 : 2011. 10. 28 / 심사완료일 : 2011. 12. 7)