

도로 곡선부의 안전 등급화 모형에 관한 연구

A Study on the Model for Classification of Safety in the Curved Section of Road

김경석*

Kim, Gyeong-Seok

Abstract

This research proposes two sub-models and one integrated model for the classification of safety in curve section of road, where the fatal-rate is relatively higher in accidents. The first sub-model calculates the accident-rate by safety-index that is based on the road geometries. The second decides the safety of curve section by the speed difference between before and in the curve. Finally, the integrated model of two sub-modules can classify the safety of curve section of road.

Key word : Safety, Classification, Curve in the road, Speed, Accident

요 지

본 연구는 사망률이 높은 도로 곡선부를 대상으로 도로설계요소를 기반으로 안전도 판단지수를 설정하고 이로 부터 사고율을 산정하는 모듈과 곡선부와 곡선부 진입전 직선부에서의 속도차를 추정하는 모형을 개발하고 이로부터 곡선부의 안전도를 판단 하는 등 두 개의 모듈을 제시하고 있다. 그리고 이러한 두 개의 모듈을 통합한 통합모형을 통해 곡선부의 안전도를 등급화할 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다.

핵심용어 : 안전, 등급화, 도로곡선부, 속도, 사고

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

교통사고는 우리 사회가 겪고 있는 가장 대표적인 인적 재난이다. 실제 과거 10년간 (1994~2003) 인적재난으로 인한 사망자수가 95,684명으로 전체 사망자수의 85.94%가 도로교통사고에 의해 발생하였다.

우리나라의 교통사고율이 국제수준보다 훨씬 높다는 것은 이미 알려진 사실이고, 이들 사고를 줄이기 위한 노력이 각계 각층에서 다양하게 이루어지고 있다. 실제, 2006년 교통사고 통계를 살펴보면, 교통사고는 총 213,745건이 발생하였고, 이들 사고로 인하여 총 6,327명이 사망하고 340,229명이 부상을 당한 것으로 나타나고 있다. 이러한 교통사고의 심각성은 도로의 직선부보다 곡선부에서 더 심각하다. 즉, 사고건수에 있어서는 도로연장비율 차이로 인하여 직선부 교통사고가 전체사고의 90.2%를 차지하고 있으나, 사망률은 직선부가 0.025명/건, 곡선부가 0.078명/건으로 곡선부 사고의 사망률이 약 3배 정도 높게 나타나, 곡선부에서의 도로안전 대책 마련이 더 중요하게 부각되고 있다.

도로가 안전하고 쾌적하게 운용되기 위해서는 도로가 충분

히 안전하게 설계되고 건설되는 것이 무엇보다 필요하며, 특히, 도로가 설계기준에 맞도록 건설되었다 하더라도 주변상황이나, 여러 가지 기하구조간의 상관관계에 따라 도로의 안전도는 상이하게 나타날 것이다. 실제로 이러한 이유로 대상도로의 주행환경 및 교통상황을 고려하여 다양한 안전시설들이 설치되고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 특히 곡선부에서는 적절한 시선유도와 안전을 위한 시설들이 많이 설치되어 있다.

실제 경찰청 자료를 살펴보면, 국내 교통사고 대부분은 운전자 혹은 도로나 차량 등이 함께 사고의 원인으로 통계가 발표되고 있으며, 도로설계 및 도로환경으로 인한 사고비율은 2% 미만으로 극히 미비한 것으로 나타난다. 그러나 도로원인으로 인한 사고비율이 극히 미미하다고는 하나 이는 하나의 인재로 사전에 충분히 제거할 수 있는 요인이다. 즉, 도로의 안전도를 미리 판단하여 사전에 각종 조치를 취한다면, 교통사고 감소에 절대적인 기여를 할 것이다. 문제는 이미 운영 중인 도로나 향후 건설할 도로의 안전도를 어떻게 판단할 것인가 하는 것이다.

따라서, 본 연구에서는 앞서 제시한 바와 같이 사망률이 높은 곡선부를 대상으로 도로의 설계요소를 바탕으로 측정 가능한 사고율과 직선부와 곡선부에서의 속도차를 활용하여

*정회원 · 국립공주대학교 공과대학 건설환경공학부 부교수 (E-mail: gskim23@kongju.ac.kr)

해당 도로의 안전도를 평가할 수 있는 모델을 작성하고, 이들을 통합하여 하나의 모델을 제시함으로써 도로 곡선부의 안전도를 등급화하는 방법을 제시하는 것으로 목적으로 하고 있다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구의 대상은 도로선형이나 주변환경이 상대적으로 복잡한 지방부 국도를 주요 대상으로 하고 있으며, 특히 기능한 왕복2차로 도로의 곡선부를 세부대상으로 설정하였다.

본 연구의 구성은 첫째, 안전도 등급화와 관련된 선행연구를 살펴봄으로써 연구의 방향을 설정하고, 둘째 모형의 구성 논리 및 모형구성을 위한 조사로서 전국 사고자본 지점 중 조사대상 지점을 선정하여 설계요소, 교통사고 그리고 현장에서 속도의 변화에 대한 조사와 실험 결과를 제시하고 있다. 세 번째는 이들 자료를 기반으로 사고율과 각 설계요소간의 상관관계를 분석하여 제1서브모델로 사고기반 안전도 추정모형을 개발하였으며, 동시에 곡선부를 주행하는 차량의 직선부와 곡선부에서의 최대 속도차를 추정하여 제2서브모델인 속도기반 안전도 추정모형을 제시하고 있다. 네 번째는 이들 서브모델을 통합한 하나의 통합모형을 제시하는 것으로 연구가 구성되어 있다.

연구방법은 문헌조사를 통해 각종 사고자료를 분석하고, 실제 현장조사를 통해 속도조사를 시행함으로써 현실적인 모형이 개발되도록 노력하였다.

1.3 선행연구 검토

곡선부 혹은 직선부를 떠나 도로설계요소와 사고율과의 관계를 제시한 연구는 많이 찾아 볼 수 있으나, 이를 이용하여 도로의 안전도를 판단한 연구는 많지 않은 것으로 나타난다.

우선, 김정석 (1996)은 교통사고의 주요 원인으로 7가지의 설계요소를 선정하여 이들과 사고율과의 관계를 설정하고, 이를 기준으로 도로의 사고위험판단지수를 제시한 사례가 있다. 여기에서는 도로의 안전도를 3등급으로 구분하고 등급별로 사

고위험도 판단모형을 제시하여 설명력을 높이려는 시도가 있었다.

그 외의 연구들은 대부분 교통사고와 평면선형, 종단선형, 횡단면 등 도로기하구조의 상관관계 등을 분석하고 있다. 이들을 종합하면 직선부에서는 과속에 의한 사고가 많고, 곡선부에서 일어나는 사고는 곡선반경이 작은 경우에 특히 높게 나타나며, 평면시거 및 종단시거가 불량할수록 사고율이 증가한다. 또한 곡선부에서는 차량단독 도로이탈사고가 많이 발생하는 것으로 나타난다. 그 외 종단경사와 도로폭은 사고율과 뚜렷한 상관관계를 갖지는 않으나 일반적으로 종단경사와 도로폭이 클수록 사고율이 감소하는 것으로 분석하는 등 개별 도로기하구조와 교통사고와의 관계를 규명하고 있다 (김태완, 1996; 도로교통안전관리공단, 1995; 강정규, 1985; 한국건설기술연구원, 1989).

한편, 곡선부 주행 속도와 관련해서는 국내외적으로 곡선부를 주행하는 차량의 속도와 상관관계가 높은 변수는 곡선반경이며(최재성, 1998; 정준화, 2000; Mintsis, G., 1988), 차로폭과 갓길폭 또한 운행속도에 영향을 미치는 것으로 파악되었다(Lamm, R. 등, 1988a, 1999). 또한, 미국의 경우 곡선장이 운행속도에 영향을 미치는 것으로 분석된 반면에 편경사나 시거는 운행속도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

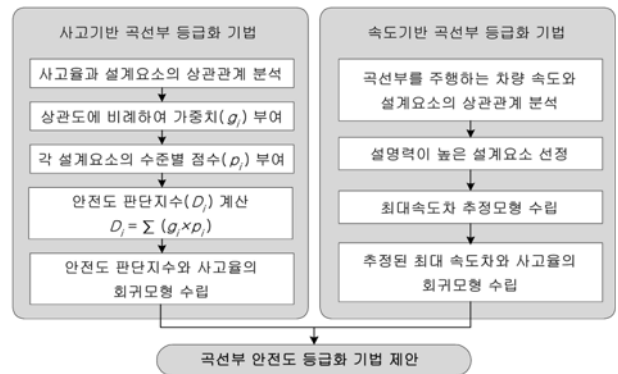


그림 1. 곡선부 안전도 등급화 모형 개발과정

표 1. 기하구조와 사고율간의 관계설정을 위한 기존 연구 결과

필자	주요 연구내용 및 결과
김태완(1996)	- 선형이 개량된 6, 8차로 구간은 선형이 개량되지 못한 4차로 구간에 비해 30~40%의 사고감소효과가 있음 - 곡선반경 1,000 m이하와 종단경사 3%이상인 지점부터 사고율 급증 - 관측점의 선정을 위한 구간의 분할방법과 사고관측기간은 회귀식의 설명력에 상당한 영향을 미치는데 대체적으로 관측구간의 연장을 크게하여 관측점의 수를 줄일 경우 또 관측기간이 길어질수록 모형의 결정계수는 높아지는 경향이 있음
도로교통 안전협회(1995)	- 사망율과 교통특성변수와의 상관분석 결과 km당 사망자와 속도와의 관계가 가장 높은 양의 상관관계를 보였으며, 그 밖에 차로수, 차로폭, 도로폭과도 높은 상관관계를 보임
강정규(1985)	- 교통량과 사고율간의 관계는 서비스 수준이 낮을수록 MVK당 사고율도 낮음. 통행량이 증가할수록 단독사고보다는 복합사고의 발생비율이 높음 - 곡선반경이 작을수록 단독사고의 비율이 점차 높아지고, 사고율의 증가폭이 크기 때문에 MVK당 사고관련 차량대수 증가 - 종단경사가 커질수록 사고율이 높게 나타나고(6%이상인 경우 안전성 취약), 6%이상의 급경사에 오르막차로를 설치할 경우 사고발생률을 현저하게 저감 가능
한국건설기술 연구원 (1989)	- 곡선반경이 교통사고율에 미치는 영향 : 반경이 300 m를 기점 - 종단경사의 교통사고에 미치는 영향은 불명확함 - 곡선반경과 사고율간의 상관관계는 급경사보다 평지부에서 더욱 강함 - 종단경사와 사고율간의 상관관계는 곡선반경의 대소에 관계없이 불명확 - 외국의 연구결과와 유사

이러한 기존연구와 차별성 확보를 위해 본 연구는 곡선부를 대상으로 하고 있는 점과 도로기하구조에서 도출한 사고율 기반의 안전도 뿐 아니라, 곡선부와 곡선부 진입전 직선부에서의 속도차를 기반으로 한 안전도를 평가하는 통합모델을 제시하는 데에 초점을 두고 있다.

2. 모형의 구성 및 구성요소 조사

2.1 모형의 구성

본 연구에서 제시하는 모형은 두 개의 서브모델과 이들을 통합한 통합모델로 구성된다. 두 개의 서브모델은 모두 도로의 기하구조를 기반으로 하고 있다. 도로의 기하구조에 따른 지점별 사고율과 지점별 최대 속도차가 모델을 구성하는 기본 요소들이다.

우선, 첫 번째 서브모델은 사고기반 곡선부 안전도 등급화 모델로서 도로의 기하구조와 교통사고율을 기준으로 안전도 판단지수를 도출하고 이를 다시 4개 등급으로 구분하여 도로의 안전도를 판단하는 것이다.

두 번째 서브모델은 속도기반 곡선부 안전도 등급화 기법으로 곡선부에 진입하기 전에 있는 직선구간에서의 최대속도와 곡선부에서의 최저속도간의 속도차(여기에서는 최대속도차)에 따라 4개 등급으로 구분하여 도로의 안전도를 판단하게 된다.

통합모델은 이들 두 개의 서브모델을 통합한 것으로 개별 지점마다 두 개의 모델에 의해 두 개의 등급을 부여받게 되는데, 이들 중 낮은 등급으로 최종 지점별 안전도 등급을 설정하게 된다.

2.2 모형의 구성을 위한 각종 자료 조사 및 현장 실험

모형을 작성하기 위해서는 다양한 자료의 수집이 기본이 된다. 대표적으로 앞서 제시한 바와 같이 각 지점별 사고율, 도로기하구조 및 주변 특성 그리고 최대속도차 등을 들 수 있다.

이들 자료의 수집을 위해서 먼저 전국 시도 및 도로별 사고 잦은 곳 현황을 이용하여 경기도, 충청도, 강원도, 전라북도의 2차로 일반국도 곡선부 중 사고 잦은 지점을 선정하였다. 그리고 해당지역의 국토유지관리사무소에서 보관하고 있는 준공도면, 또는 도로대장을 열람하여 각 지점의 설계요소 자료를 수집하고 도로교통안전관리공단에서 관리하고 있는 사고자료를 입수하여 지점별 개별 사고 자료를 확보하였다. 또한, 속도자료는 미국 NU-Metric사의 NC97 검지기를 현장에

설치하여 직접 실험을 통하여 수집하였으며, 이들 자료들을 통합하여 지점별 DB를 구축하였다.

그러나, 우리나라의 2차로 일반국도는 상당부분 도로대장이 구축되어 있지 않아 자료수집에 어려움이 있었으며, 경기도, 충청북도, 강원도 그리고 전라북도에서 48개 지점을 연구대상지점으로 선정하여 319건의 교통사고자료 등 데이터를 수집하였다. 한편, 도로에 일정 수준 이상의 경사가 있을 경우 차량의 주행에 또 다른 영향을 미칠 수 있다고 판단되어 종단경사가 5% 이상이거나 음주, 무면허 등 절대적인 운전자 요인에 의한 사고 21건 등 6개 지점은 분석에서 제외하였다. 또한 42개 지점¹⁾ 중 20%에 해당하는 9개 지점의 데이터는 개발된 모형의 검증에 이용하기 위한 “테스트 데이터 세트”로 구분하고, 나머지 33개 지점의 자료는 “분석용 데이터 세트”를 구성하여 모형을 개발하였다.

특히 서브모델 특히 곡선부 운행속도 추정모형에서 적용된 요소들에 대한 국내외 사례 조사 결과를 표 2에 정리하였으며, 그 결과 곡선반경, 희망속도, 종단경사 등이 가장 많이 적용되었다.

3. 서브모델의 구성

3.1 서브모델 1: 사고기반 곡선부 안전도 등급화 모델

3.1.1 사고율과 기하구조의 상관관계 분석 및 가중치 부여
다양한 도로의 구성요소들 중에서 곡선부의 안전과 관련이 깊을 것으로 예상되는 요소를 1차적으로 선정하여 검토한 결과, 요소간 중복성이 발견되어 최종적으로 차로폭, 갓길폭, 곡선반경, 종단경사, 곡선의 길이, 시거 등 6개 요소를 모델구성을 위한 지점별 도로설계요소로 선정하였다. 차로폭, 갓길폭, 곡선반경, 종단경사, 곡선길이는 도면에서 직접 수집이 가능하며, 시거는 ASSHTO (1994)에서 제시한 Scale Method를 이용하여 도면으로부터 측정하였다.

사고자료를 이용하여 각 지점의 사고율(건/백만대·km)을 계산하고, 사고율과 6개 설계요소의 상관분석을 수행하였다(참고 표 4). 그 결과, 시거와 곡선반경이 곡선부에서의 교통사고와 가장 관계 깊은 것으로 나타났으며, 길이깨폭과 차로폭, 종단구배도 약간의 상관관계를 보이나, 곡선길이는 상관관계가 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다.

또한 이들 각 상관계수가 전체 상관계수의 합에서 차지하는 비율을 고려하여 가중치(weight factor, g_i)를 계산하였다. 즉, 기하구조 요소와 사고율과의 상관분석 결과 드러난 상관계수 절대값과 전체 합에 대한 각 요소별 백분율(%)을 해당

표 2. 모형작성을 위한 서브모델 별 주요 조사 항목 및 구성요소

구분	사고기반 곡선부 안전도 등급화 모델	속도기반 곡선부 안전도 등급화 모델
조사 항목	- 대상도로 사고다발지점 조사 - 사고다발지점 기하요소 조사 - 사고다발지점 사고특성 조사 - 사고지표(사고율 등)와 도로설계 요소 간 상관관계 분석 - 도로여건에 따른 안전도 판단지수 개발	- 대상지점 도로설계요소 및 개별차량 주행속도 조사 - 산출된 최대 속도차와 도로설계요소간 상관관계 분석 - 도로여건에 따른 최대 속도차 추정모형 개발 - 최대 속도차와 사고지표와의 관계분석

¹⁾ 국도 38호선 14개소, 34호선 4개소, 37호선 6개소, 45호선 2개소, 6호선 2개소, 56호선 2개소, 1호선 2개소, 27호선 2개소, 30호선 6개소, 19호선 2개소 등

표 3. 각국의 곡선부 운행속도 추정모형 비교

국 가	한국	호주	프랑스	영국	독일	그리스	포르투갈	미국
주 연구자	한국건설 기술연구원	Mclean, J. R.	Gambard, J. M.	Mintsis, G	Lamm, R.	Kanellaidis, G	Cardoso, J. L.	Krammes, R. A.
개 발 년 도	2000	1981	1986	1988	다양	1990	1995	1995
설 명 변 수	곡선반경	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	차로폭	-	-	-	-	◎	○	-
	갓길폭	-	○	-	-	○	○	◎
	곡선장	-	-	-	○	○	-	-
	편경사	-	○	○	-	○	○	-
	종단경사	○	○	◎	-	○	○	-
	시 거	-	○	-	-	○	-	-
	AADT	-	-	-	-	-	-	-
	제한속도	-	-	-	-	○	-	-
	교 각	-	-	-	-	-	-	-
	설계속도	-	-	-	-	-	-	-
	희망속도	◎	◎	-	-	-	◎	◎
결정계수(R2)	0.83	다양	0.72	없음	다양	0.77	0.93	0.80

주: ◎ 주요 설명변수 ○ 설명력이 작은 변수 - 고려하지 않음

표 4. 설계요소와 사고율의 상관관계 및 설계요소별 가중치

지 점 명	차로폭	갓길폭	곡선반경	종단경사	곡선길이	시 거
상관계수	-0.18	-0.29	-0.35	0.17	0.02	-0.44
가중치	12.41	20.00	24.14	11.72	1.38	30.34

주) 사고기반 곡선부 등급화 모형 개발 과정에서 종단경사는 종단경사의 절대값을 의미함

표 5. 평가요소 수준별 점수

평가요소	설계수준	평균 사고율	점수 (pi)	평가요소	설계수준	평균 사고율	점수 (pi)
시 거	95 m 이상	3.67	1.0	차로폭	3.30 m 초과 3.30 m 이하	4.77 7.00	0.7 0.3
	75 m ~ 95 m	3.81	0.7				
	55 m ~ 75 m	3.84	0.5				
	55 m 미만	12.95	0.0				
곡선반경	400 m 이상	3.27	1.0	종단경사의 절대값	1% 이상 0%~1%	8.96 4.31	0.3 0.7
	250 m ~ 400 m	3.57	0.7				
	100 m ~ 250 m	4.03	0.5				
	100 m 미만	9.32	0.0				
갓길폭	1.35 m 초과	3.82	1.0	곡선길이	200 m 이상 200 m 미만	4.35 5.11	0.6 0.3
	1.00 m ~ 1.35 m	3.96	0.7				
	1.00 m 이하	11.43	0.0				

기하요소의 가중치로 정하였다.

3.1.2 기하구조요소 수준별 점수 산정

각 기하구조 요소와 사고율의 산포도를 이용하여 표 5와 같이 설계수준별 점수(pi)를 부여하였다. 설계수준별로 사고가 많이 발생하는 범위에는 낮은 점수를, 사고 발생이 적은 범위에는 높은 점수를 부여하였다. 가장 상관도가 높은 시거와 곡선반경은 4등급으로, 갓길폭은 3등급으로 나누어 점수를 부여하였고, 사고율과 큰 상관관계가 없는 차로폭, 종단경사, 곡선길이는 간격을 세분할 이유가 없으므로, 사고율의 차이가 나타나는 값을 기준으로 이분하였다.

3.1.3 안전도 판단지수 계산

도로기하구조 실태를 통해 안전도를 판단하는 단일지수는 (식 1)과 같이 설계요소별 가중치(gi)와 설계수준별 점수(pi)의 곱에 의해 결정되는 지수형태(Di: 안전도 판단지수)로 제시되며, 이들 안전도 지수는 표 6 처럼 4개 등급으로 구분된다.

$$D_i = \sum(g_i \times p_i) \tag{식 1}$$

이러한 방법으로 각 지점에 대한 안전도 판단지수를 계산하고 사고율과의 관계를 분석하기 위해 선형, 지수, 로그 등 여러 형태의 방정식을 적용해 보았다. 그중 가장 설명력이 뛰어난 로그형 방정식(식 2)으로 회귀모형을 수립하였다. (상수 t = 6.064, p < 0.01, 독립변수 t = 3.644, p < 0.01)

$$y = -5.9104\ln(x) + 28.285, R^2 = 0.422 \quad (\text{식 } 2)$$

여기에서 y : 사고율(MVK)

x : 안전도 판단지수(D_i)

R^2 : 결정계수

이러한 결과의 통계적 유의성을 검토하기 위해 각 지점의 회귀식에 대한 오차를 계산하여 오차의 분포를 표준화하였다. 그 결과, 파회커브1과 송계화단 등 두 지점의 편차가 90% 유의수준을 벗어나 통계적 의미에서의 이상 지점으로 간주하였으며(참고 그림 2.), 이 지점을 제외하고 재작성한 회귀모형은 (식 3)과 같으며, 결정계수가 0.477로 다소 향상된 결과를 보였다. 결정계수(R^2)가 0.477라는 것은 계산된 안전도로 사고율의 47.7%를 설명할 수 있다는 의미이다. (상수 $t=6.451$, $p < 0.01$, 독립변수 $t=3.447$, $p < 0.01$)

$$y = -4.6139\ln(x) + 22.955, R^2 = 0.477 \quad (\text{식 } 3)$$

3.1.4 곡선부 안전도 등급화 모형의 작성 및 검증

이상의 연구결과를 바탕으로 표 6과 같이 뚜렷한 사고율의 단계가 설정되는 점을 기준으로 곡선부의 안전도를 4개 등급을 결정하였다. 결과적으로 안전도 판단지수 40, 60, 90을 기준으로 단계가 구분되며, 사고율은 2, 4, 6건/백만대·km가 등급구분의 기준이 된다.

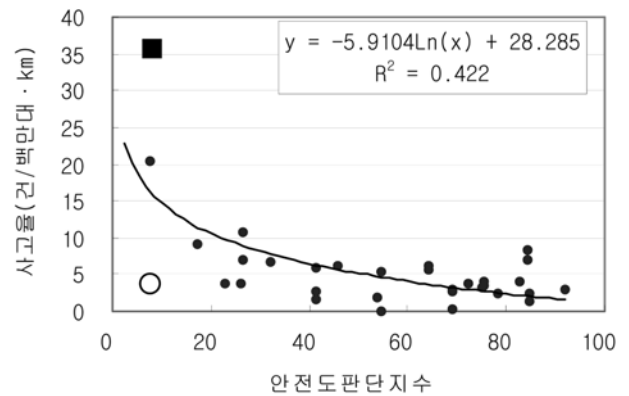
본 모형의 검증결과, 9개의 테스트 데이터 중 A등급에 포함되는 데이터는 없었으며, 오차가 90% 신뢰구간을 벗어나는 두 개 지점을 제외하면 대체로 모형과 일치하는 결과를 보인다. B등급의 경우와 모형에서 추정된 사고율의 범위를 벗어나는데, 이것은 데이터의 수가 적은 데 기인한 것으로 사료된다.

그림 3은 안전도와 사고율을 두 축으로 하는 공간에 안전도 등급의 영역을 표시하고 모형개발에 쓰인 데이터와 테스트 데이터를 플로팅한 결과로서, 모형개발에 쓰인 33개의 데이터 중 각 등급에 따라 회귀식을 이용하여 계산한 추정 사고율의 범위를 벗어나는 데이터는 절반 가까이 이른다. 그러나, 표준편차(1s, 신뢰구간 68.26%) 만큼의 범위를 확장하면 91%(30개)가 범위 안에 포함되며, 9개의 테스트 데이터 중 77.8%(7개)의 데이터가 확장된 추정사고율의 범위에 포함된다.

3.2 서브모델 2: 속도기반 곡선부 안전도 등급화 모델

3.2.1 최대 속도차 추정모형 개발

모형의 개발을 위해 차량의 곡선부 주행속도에 영향을 미칠 것으로 예상되는 11개의 설명변수들²⁾을 1차로 선정하여 산포도를 이용한 상관분석을 수행하였고, 여기서 속도와의 상



지점 : ■ 파회커브1 ○ 송계화단

그림 2. 안전도 판단지수와 사고율의 관계

표 6. 사고기반 곡선부 안전도 등급

사고기반 안전도 등급	안전도 판단지수(D_i)	추정 사고율 (A_r) ¹⁾	테스트 데이터 평균 사고율
A (매우양호)	$90 < D_i$	$A_r < 2$	-
B (양호)	$60 < D_i \leq 90$	$2 \leq A_r < 4$	0.43
C (보통)	$40 < D_i \leq 60$	$4 \leq A_r < 6$	4.84
D (열악)	$D_i \leq 40$	$6 \leq A_r < \dots$	7.23

주¹⁾ 단위 : 건/백만대km

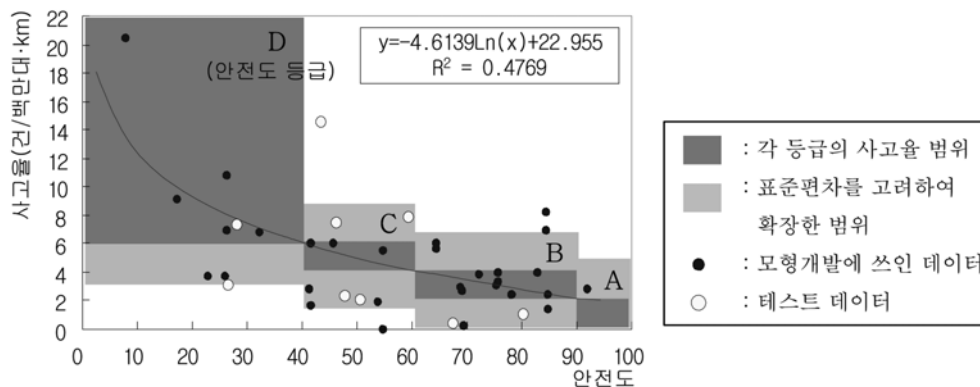


그림 3. 본 연구를 통해 제안된 안전도 등급의 영역과 데이터의 분포

표 7. 최대 속도차 추정을 위한 5가지 후보모형의 비교

적용변수	모형 형태	추정 매개변수				결정계수 (R ²)	매개변수의 유의성 (통계량 기준)
		α	β	γ	δ		
곡선반경	$\alpha \times \frac{\beta}{R}$	11.64	1407.28	-	-	0.648	유의함
교각	$\alpha + (\beta \times I)$	10.40	0.26	-	-	0.643	유의함
시거	$\alpha + (\beta \cdot MSSD)$	23.12	-0.03	-	-	0.290	유의함
곡선반경 시거	$\alpha + \frac{\beta}{R} + (\gamma \cdot MSSD)$	11.60	1409.94	0.0001	-	0.613	시거변수는 유의하지 않음
곡선반경 시거, 교각	$\alpha + \frac{\beta}{R} + (\gamma \cdot MSSD) + (\delta \cdot I)$	8.60	876.96	0.0066	0.154	0.686	시거변수는 유의하지 않음

- 주) 1. R : 곡선반경(m) ; I : 교각(°) ; MSSD : 최소정지시거(m)
 2. 모형과 매개변수의 유의성은 모두 95% 유의수준으로 분석한 결과이다.
 3. 중회귀 모형의 경우 조정된 결정계수(Adj - R²)를 제시하였다.

관성이 높은 것으로 나타난 곡선반경, 시거, 교각을 회귀모형의 설명변수로 선정하여 5가지 형태의 후보 모형을 수립하였다. 이 모형들의 성능을 비교한 결과, 3가지 변수를 모두 고려한 중회귀 모형의 경우 통계적 유의성을 확보하지 못하고 다소 불합리한 결과를 보였고, 시거를 단일변수로 이용할 경우 설명력이 낮았다. 이러한 이유로 곡선반경을 단일 변수로 적용한 모델이 가장 합리적인 것으로 나타났다.

3.2.2 속도기반 곡선부 등급화 모형

각 지점의 최대 속도차와 실제 사고율의 관계를 분석하기 위해 이들 사이의 회귀모형을 수립하였다. 이 과정에서 개별 자료마다 표준화 잔차(Standardized Residual)와 영향도(leverage)를 산출하여 이들이 회귀계수에 미치는 영향력을 살펴 보았으며, 2개 지점에서 수집한 자료가 통계적 의미에서 이상적인 것으로 파악되어 분석에서 제외하였다. 이상점을 제거한 자료를 바탕으로 수립한 최대 속도차 추정모형은 (식 4)와 같다.

$$Max\Delta V = 11.64 + \frac{1407.3}{R}, \quad R^2 = 0.648 \quad (\text{식 4})$$

여기에서, MaxΔV : 최대 속도차
 R : 곡선반경

한편 이러한 최대속도차와 교통사고율과의 관계를 규명한 본 모형의 설명력은 40%를 약간 넘는데 이는 최대 속도차만을 단일변수로 한 모형임을 감안하면 매우 높은 값이 도출된 것이라 말할 수 있다. 다시 말해, 해당 곡선부에서 발생하는 전체사고의 약 40% 이상을 최대 속도차 기준으로 설명할 수 있다. 여기에서 도출된 속도차와 사고율 (ACR)간의 회귀식은 그림 4와 같다.

4. 곡선부 안전도 등급화 통합모델

4.1 통합모델의 작성 : 곡선부 안전도 등급화 모델

위에서 설명한 사고 및 속도기반 곡선부 등급화 기법을 통해 표 8과 같이 곡선부 등급화 모형을 제안하였다. 추정사고율은 그림 3과 그림 4에 나타난 회귀모형으로 계산이 가능하다. 두 가지 서브모델을 통해 안전도 등급을 결정할 후, 두 가지 중 낮은 등급을 해당지점의 최종 안전도 등급으로 결정한다.

4.2 모형의 검증

모형을 검증하기 위해 모형개발과정에 이용되지 않은 9개 지점의 데이터를 이용하여 안전도 등급을 계산해 본 결과, 9

표 8. 곡선부 안전도 등급화 모형

안전도 등급	추정 사고율 (A _r)	안전도 판단지수 (D _i)	최대 속도차 (MaxΔV, km/h)
A(매우양호)	A _r < 2	90 < D _i	MaxΔV ≤ 15
B(양호)	2 ≤ A _r < 4	60 ≤ D _i < 90	15 < MaxΔV ≤ 20
C(보통)	4 ≤ A _r < 6	40 ≤ D _i < 60	20 < MaxΔV ≤ 25
D(열악)	6 ≤ A _r < .	D _i < 40	25 < MaxΔV .

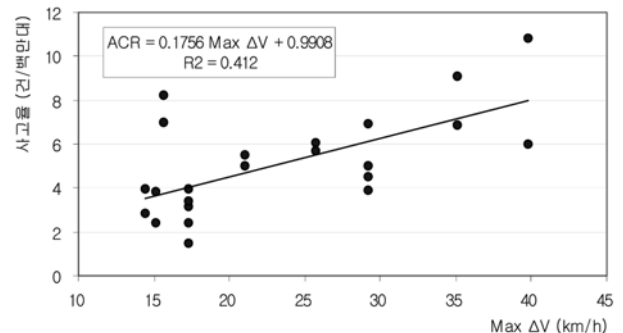


그림 4. 최대 속도차와 사고율의 관계

2) 곡선반경, 평면곡선의 연장, 교각, 종단경사, 곡선부내 최소시거, 차로폭, 갓길폭, 상류부 곡선까지의 거리, 하류부 곡선까지의 거리, 상류부 곡선의 곡선반경, 하류부 곡선의 곡선반경

개 지점 중 2개 지점은 B등급, 4개 지점은 C등급, 3개 지점은 D등급으로 평가되었다. B등급 두 지점의 사고율은 평균 0.43, C등급 네 지점의 사고율은 평균 4.84, D등급 세 지점의 사고율은 평균 8.22로 나타나, C, D등급에서는 추정 추정사고율의 범위와 일치하였다. B등급 두 지점은 추정사고율보다 낮은 사고율을 보였는데, 이는 검증 데이터의 수가 적은 데서 기인한 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구를 통하여 도로 곡선부의 설계단계 혹은 운영 중인 도로의 개선과정에서 안전도를 예측할 수 있는 곡선부 안전도 등급화 모형을 제시하였다. 안전도 판단지수와 사고율, 최대 속도차와 사고율의 회귀모형의 결정계수(R^2)은 각각 0.477, 0.412의 값을 갖는데, 이는 동 분야의 기존 연구 결과에 비해 비교적 높은 값이다. 또한 모형 개발과정에서 사용되지 않은 검증데이터를 이용해 모형을 검증한 결과, 회귀 모형에 의해 계산된 추정사고율과 실제 사고율의 범위가 상당부분 일치하는 것으로 나타났다. 그 외, 사고기반 등급화 기법의 경우 검증 데이터 추정 사고율의 오차분포를 살펴본 결과, 78%가 90% 신뢰구간에 포함되는 등 통계적으로 유의한 결과가 도출되었다.

본 연구의 결과는 도로의 설계단계에서 구조적으로 사고의 위험을 내포하고 있는 도로를 판별하는데 이용할 수 있으며, 도로 개선사업의 우선순위를 결정하는 과정에서도 활용이 가능하다. 특히 도로 곡선부에서는 이러한 등급화에 따른 적절한 안전시설의 설치를 통해 재원낭비 방지, 교통사고 예방을 통한 인적 재난 감소, 이용자 편의 등을 달성할 수 있다.

한편, 사고 및 기하구조에 관한 자료수집이 어려워 분석 대상지점 수가 충분하지 못하여 회귀모형의 설명력이 다소

떨어지는 것이 본 연구의 한계라 할 수 있으며, 향후 자료를 추가하여 모델에 대한 개선의 여지가 남아있다고 할 수 있다.

참고문헌

- 강정규 (1985) **고속도로 기하구조가 교통사고발생에 미치는 영향 연구**, 석사학위논문, 서울대학교.
- 건설교통부 **도로교통량 통계연보**.
- 국토연구원 (2005) **국가기간교통망의 유고 대응전략 연구**.
- 김경석, 진광성 (1996) **도로기하구조와 안전성의 상호관계분석 연구**. 연구보고서, 국토연구원.
- 김태완 (1996) **도로의 기하요소가 교통사고에 미치는 영향**. 석사학위논문, 서울대학교.
- 도로교통(안전관리)공단 (1995) **사망사고에서의 도로환경 요인분석에 관한 연구**.
- 도로교통(안전관리)공단 **전국 시도 및 도로별 사고찾은 곳 현황**.
- 도로교통공단 (2007) **2006년 교통사고통계**.
- 소방방재청 홈페이지 <http://www.nema.go.kr/>.
- 정준화, 유수현, 윤여환 (2000) **곡선부에서 주행하는 차량의 행태 분석**. **대한토목학회논문집**. 대한토목학회, 제20권, 제1-D호.
- 최재성 (1998) **도로선형에 대한 설계일관성 평가모형의 개발**. **대한교통학회논문집**, 대한교통학회, 제16권, 제4호.
- 한국건설기술연구원 (1989) **교통사고와 도로의 기하구조조건과의 관계**.
- Lamm, R., B. Psarianos, and T. Mailaender (1999) *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*. McGraw Hill.
- Lamm, R., E. M. Choueiri, J. C. Hayward, and A. Paluri (1988) *Possible Design Procedure to Promote Design Consistency in Highway Geometric Design on Two Lane Rural Roads*, TRR 1195.
- Mintsis, G. (1988) *Speed distributions on road curves*, *Traffic Engineering and Control*.

© 논문접수일 : 08년 07월 02일
 © 심사의뢰일 : 08년 07월 03일
 © 심사완료일 : 08년 07월 11일