

복합선형 사고예측모형 개발에 관한 연구

이수일[†] · 원제무* · 임지희* · 이재명**

서울시립대학교 도시과학연구원 · *한양대학교 도시대학원 · **경기도청 교통정책과
(2009. 7. 3. 접수 / 2010. 3. 24. 채택)

A Development of the Accident Prediction Models Considering Compound Curves

Sooil Lee[†] · Jaimu Won* · Jihee Im* · Jaemyung Lee**

Institute of Urban Sciences, University of Seoul

*Graduate School of Urban Studies, Hanyang University

**Gyeonggi Provincial Government Building

(Received July 3, 2009 / Accepted March 24, 2010)

Abstract : The main point of this study is to find ways to prevent accidents at complex linear sections in advance by improving geometric structure elements that can be considered from the designing stage. Complex linear roads are consisted of sections where straight sections connect with curved sections or sections where curved sections connect with curved sections with relatively high possibility of accidents and accidents can be reduced through improving designing elements in these sections. Therefore, this study aims to develop accident forecasting model in complex linear roads and to clarify major elements affecting traffic accidents. The results of analysis showed that the groups are divided into a group less than 355m based on curve radius of 355m, a group whose curve radius exceeds 355m and a group whose incline exceeds -0.79 and a group whose curve radius is below 355m and incline exceeds -0.79 for straight section+curved section, and for curved section+curved section, it is divided into a group whose first curved section is less than 410m based on curve radius of 410m and the first curve is turning right and a group exceeding 410m and the first curve is turning left. The major variables common in 2 models are front curve radius and curve types(left, right), road surfaces, weather.

Key Words : compound curve, accident prediction, geometric structure, CART analysis

1. 서론

도로의 기하구조가 교통사고에 미치는 영향은 사실상 인적요인 못지않게 중요하다. 왜냐하면 불합리한 도로기하구조는 운전자로 하여금 과도한 집중력을 요구하게 되고 이로 인해 사고 위험 가능성을 높이기 때문이다. 그러므로 도로의 안전성 확보와 교통사고 감소를 위해서는 우선 도로의 선형조건과 사고와의 관계를 명확히 구분할 필요가 있으며, 이를 토대로 선형유형에 따른 사고를 예측할 수 있는 모형의 개발이 필요하다. 지금까지의 연구에서 사고에 영향을 미치는 기하구조로는 종단경사, 곡선경사, 편경사, 차로폭, 차로수, 중앙분리

대의 유형, 포장구분 등이 있다. 그러나 고속도로와 같은 긴 도로구간의 사고분석에 있어서는 도로를 어떤 기준으로 나누어서 분석하는지에 따라 도로선형과 사고와의 관계를 파악하는 매우 중요한 과정이라고 할 수 있다. 고속도로 선형구간 중 비교적 사고 가능성이 높은 도로선형요소들의 조합인 직선부와 곡선부가 이어지는 구간과 곡선부와 곡선부가 이어지는 구간에서는 설계요소의 개선을 통하여 교통사고를 미연에 방지할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 고속도로구간의 복합선형구간을 대상으로 기하구조적 측면과 주변환경적 측면을 고려한 복합선형 사고예측모형을 개발하였다.

2. 기존문헌 고찰

2.1. 선행연구

[†] To whom correspondence should be addressed.
won21@hanyang.ac.kr

기존의 선형연구를 고찰해 보면 대부분 사고지점과 교통사고관계에서 사고의 주요인을 규명하고자 하는 연구가 주를 이루고 있으며, 대부분 곡선부를 대상으로 연구를 진행해 오고 있는 실정이다.

임강원¹⁾에 따르면 경부선과 호남선을 대상으로 연구한 결과 곡선반경이 작아질수록 단독차량사고의 비율이 높아지고 사고율의 증가율 폭이 커서 MVK(백만차량·km)당 사고율도 증가하는 것으로 나타났다. 또한 단방향 4차선인 경부선의 경우보다 단방향 2차선인 호남선의 곡선구간에서 곡선반경이 작은 경우가 특히 문제가 되는 것으로 나타났다.

한국건설기술연구원의 연구보고서²⁾에 따르면 사고다발지점에서의 기하구조와 사고율의 관계는 곡선반경이 300m 이상인 지점에서는 곡선반경이 커질수록 사고율이 낮아지는 결과를 얻었다.

C. V. Zegeer 외⁶⁾는 곡률이 곡선구간에서의 차량 운행 및 사고에 가장 큰 영향을 미치며, 곡률이 큰 급격한 곡선구간일수록 감속율이 커질 뿐만 아니라 이에 따라 사고율이 증가한다는 것을 밝혔다.

L. F. Kenneth 외⁷⁾는 곡선구간에서 발생하는 사고에 영향을 미치는 주요요인으로 곡률, 직선길이, 시거를 결정하고 사고율과 곡률 간의 관계를 정리하였으며, 이 관계에 대한 직선길이와 시거의 영향을 파악하였다. 분석결과를 통해 곡률이 평면곡선부에서 발생하는 사고에 가장 큰 영향을 미치며 곡률이 클수록 사고율이 높다는 것을 밝혔다. 또한 직선길이가 길고 시거가 짧을수록 사고율이 높아지며, 이 효과는 급격한 곡선부일수록 더 현저하게 나타난다는 것을 입증하였다. 하지만 사고율과 곡률의 관계에 대한 직선길이와 시거의 효과를 명확하

게 밝히지는 못하였다.

2.2. 기존 연구의 한계점

기존 사고예측모형과 관련된 선형연구 및 문헌 고찰을 통하여 변수설정과 모형적용 부문에서 연구의 한계점을 도출하였다.

첫 번째로 사고요인 설정부문으로서 연속류 구간의 사고예측모형 도출시 사고지점을 위주로 분석되어 사고원인의 규명이 잘 되지 못해 설명력이 떨어지는 한계점을 지적할 수 있다.

두 번째로 단일구간, 사고지점들을 중심으로 연구가 되어 대부분 곡선부 연구에 국한되어 연구를 진행한 것을 들 수 있다.

본 연구에서는 사고의 영향에 미치는 요인 중 기하구조측면에서 기존의 한지점을 중심으로 연구가 되었던 것을 앞뒤 변화구간을 포함하는 복합선형구간으로 사고요인을 도출하고자 하였다.

3. 사고모형 개발

3.1. 자료의 수집

객관적인 사고분석을 위해서는 무엇보다 사고발생에 영향을 미치는 교통사고 영향요인들이 합리적으로 선정되어야 한다. 본 연구에서는 선형연구결과와 자료수집에 대한 현실적 한계를 감안하여 고속도로 복합곡선 사고에 영향을 미칠 것으로 판단되는 변수를 영향요인으로 선정하였다. 분석자료의 경우 고속도로 전 노선에 대한 자료를 다 수집하는데 한계가 있어 88고속도로를 대상으로 하였다. 선형관련 자료의 경우 해당 복합곡선의 선형특성을 반영하기 위해 직선+곡선부의 경우 곡선반경, 곡선부 길이, 종단경사, 곡선부 유형을 정리하였으며, 곡선+곡선부의 경우 첫 번째 곡선의 곡선반경, 두 번째 곡선의 곡선반경, 첫 번째 곡선유형, 두 번째 곡선유형, 종단경사를 정리하였다. 기타 영향요인의 경우 교통사고 자료는 한국도로공사에서 매년 조사·정리하는 지점별 사고통계자료를 이용하여 정리하였다.

Table 1. Road geometric structure related research

연구자 (년도)	주요내용
임강원 (1985)	- 곡선반경이 짧아질수록 단독차량사고의 비율이 높아지고 사고율의 증가율 폭이 커서 MVK(백만차량·km)당 사고율도 증가 - 주요변수 : 곡선반경, 차로수
한국건설기술연구원 (1990)	- 곡선반경 300m 이상인 지점에서는 곡선반경이 커질수록 사고율이 낮아짐 - 주요변수 : 곡선반경
L. F. Kenneth (1995)	- 평면곡선부에서 곡률이 사고에 많은 영향을 미치며, 직선길이가 길고 시거가 짧을수록 사고율은 높아짐 - 주요변수 : 곡률, 곡선길이, 시거
강민욱 (2002) ³⁾	- 곡선구간에서 기하구조와 사고와의 상관관계를 찾기에 무리가 있음을 제시 - 주요변수 : 곡선반경, 구간길이, 포장
김성환 (2005) ⁴⁾	- 단일로 곡선부에서 사고에 영향을 미치는 독립변수로 속도차, 횡방향 미끄럼 마찰계수를 제시하였음 - 주요변수 : 곡선반경, 위험도 지수, 마찰계수

Table 2. Factors that influence traffic accident

구분	선형관련 영향요인	기타 영향요인
직선부+곡선부	- 곡선반경, 곡선길이, 종단경사, 곡선유형	날씨, 연령, 포장, 성별 등
곡선부+곡선부	- 첫 번째 곡선반경 - 두 번째 곡선반경 - 첫 번째 곡선유형 - 두 번째 곡선유형, 종단경사	날씨, 연령, 포장, 성별 등

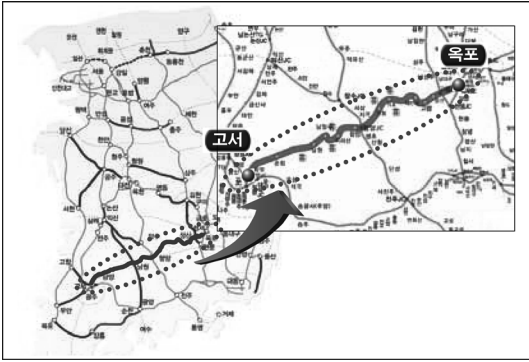


Fig. 1. Spatial range.

최종적으로 사고발생건수로 정리된 사고자료는 사고율 개념으로 재정리 하여 각 구간별로 상대적인 비교가 가능하도록 하였다.

3.2 자료의 분류

수집된 교통사고 영향요인들을 동질적인 자료로 분류하여 모형을 개발하였다. 자료의 분류는 데이터 마이닝 방법인 CART분석을 통하여 직선+곡선부와 곡선+곡선부의 자료를 각각 곡선반경의 크기에 따라 유사한 자료끼리 분류하였다. 아래에 CART분석 결과를 제시하였다.

3.3. 모형의 개발

모형의 개발에서는 수집된 자료에서 복합구간의

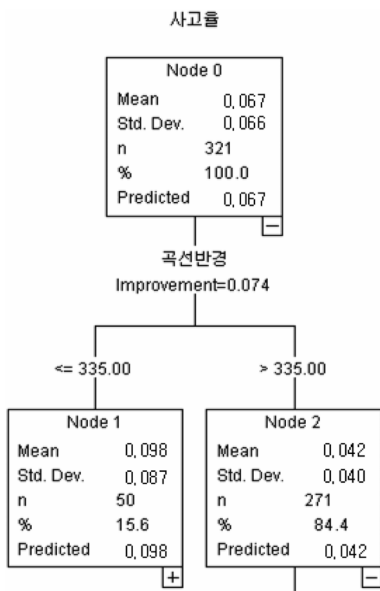


Fig. 2. CART analysis for a straight road following the curve.

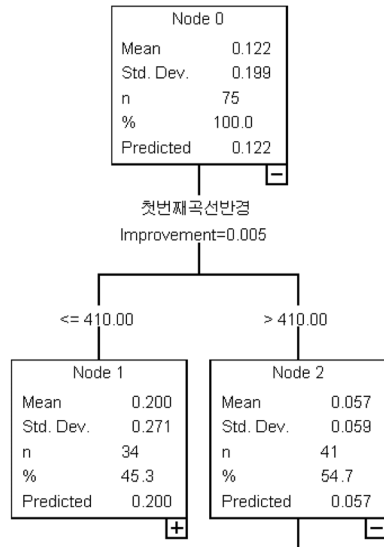


Fig. 3. CART analysis for curve following the curve.

유형을 I. 직선+곡선구간과 II. 곡선+곡선구간으로 나누어서 선형회귀분석 및 비선형회귀분석으로 하여 가장 적합한 모형을 도출하였다. 각 유형에서는 앞서 데이터마이닝의 결과인 곡선반경별로 모형을 개발하였고 가장 적합한 모형도출 결과를 아래에 나타내었다.

(1) 직선+곡선구간의 모형개발

분포검증 결과 직선부+곡선부의 경우 선형회귀분포를 따르는 것으로 나타났고, CART분석에 의해서 곡선반경이 335m를 기준으로 두 개의 모형식을 개발하였다.

1) 곡선반경이 335m 이하인 집단

사고 예측 모형을 개발하기 위해 사용한 독립변수는 직선길이, 곡선반경, 노면상태(터미), 날씨(터미)를 사용하였으며, 종속변수는 사고율로 설정하였다. 회귀모형의 도출 결과는 다음과 같다.

곡선반경이 335m 이하인 유형의 사고율 모형의 도출결과 R²는 0.530으로 나타났으며 계수의 t값과 유의수준도 유의하게 도출되었다.

$$Y = 0.09 - 0.081X_1 - 0.029X_2 + 0.024X_3 + 0.013X_4$$

$$R^2 = 0.530$$

여기서, X_1 = 직선길이
 X_2 = 곡선반경
 X_3 = 노면상태(건조, 습기:0, 적설, 기타:1)
 X_4 = 날씨(맑음, 흐림:0, 비, 눈, 안개:1)

2) 곡선반경이 335m 초과인 집단

곡선반경이 335m 초과인 유형의 사고율 모형의 도출결과 R²는 0.594로 도출되었으며 계수의 t값과 유의수준도 유의하게 도출되었다.

$$Y = 0.289 - 0.0315X_1 - 0.0279X_2 - 0.0423X_3 + 0.0562X_4 + 0.021X_5$$

R² = 0.594

여기서, X₁ = 직선길이
 X₂ = 곡선반경
 X₃ = 종단경사
 X₄ = 곡선유형(좌곡선:0, 우곡선:1)
 X₅ = 날씨(맑음, 흐림:0, 비, 눈, 안개:1)

(2) 곡선+곡선구간의 모형개발

분포검증 결과 곡선부+곡선부의 경우 종속변수인 사고율이 비선형인 포아송 분포를 따르는 것으로 나타나 포아송 회귀분석을 실시하였다. CART 분석에 의해서 곡선반경이 410m를 기준으로 두 개의 모형식을 개발하였다.

1) 첫 번째 곡선 반경 410m 이하 집단

모형의 주요 변수는 첫 번째 곡선반경 및 유형, 날씨, IR₂-R₁/R₁로 선정되어졌으며, 노면상태의 경우 t값이 유의하지 않게 나타나 제외하였으며 다른 변수들은 모두 유의한 값으로 나타났다. ρ²값은 일반적으로 0.2~0.4이면 적합도가 높다고 할 수 있으나 사고예측의 특성상 매우 다양한 변수들이 사고

구 분	상수	첫 번째 곡선반경	IR ₂ -R ₁ /R ₁	노면상태	날씨	첫 번째 곡선유형
Coef.	-0.069	-0.082	0.0015	0.0024	0.0052	0.0032
t-value	-2.623	-3.230	2.521	1.553	2.180	2.023
LL(β)	184.295					
LL(o)	201.327					
ρ ²	0.162					
MPB	-0.158					
MAD	1.832					
Alpha	0.012					

$$Y = \exp(-0.069 - 0.082X_1 + 0.0015X_2 + 0.0052X_3 + 0.0032X_4)$$

여기서, X₁ = 첫 번째 곡선반경
 X₂ = IR₂-R₁/R₁
 X₃ = 날씨(맑음, 흐림:0, 비, 눈, 안개:1)
 X₄ = 첫 번째 곡선 유형(좌로굽은:0, 우로굽은:1)

에 영향을 주기 때문에 0.162로 적합도가 높지 않지만 도출된 계수값은 모두 유의한 것으로 나타나 설명변수의 영향력을 판단하기에는 무리가 없는 것으로 판단된다.

2) 첫 번째 곡선반경 410m 초과 집단

선정되어진 모형의 살펴보면 첫 번째 곡선반경은 크면 클수록 사고율은 낮아지는 것으로 나타났으며, 두곡선의 차이가 크면 클수록 사고율은 높아지는 것으로 나타났다. 마지막 날씨의 경우 비·눈·안개일 경우 사고율은 높아지는 모형의 구조를 가지는 것으로 나타났다.

구 분	상수	첫 번째 곡선반경	IR ₂ -R ₁ /R ₁	날씨	첫 번째 곡선유형
Coef.	0.008	-0.005	0.005	0.013	0.0026
t-value	5.841	-4.854	3.214	2.124	2.023
LL(β)	-174.325				
LL(o)	-186.277				
ρ ²	0.154				
MPB	0.016				
MAD	1.257				
Alpha	0.064				

$$Y = \exp(-0.008 - 0.005X_1 + 0.005X_2 + 0.013X_3 + 0.0026X_4)$$

여기서, X₁ = 첫 번째 곡선반경
 X₂ = IR₂-R₁/R₁
 X₃ = 날씨(맑음, 흐림:0, 비, 눈, 안개:1)
 X₄ = 첫 번째 곡선 유형(좌로굽은:0, 우로굽은:1)

3.4. 모형의 검증결과

모형의 검증은 앞서 개발한 모형의 예측값과 실측값을 비교하여 모형의 적합성을 평가하였다. 모형의 검증방법으로 가장 널리 사용되는 Theil 부등계수, MPB, MAD를 이용하였다. Theil 부등계수값은 0~1사이의 값을 가지고 0에 가까울수록 실측치를 잘 설명하는 것으로 해석할 수 있고, MPB값은 예측값이 양(+) 혹은 음(-)으로 얼마정도 기울어져 예측되는지를 MAD는 는 모형의 예측값이 평균적으로 얼마나 차이가 있는지를 나타내 준다⁵⁾.

전반적인 모형의 검증결과 Theil의 부등계수값이 0.1~0.24사이 값으로 모형이 대체적으로 우수하고 특히 곡선+곡선부의 모형의 예측력이 더욱 우수한 것으로 나타났다. 그리고 MPB값은 모두 음(-)의 값으로 예측값이 실측치에 비해 다소 적은 값을 예측한다고 볼 수 있다.

Table 3. Model verification results

구분		검증값	
직선부 + 곡선부	곡선반경 355m이하	Theil	0.249
		MPB	-0.426
		MAD	0.434
	곡선반경 355m초과	Theil	0.243
		MPB	-0.305
		MAD	0.402
곡선부 + 곡선부	첫 번째 곡선반경 410m이하	Theil	0.191
		MPB	-0.166
		MAD	0.166
	첫 번째 곡선반경 410m초과	Theil	0.109
		MPB	-0.020
		MAD	0.099

4. 결론

본 연구에서는 사고 발생 가능성이 큰 선형조건(복합선형)에 대하여 아직 연구가 미비한 점과 기존연구에서는 복합곡선이 아닌 단일곡선을 중심으로 연구가 이루어져왔다는 것에 착안하여 복합선형곡선에 사고예측모형 개발하였다.

사고데이터는 2002~2006년의 5년간 88고속도로의 사고 이력자료를 통하여 CART분석을 이용한 유사한 집단별로 구분한 후, 선형 회귀분석과 포아송 회귀분석을 실시하여 각 유형별 사고예측모형을 도출하였다.

이렇게 도출되어진 사고예측모형은 실측치와 예측치 간의 차이를 검증하여 복합곡선의 유형별 적합성을 검증하여 각 유형별 최적의 사고예측모형 및 주요 요인을 제시하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같이 요약정리 할 수 있다.

첫째 직선부+곡선부의 모형개발 결과

데이터 마이닝을 통해 곡선반경 355m를 기준으로 2가지 자료로 분류되었고 직선길이, 곡선반경, 종단경사, 좌우굽은 곡선방향 등이 사고율에 주 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

둘째 곡선부+곡선부의 모형개발 결과

데이터 마이닝 결과 첫 번째 곡선반경 410m를 기준으로 2가지 자료로 분류되었고 비선형회귀모형으로 주 설명변수로는 첫 번째 곡선반경, 두 곡선반경차이의 비율, 첫 번째 곡선반경의 좌우굽은 방향 등으로 나타났다.

모형의 적합성 검증 결과 Theil 부등계수 값이 0에 가까운 0.1~0.24사이 값으로 나타나 적합성이 우수한 것으로 판단된다.

복합선형의 직선+곡선부와 곡선+곡선부의 설계시 본 연구의 연구결과를 활용한다면 보다 안전한 설계를 할 수 있을 것이라 기대한다.

그러나 88고속도로의 경우 당초 개통시에 설계속도가 낮고 일부 사고 위험이 높은 선형구간이 존재했으나, 현재는 4차로로 확장하면서 사고 위험이 당초의 상황보다 다소 낮아져 불량선형으로 인한 위험이 개선되고 있다.

향후연구로는 위의 두 가지 경우외의 여러 가지 복합곡선의 종류별로 지속적인 연구개발이 필요하다. 또한 기하구조요소에 운전자의 행태를 고려하는 연구가 이루어지는 것을 향후과제로 남긴다.

감사의 글 : 이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행한 연구임(NRF-2009-413-D00001).

참고문헌

- 1) 임강원, “우리나라 고속도로의 기하특성과 교통사고 발생률과의 상관관계에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제3권, 제1호, 1985.
- 2) 건설기술연구원, “교통사고와 도로의 기하구조 조건과의 관계”, 1990.
- 3) 강민욱 외, “고속도로 평면선형상 사고빈도분포 추정을 통한 음이향회귀모형 개발:기하구조요인을 중심으로”, 대한교통학회지, 2002.2.
- 4) 김성환, “도로선형관련 교통사고 특성 및 사고예측모형에 관한 연구”, 단국대학교, 2004.
- 5) 이수일, “안전측면의 도로선형 설계일관성 평가 기준 개발에 관한 연구”, 한양대학교 대학원 박사학위 논문, 2006.
- 6) Zegeer C.V. et al., “Safety Effect of Geometric Improvements on Horizontal Curve”, Transportation research record : journal of the transportation research board, No.1356, 1992.
- 7) Kenneth L.F. and A.K. Raymonds, “Tangent length and sight distance effects of accident rates at horizontal curves of rural two-lane highways”, The 74th annual meeting Transportation Research Board Washington D.C., January, 1995.