

# 설계 일관성에 기반한 통합

## 도로안전성 평가 방법에 관한 연구

research for the method of integrated road safety evaluation based on design consistency

김 철 기

(명지대학교 교통공학과 석사과정)

김 용 석

(한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원)

손 영 태

(명지대학교 교통공학과 교수)

조 원 범

(한국건설기술연구원 도로연구부 연구원)

### 목 차

#### I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

2. 연구 내용 및 방법

#### II. 이론적 고찰

1. 주행속도(V85)를 이용한 방법

2. 개별차량의 속도차를 활용한 방법

3. 검토 결과

#### III. 도로안전성 평가 방법 개발

1. 평면곡선부 주행속도 예측모형 개발

2. 주행속도 차이에 의한 도로안전성 평가방법

3. 개별차량의 속도차이에 의한 도로안전성 평가방법

#### IV. 결론

참고문헌

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

현재 도로는 기하구조의 개별적 구성요소(평면 선형, 종단 선형, 횡단면)에 대해 각 요소별 충족시켜야 하는 최소설계기준이 존재하며, 이를 바탕으로 설계자들은 각 요소에 부합되도록 도로를 건설하고 있다.

모든 요소별 설계 기준을 만족시킨 도로는 안전해야 하지만 도로 주행시 운전자가 느끼기에 안전하지 않은 구간들이 존재한다.

이는 도로의 환경(도로 및 교통류 특성 등)을 종합적으로 고려하지 않고 도로를 세부 구간별로 개별적인 요소에 대한 최저 기준만을 고려하여 설계하였기 때문에 발생하는 문제로 도로를 전체구간에 대해 종합적으로 판단하기 위해, 도로 평면, 종단 조건 등을 통합한 도로안전성 평가 방법이 필요하며, 설계 조건들이 전체 구간에 대해 일관성을 최대한 유지할 수 있는 방안을 모색하는 것이 중요하다.

도로 안전을 확보하기 위해서는 전통적인 패러다임에서 명시적으로 고려하지 못한 수요자(사람, 차량, 교통류)의 특성을 실제적으로 반영하는 방향으로 설계기준과 기술 대안을 정해야 하며, 또한 운전 환경에서 시각적 왜곡이나 단절 없이 차량의 주행 역학적 특성에 부응하면서 안정적인 주행을 보장하는 것이 필요하다.<sup>1)</sup> 따라서 본 연구에서는 도로 평면, 종단 조건 등을 통합하여 도로안전성을 평가하는 방법을 제시하는 것을 목적으로 한다.

본 연구 결과를 설계 및 운영 중인 도로의 안전성을 평가하는 데 활용한다면, 안전 개선 사업에서 사업간 우선순위의 산정에도 객관적 평가척도로 활용될 수 있으며, 또한 현재 연구 수행 중인 도로안전진단 사업에도 반영이 가능하고, 장기적으로는 운전자, 자동차, 도로의 특성이 충분히 반영된 도로 설계기준의 작성에 기여할 것으로 예상된다.

### 2. 연구의 내용 및 방법

1) 건설기술연구원(2003), 도로선형 및 노면 안전성 분석모형 개발(1차년도), pp1

본 연구는 설계 일관성에 기반한 통합 도로 안전성 평가 방법을 개발하기 위해 국내·외 도로 설계 일관성/도로 안전성 평가기준 관련 문헌을 수집하고 최근 연구 동향을 조사하였다.

관련 분야의 국내 전문가 자문을 토대로 도로 설계 일관성/도로 안전성 평가기준 개발에 대한 방향을 수립하였고 이러한 과정들을 통해 선진이론 고찰, 기존 연구방법의 개선방안을 모색하였다.

검토된 이론적 배경을 바탕으로 현장에서 수집된 자료의 신뢰도를 향상시키기 위해 속도 데이터의 이상치를 제거하는 방법으로 필터링을 수행하였으며, 필터링된 자료를 대상으로 회귀분석을 실행하여 주행속도 예측 모형을 구축하였다.

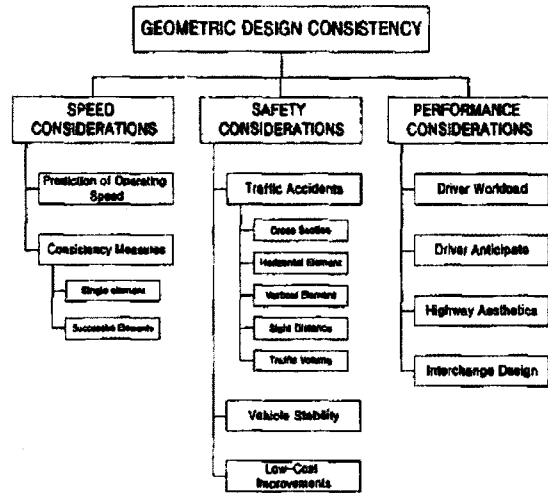
모형식 구축을 위해 통계 패키지 프로그램인 SPSS 12.0 을 사용하여 회귀분석을 실행하였으며, 종속변수로는 평면 곡선부 1/2 지점의 V85 속도를 사용하였고 독립변수로는 곡선구간 주행속도에 영향을 줄 수 있는 모든 변수(진입속도 ; 곡선부 시작 100m 전 지점의 V85 속도, 평면곡선반경 R, 곡선길이, 편경사, 종단경사 등)를 고려하였다.

또한 주행속도 예측 모형식의 신뢰성을 높이기 위하여 평면곡선-종단경사 구간의 구분을 오르막, 내리막, 평면곡선-오목종단곡선 구간(sag)과 평면곡선-볼록 종단곡선 구간(crest) 등 다양한 기하구조를 반영하여 기존 문헌에서 제시한 주행속도 예측 모형식을 개선하였다.

개선된 평면 곡선부의 주행속도 예측 모형식을 이용하여 주행속도 차이에 의한 안전성 분석 방법을 제시하였고 또한 개별 차량의 속도 차이를 예측하는 모형식을 개발하여 이를 이용하여 도로의 안전성을 평가하는 방법을 제안하였다.

## II. 이론적 고찰

설계 일관성을 평가하는 방법으로는 다음의 <그림 1>과 같으며, 이는 Easa 등(1999)에서 발췌한 것이다. Easa는 설계 일관성을 평가하는 방법을 크게 속도특성에 의한 방법, 안전특성에 의한 방법, 운전 특성에 의한 방법 등 3가지로 구분하였다.



<그림 1> 설계 일관성을 평가하는 방법

본 연구에서는 <그림 1>에서 제시한 방법 중 속도를 기반으로 하는 방안을 기반으로 국내에서 활용 가능한 도로 안전성 평가 방법을 제시하였다.

### 1. 주행속도를 이용하는 방법

정준화(2000)는 ‘속도에 따른 평면 곡선부 설치 방안 연구’에서 왕복 4차로 도로 중 종단경사가 3%미만인 4개 지점을 대상으로 종속변수를 80~90 백분위 평균속도를 사용하여 설계 일관성에 대해 연구하였다. 이때 사용한 독립변수는 곡선반경이며, R, 1/R, 지수함수형, 2차함수형으로 여러 가지 형식을 활용하였고, 모형식 구축결과 1/R 형태의 변수를 사용한 모형의 결정계수 값이 가장 높게 나타났다.

이종필, 김성호(2002)의 ‘주행속도 예측을 위한 모형개발’에서는 2차로도로를 대상으로 평면 곡선부 V85를 추정하는 모형을 개발하였으며, 특히 도로의 설계일관성 평가를 위해 지방부 2차로 도로의 평면 곡선부 85백분위 주행속도 예측모형을 기존의 회귀모형에 비해 보다 효율적이고 신뢰성 높은 인공신경망 이론을 적용하여 개발하였다. 이때 곡선반경, 곡선길이, 교차각, 시거, 차로폭, 차선(안쪽, 바깥쪽)과 같은 기하구조 특성에 의해 속도가 결정된다는 가정에 30개 조사지점을 통해 얻어진 자료를 모형의 입력층 자료로 이용하였고, 입력층 변수에 따라 네 가지 유형의 신경망 모형을 제시하였다. 신경망 모형 중 다층신경망 모형을 적용하

여 은닉층의 유니트 수, 학습계수, 모멘텀계수, 학습횟수의 변화에 따른 최적 모형 구조를 도출하였으며, 신경망 모형의 학습성능을 검증하기 위하여 선정된 30개 조사지점에서 20개 지점을 모형의 학습자료로 나머지 학습되지 않은 10개 지점을 예측자료로 활용하였다.

원제무(2007) '안전측면의 도로선형 설계일관성 평가기준 개발에 관한 연구'에서는 기존의 도로선형의 설계일관성 평가 방법인 단독차량에 대한 주행속도의 변화 대신 차량군에 대한 차량거리의 변화를 고려하였다. 자료는 국도 37호선에서 수집하였고, 이상치를 제거하기 위한 방법으로 MAD(중위 절대편차)를 이용하였다. Headway가 6초 미만인 차량군 집단의 자료 사용하였으며, 종속변수는 차량거리의 평균거리(SM)를 사용하여 직선구간과 곡선구간의 속도 예측 모형식 개발하였다. 직선구간에서는 종단경사, 차로폭, 길어깨폭 등의 기하구조요소들과는 상관성이 없었고, 직선길이와는 상관성이 높게 나타났으며, 곡선구간에서는 종단경사, 곡선반경, 곡선장, 곡선 굽은 방향, 차로폭, 길어깨폭, 편구배등을 고려하였지만 곡선반경에 대해서만 상관성이 높게 나타났다.

이 연구에서는 설계수준을 good, fair, poor 3가지로 구분하고, 다음의 평가기준 <표 1>을 제시하였다.

<표 1> 원제무(2007) 연구에서 활용한 차량거리 변화에 따른 도로 설계수준

설계수준	평가기준
good	$\Delta SM \leq 4m$
fair	$4m < \Delta SM \leq 12m$
poor	$12m < \Delta SM$

국외 문헌으로 주행속도 예측모형을 활용하여 도로 설계일관성에 접목시킨 학자로는 Krammes 등(1994), Lamm, Guenther와 Choueiri(1995), Tarris, Poe, Mason과 Goulias(1996), Gutierrez(1997) 등이 있다.

Krammes 등(1994) 연구에서는 1993년 미국 5개 주에서 138개의 표본을 조사하여 '1/R' 형태를 이용한 모형식과 평면곡선길이를 교각까지도 포함한 모형을 각각 <식 1>, <식 2>와 같이 제시하였다.

$$V_{85} = 103.66 - \frac{3405}{R} (R^2 = 0.84) \quad <식 1>$$

$$V_{85} = 102.45 - \frac{2741}{R} + 0.0037L - 0.10\theta \quad <식 2>$$

여기서, R : 평면곡선반경(m)

L : 평면곡선길이(m)

$\theta$  : 교각 (°)

이에 발전하여 Lamm, Guenther와 Choueiri(1995)의 연구에서는 1986년 미국 뉴욕에서 261개의 표본을 조사하여 주행속도에 영향을 미치는 변수 중 곡률을 고려한 속도예측모형을 제시하였다. 국내 도로설계가 곡률보다는 평면곡선반경을 중심으로 전개되는 점을 감안하여 국외의 곡률 모형식을 <식 3>과 같이 평면곡선반경의 역수 형태로 수정하였다.

$$V_{85} = 93.87 - \frac{3171}{R} (R^2 = 0.787) \quad <식 3>$$

여기서, R : 평면곡선반경(m)

$R^2$  : 결정계수

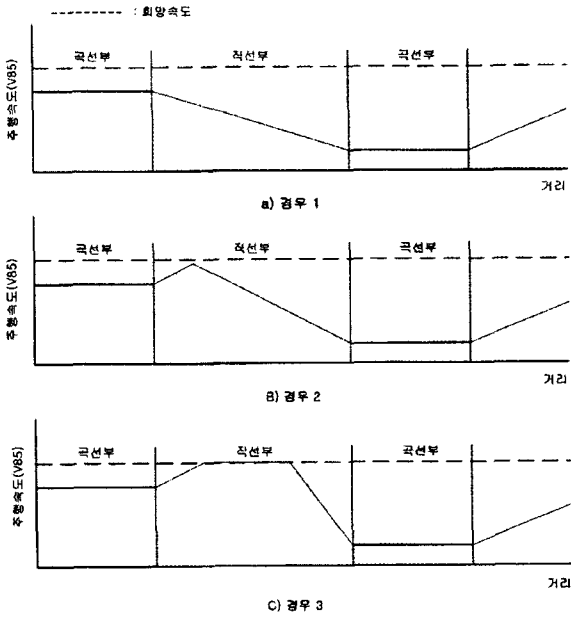
Tarris, Poe, Mason과 Goulias(1996)의 연구에서는 속도 예측모형 개발을 위한 일련의 연구들의 수행 범위에 대해 다음과 같이 요약하였다.

<표 2> Tarris, Poe, Mason과 Goulias(1996)의 연구 수행 범위

구분	기본전제
1	주행속도는 차로, 도로면, 교통 및 환경 요인에 의해 영향을 받는다.
2	주행속도에 대한 예측모형 연구는 지방부를 중심으로 수행한다.
3	주행속도 예측모형들은 V85 통계량에 기초하여 수행하며, 평지조건 (종단경사 5% 미만)에 한정하여 연구를 한다.
4	주행속도 예측모형들은 개별운전자나 차량 영향을 설명하기 어렵다.

Lamm 등 (1999)에 의해 제안된 도로 선형 안전성 평가기준을 도로안전 개선사업 등의 실무에 활용하기 위해서는 도로선형 변화에 따른 운전자의 주행속도를 신뢰성 있게 예측할 수 있는 모형개발을 해야 한다고 제안하였다. 이는 주행속도 예측에 신뢰성이 결여되면 평가에 부정적인 영향을 미치게 되고, 결과적으로 도로안전 개선사업의 수행에 있어 비효율이 발생되기

때문이다. 도로 설계 일관성 평가 기준 가운데, 이를 실무에 활용하기 위해서 다음의 <그림 2>와 같은 '주행속도 프로파일' 작성이 필요하다.



<그림 2> 주행속도 프로파일

직선부와 평면곡선부가 연결되는 선형 조건에서 직선의 길이에 따른 주행 속도 변화는 위에 제시한 <그림 2>의 세 가지 경우 중 하나로 나타날 수 있으며, 이러한 경우의 주행속도 프로파일 각각은 다음과 같이 설명될 수 있다.

<표 3> 주행속도 프로파일 구분

구분	평가기준
경우 1	직선길이가 임계 직선길이 보다 짧은 경우
경우 2	직선길이가 임계 직선길이와 같은 경우
경우 3	직선길이가 임계 직선길이보다 긴 경우

여기서, 임계직선길이는 상류부 평면곡선반경에 적합한 주행속도로 달리던 차량이 상류부 평면곡선 종점에서 가속을 시작하여 직선부에서 희망속도에 도달한 후 다시 하류부 평면곡선의 시점까지 가속하여 하류부 평면곡선반경에 적합한 주행속도로 진입하는 데 필요한 최소직선길이를 의미한다. 주행속도 프로파일 모형은 운전자가 도로를 주행하면서 나타내는 주행속도 변화를 나타낸 것으로, 이를 통해 <표 4>의 평가기준 적용이 가능하게 된다.

<표 4> 도로 선형 안전성 평가기준

구분	주행속도 일관성 (operation speed consistency)
우수	$ CCR_{s_i} - \overline{CCR}_s  \leq 180 \text{ gon/km}$ $ V85_i - v85_{i+1}  \leq 10 \text{ km/h}$
양호	$180 \text{ gon/km} <  CCR_{s_i} - \overline{CCR}_s  \leq 360 \text{ gon/km}$ $10 \text{ km/h} <  V85_i - V85_{i+1}  \leq 20 \text{ km/h}$
불량	$ CCR_{s_i} - \overline{CCR}_s  > 360 \text{ gon/km}$ $ V85_i - V85_{i+1}  > 20 \text{ km/h}$

## 2. 개별 차량의 속도를 활용한 방법

박영진(2002)의 '개별차량의 운전행태를 이용한 위험도로 평가기법 개발'에서는 모형수립을 위한 자료의 구축에 있어 직선부의 V85를 도출하기 위해 사용된 속도자료들과 평면곡선부의 V85를 도출하기 위해 사용된 속도자료들을 일치시켜 사용하였고, 선형 안전성 평가기준으로 최대 속도 차 추정모형과 차로 내 횡방향 위치편차 추정모형, 횡방향 미끄럼 마찰계수 차 추정모형의 세 가지를 사용하였다.

<표 5> 박영진(2002) 연구에서 사용된 선형 안전성 평가기준 모형

평가기준	내용
최대 속도차 추정모형	곡선부에 진입 후 직선부 속도에 비해 속도가 감소한 차량들을 대상으로 산정한 최대 속도차를 산정하여 모형 수립
속도차 추정모형	직선부 최대 속도와 평면곡선부 최소속도를 토대로 선형 안전성을 평가하였고, 횡방향 위치편차 추정모형은 개별차량이 평면곡선부를 주행할 때 나타나는 횡방향 위치편차와 최소 운행궤적 반경을 추정하여 모형을 수립
횡방향 미끄럼 마찰계수 차)	횡방향 미끄럼 마찰계수 차 추정은 선형요소들과 횡방향 미끄럼 마찰계수 차의 회귀분석을 토대로 수립

2) 횡방향 미끄럼 마찰계수관 설계에 가정된 미끄럼마찰계수와 V85를 토대로 산출한 미끄럼 마찰계수를 말한다.

도로 선형 및 노면 안전성 분석 모형 개발 (RAFAM-RoS 1차년도)에서는 평면곡선반경이 200m인 지방부 2차로 도로를 공간적 범위로 하고, 차량간의 간섭이 주행속도에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 비첨두 시간대를 시간적 범위로 하여 속도 자료를 수집한 후 개별 운전자의 직선부와 평면곡선부 주행속도 변화를 정리하였다.

직선부의 주행속도는 직선부 구간 내 최고속도를, 평면곡선부의 주행속도는 최저속도를 각각 이용하여 70km/h 이하로 주행하는 운전자 그룹을 "그룹 A", 직선부의 주행속도가 80km/h를 초과하는 운전자 그룹을 "그룹 B"로 정의하여 직선부의 주행속도와 평면곡선부 주행속도와의 상관성을 분석·제시하였다. 그 결과 직선부에서 설계속도보다 20km/h보다 높게 주행한 운전자 그룹의 55.2%가 평면곡선부에서 20km/h 이상 감속한 반면, 직선부 주행속도가 상대적으로 낮은 그룹에서는 직선부와 평면곡선부의 주행속도 차이가 크게 변화되지 않은 것으로 나타났다.

### 3. 검토 결과

기존에서 많이 연구된 주행속도 프로파일을 이용하여 안전도를 판단하는 방법과 비집계적 방법인 개별차량의 주행속도 차이를 이용하여 도로의 안전성을 판단하는 방법을 제안하였다.

## III. 도로안전성 평가 방법 개발

### 1. 평면곡선부 주행속도 예측모형 개발

평면 곡선부에서의 속도 예측모형은 기존 연구에서 많이 다루어 왔으나 다양한 도로조건을 반영하지 못하고 곡선반경만 고려된 모형식을 개발하는 등의 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 보다 다양한 기하구조를 반영할 수 있는 주행속도 예측 모형식을 개발하고자 한다.

#### 1) 주행속도 자료 수집

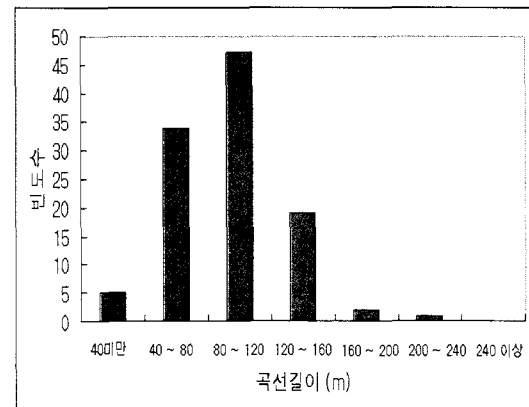
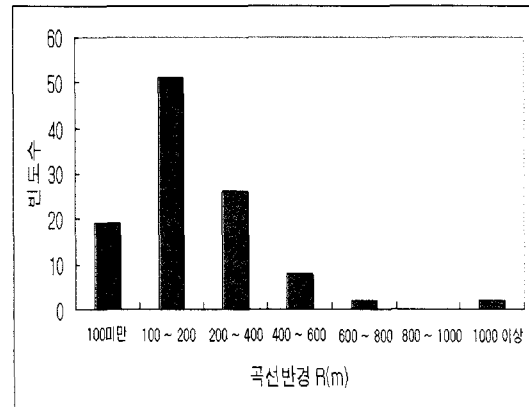
주행속도 자료 수집을 위한 지점의 선정은 일반국도 왕복 2차로 도로를 대상으로 하였으

며 다음 <표 6>과 같은 선정조건에 부합되는 지점과 다양한 유형을 보이고 도로의 기하구조 자료 수집이 용이한 지점으로 96개 지점을 선정하였다.

<표 6>조사 대상 지점 선정 조건

조 건	지점 선정 기준
지역	지방부
도로 관할 구분	국도
도로 기능 구분	보조간선
설계 구분	왕복 2차로/4차로
제한속도	60km/h~80km/h
설계도면	존재
평면곡선 앞 교통관제시설/횡단보도	영향 최소 지점

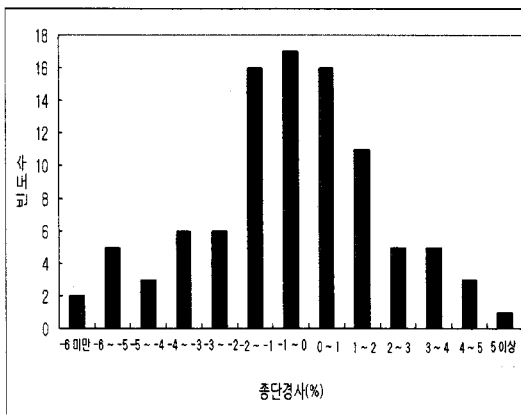
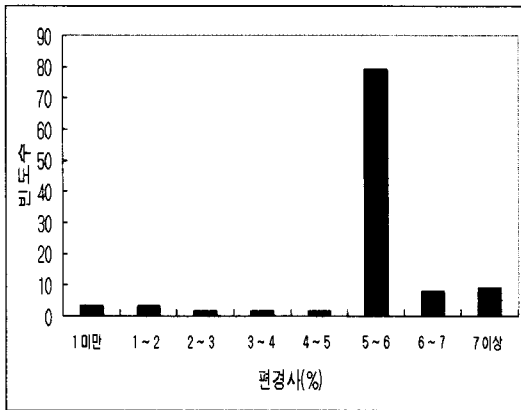
선정된 지점의 기하구조별 특징을 살펴보면 다음과 같다.



<그림 3>조사지점의 곡선반경 및 곡선길이 분포

곡선반경 R 은 800m 까지 분포하고 있으며, 특히 100~200m인 구간이 가장 많이 존재하였

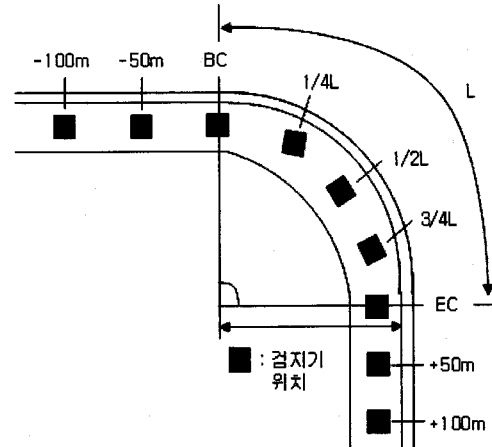
다. 곡선길이의 경우 40 ~ 160m 구간에 가장 많이 분포되어 있고, 40m 미만이나 200m 이상인 구간은 거의 존재하지 않았다.



<그림 4> 조사지점의 편경사 및 중단경사 분포

편경사는 1~7 % 수준에서 분포하고 있으며, 특히 5~6 % 경사구간에서 가장 많은 빈도를 나타내고 있다. 또한 중단 경사의 경우 -6~5% 구간의 분포를 나타내며, -2~2%의 구간에서 가장 많은 빈도를 나타내고 있다.

선정된 조사지점에서의 차량 속도는 미국 'Nu-Metrics사'의 NC-97(이하 '검지기')을 이용하여 조사되었다. 다음 <그림 5>는 조사지점의 검지기 위치를 나타낸 것이다.



<그림 5> 검지기 위치

## 2) 이상치 제거를 위한 필터링

조사된 속도자료는 당시 도로의 특수한 상황(교통사고, 또는 경운기나 중장비 차량들의 이동)이나 검지기의 검지오류, 차량의 추종 주행 등이 고려되지 않은 자료이므로 이상치 제거 및 독립주행 차량만을 대상으로 할 필요가 있다. 따라서 자료의 필터링을 통해서 이상치를 제거하였다.

자료의 필터링 과정은 다음과 같다. 우선 선행차량의 속도에 영향을 받지 않도록 차두시간이 6초 이하인 경우는 제외하여 다른 차량의 영향을 배제하였고, 차량 길이 정보에 따라 차량길이가 5m 이하인 승용차만을 대상으로 하였으며 왕복 2차로 도로의 독립주행속도로 일반적이지 않은 30km/h 미만이나 130km/h를 초과하는 경우는 이상치로 간주하여 제외 하였다.

<표 7> 필터링 방법

기준	필터링 방법
Headway	6초 이상
차량 길이	5m 이하의 승용차
차량 속도	30km/h ~ 130km/h

## 3) 주행속도 예측 모형식 개발

이상치를 제거한 데이터를 대상으로 곡선부에서의 85백분위 속도와 기하구조 간의 관계를 회귀분석을 통하여 밝혀내고 곡선부 주행속도 예측 모형식을 구축하였다.

회귀분석에 사용된 변수로는 각 지점별로 평

면 곡선부 1/2 지점에서 조사된 속도자료의 V85 속도를 종속변수로 하고, 종속변수에 영향을 줄 것으로 예상되는 곡률(1/R), 편경사, 평면곡선의 길이, 종단경사, 종단곡선변화비율(K)과, 곡선부에 진입하는 진입속도(곡선부 시작 100m 전 지점의 85백분위 속도)를 독립변수로 하여 회귀분석을 실행하였다.

다음 <식 4>는 모든 독립변수를 입력하고 유의하지 않은 변수를 차례로 제거하는 과정을 거쳐서 최적의 모형식을 구축한 결과이다.

$$V85 = 22.746 - \frac{476.778}{R} + 0.651X \quad \text{<식 4>}$$

여기서, V85 : 평면곡선부 1/2 지점의 주행속도

R : 평면곡선반경(m)

X : 진입속도(km/h)

모형식 구축 결과 평면곡선반경과 진입속도가 종속변수에 영향을 미치는 변수로 나타났으나 차량 속도에 영향을 줄 것으로 생각되는 종단경사 변수가 모형식에서 제외되어 예측된 모형식이 종단선형을 반영하지 못하는 문제점이 나타났다. 이는 전체 자료를 대상으로 회귀분석을 했기 때문으로 판단된다.

따라서 종단경사가 변수로 입력되지 않더라도 종단경사를 기준으로 몇 개의 그룹으로 나누어 각각의 그룹별로 속도예측 모형식을 개발한다면 종단경사를 고려한 주행속도 예측 모형식이 될 것이고 이와 관련하여 Fitzpatrick 등(1999)의 연구는 평면선형과 종단선형이 복합적으로 나타나는 구간에 대해서 속도 예측 식 개발을 하였는데 크게 평면선형-종단경사 구간, 평면선형-종단곡선 구간, 평면직선-종단곡선 구간으로 구분 하였다. 따라서 본 연구에서도 조사된 자료로 분석 가능한 평면선형-종단경사 구간과 평면선형-종단곡선 구간에 대해서 각각의 구간에 대한 속도 예측모형식 개발을 수행 하였다.

평면선형-종단경사 구간과 평면선형-종단곡선 구간에 대하여 각각의 구간을 세분화 하여 평면선형-종단경사 구간은 종단경사가 -4%미만, -4%~0%, 0%~4%, 4%이상인 4개의 그룹으로 나누고 평면선형-종단곡선 구간에 대해서는 오목종단곡선(sag)와 볼록종단곡선(crest)로 나누어 각각의 그룹별 자료수는 다음 <표 8>과 같으며 속도 예측 모형식을 개발하였다.

<표 8>선형조건별 자료수

선형조건	자료수(n)
종단경사 $G < -4\%$	7
종단경사 $-4\% \leq G < 0\%$	39
종단경사 $0\% \leq G < 4\%$	27
종단경사 $4\% \leq G$	5
오목종단곡선(sag)	9
볼록종단곡선(crest)	9
합계	96

<표 9>종단선형별 속도 예측 모형식 구축결과

선형조건	속도 예측식	$R^2$
종단경사 $G < -4\%$	$V85 = 65.645 - \frac{911.610}{R}$	0.478
종단경사 $-4\% \leq G < 0\%$	$V85 = 68.053 - \frac{777.294}{R}$	0.173
종단경사 $0\% \leq G < 4\%$	$V85 = 66.759 - \frac{1005.131}{R}$	0.413
종단경사 $4\% \leq G$	$V85 = 64.354 - \frac{653.523}{R}$	0.602
오목종단곡선	$V85 = 1.079X - \frac{1287.138}{R}$	0.995
볼록종단곡선	$V85 = 0.981X - \frac{1131.611}{R}$	0.997

V85: 평면곡선부 1/2 지점의 주행속도(km/h),

R: 평면곡선반경(m), X: 진입속도(km/h)

평면선형-종단경사 구간에서는 곡률을 변수로 하는 모형식이 개발 되었으며 평면선형-종단곡선 구간에서는 상수항의 유의성이 떨어져 상수항을 제외한 진입속도와 곡률만을 변수로 하는 모형식이 개발되었다.

## 2. 주행속도차이에 의한 도로 안전성 평가 방법

Lamm 등(1999)의 연구에서는 연속적인 설계요소(직선부와 평면곡선부) 사이의 주행속도 차이를 토대로 도로 선형 안전성 평가기준을 제시하였다.

<표 10> 도로선형 안전성 평가기준

기준 구분	도로 안전성 평가기준
우수	$ V85_i - V85_{i+1}  \leq 10\text{km/h}$
양호	$10\text{km/h} <  V85_i - V85_{i+1}  \leq 20\text{km/h}$
불량	$ V85_i - V85_{i+1}  > 20\text{km/h}$

직선부와 곡선부의 속도차이가 10km/h 이하 이면 우수, 10km/h~20km/h 이면 양호, 20km/h 이상이면 불량으로 판단한다.

본 연구에서도 평면곡선부 속도예측 모형을 이용하여 곡선부 속도를 구하고 직선부 회망속도와 비교하여 Lamm 이 제시한 기준에 의하여 도로의 안전성을 우수, 양호, 불량으로 판단하도록 한다.

### 3. 개별차량의 속도차이에 의한 도로 안전성 평가 방법

위의 주행속도 차이에 의한 도로 안전성 평가 방법은 한 지점에서의 차량 속도 자료의 85 백분위 속도를 이용한 것으로 도로를 운행하는 다수 운전자의 평균적 주행특성을 나타낸 것으로 개별 운전자들의 행태를 분석하기에 다소 무리가 있다. 따라서 개별 차량의 속도변화를 반영한 분석이 필요하다고 판단된다.

본 연구에서는 개별차량의 곡선부 진입속도와 곡선부 1/2 지점에서의 속도차이를 구하는 예측 모형을 구축하고 구한 모형식 으로부터 개별차량의 속도차이를 구하여 도로의 안전성을 평가하는 방법을 제시하였다.

#### 1) 개별차량의 속도차이 예측 모형식 개발

각 지점에서 개별차량의 곡선부 전방 100m 전 속도와 곡선부 1/2 지점 속도의 차이를 구한 후, 그 값들의 85백분위 값을 종속변수로 하고 종속변수에 영향을 줄 것으로 예상되는 곡률(1/R), 편경사, 평면곡선의 길이, 종단경사, 종단 곡선변화비율(K)과, 곡선부에 진입하는 진입속도(곡선부 시작 100m 전 지점의 85백분위 속도)를 독립변수로 하였으며 평면곡선부 주행속도 예측모형식과 마찬가지로 평면곡선-종단경

사 구간과 평면곡선-종단곡선 구간으로 나누어 회귀분석을 실행하였다.

다음 <표 11>은 개별차량의 속도차이 예측 모형식을 구축한 결과이다.

<표 11>개별차량의 속도차이 예측모형식

	모형식	R 제곱
-4%미만	$Y = -237.298 \times (1/R) + 3.263 \times (\text{종단경사}) + 0.44 \times (\text{진입속도})$	0.958
-4%~0%	$Y = -32.943 + 959.094 \times (1/R) + 0.564 \times (\text{진입속도})$	0.396
0%~4%	$Y = -36.914 + 709.539 \times (1/R) + 433 \times (\text{종단경사}) + 0.564 \times (\text{진입속도})$	0.475
4% 이상	$Y = -5.387 \times (\text{종단경사}) + 0.55 \times (\text{진입속도})$	0.936
crest	$Y = -26.49 + 1436.168 \times (1/R) + 1.105 \times (\text{진입속도}) + 0.041 \times (K)$	0.933
sag	$Y = 699.358 \times (1/R) + 0.132 \times (\text{곡선길이})$	0.921

#### 2) 개별차량의 속도차이에 의한 도로 안전성 평가 방법

박영진(2002)은 속도차를 근거로 도로선형의 안전성을 판단하는 기준을 제시한 선행연구들(R. Lamm 등, 1987a, 1987b, 1988, 1991, 1999; E. M. Choueiri 등, 1987a, 1987b)은 모두 집계적인 방법으로 추정된 속도차를 기준으로 하였으며 비집계적 방법인 개별차량의 속도차이는 선행연구에서 제시한 평가기준을 그대로 적용하는 것은 합리적이지 않다고 판단하여 새로운 기준을 제시하였다.

<표 12>도로 안전성 평가기준(비집계적 방법)

기준 구분	도로 안전성 평가기준
우수	$\Delta V85 \leq 15\text{km/h}$
양호	$15\text{km/h} < \Delta V85 \leq 30\text{km/h}$
불량	$\Delta V85 > 30\text{km/h}$

<표 12>에 의하면 개별차량의 속도차이가 15km/h 이하이면 우수, 15km/h~30km/h 이면 양호, 30km/h 이상이면 불량으로 판단한다.



따라서 본 연구에서 제시한 개별차량의 속도 차이 예측 모형식을 이용하여 도로 평면곡선부의 개별차량 속도차이를 구하고 그 값을 위의 기준에 적용하여 도로선형의 안전성을 우수, 양호, 불량으로 판단하도록 한다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 왕복 2차로 도로의 평면곡선부 주행속도를 예측할 수 있는 모형식을 개발하였으며 종단선형을 고려하기 위하여 종단선형에 따른 6개 그룹으로 나누어 각각 그룹별 회귀모형식을 개발하였다. 그리고 개발된 모형식을 이용하여 평면곡선부에서의 직선부와 곡선부 속도의 차이를 이용한 도로 안전성 평가 방법을 제시하였다. 또한 각 개별차량들의 곡선부 진입속도와 곡선부 1/2 지점에서의 속도차를 이용하여 개별차량의 속도차이를 구하는 회귀모형식을 개발하였으며 이를 이용하여 도로의 안전성을 평가하는 방법을 제시하였다.

위에서 제시한 두 가지 방법을 이용하여 도로를 설계하거나 현재 운영중인 도로의 선형 안전성을 우수, 양호, 불량의 세 단계로 평가하여 불량한 지점은 선형 개선 등의 후속조치가 필요한 것으로 판단된다.

향후 연구에서는 더 합리적인 곡선부에서의 주행속도 예측을 위하여 종단경사가 큰 오르막이나 내리막의 조사 지점수를 늘려서 분석 할 필요성이 있고, 도로 안전성을 평가하는 다양한 방법들을 추가하여 차량 운전자의 주행 행태를 반영한 도로선형 평가가 필요한 것으로 판단된다. 또한 여러 가지 도로 안전성 평가 방법의 의해 도출된 결과를 종합적으로 판단 할 수 있는 기준을 만들어 실제 도로에 적용할 수 있도록 해야한다.

#### 참고문헌

1. 건설교통부, 도로설계편람, 2000.
2. 건설교통부, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000.
3. 김용석, 조원범, “긴 직선-곡선 연결선형에서 운

전자 주행행태에 관한 현장조사 연구”, 대한교통학회, 대한교통학회지, 제22권 제7호, pp.139~146, 2004.

4. 박영진, 개별차량의 운전행태를 이용한 위험도로 평가기법 개발, 박사학위논문, 서울대학교, 2002.
5. 이점호, 설계일관성 분석을 통한 도로선형설계의 적정성 평가 연구, 박사학위논문, 서울시립대, 2000.
6. 이종필, 김성호, 주행속도 예측을 위한 모형 개발 (2차로 지방부 도로를 중심으로), 대한교통학회지, 제20권 제1호, 2002.
7. 원제무, 안전측면의 도로선형 설계 일관성 평가기준 개발에 관한 연구, 2007
8. 정준화, 박영진, 박창호, 속도에 따른 평면 곡선부 설치 방안 연구, 대한토목학회 논문집, 제 20권 제5-D호, 2000.
9. 정준화, 유수현, 윤여환, “도로 곡선부의 안전성 향상을 위한 평면선형 설계 지침 연구” 한국건설기술연구원, 1998.
10. 정준화, 주행속도를 이용한 도로의 평면선형 안전성 평가 모형 개발, 박사학위논문, 서울대학교, 2001.
11. 하태준, 박계진, 김유철, 가속도를 고려한 도로의 설계일관성 평가기법에 관한 연구, 대한교통학회지, 제 21권 제 1호, 2003.
12. 하태준, 이석, 지방부 2차로 안전성 평가에 관한 연구, 대한교통학회지, 제 20권 제 1호, 2002.
13. Fitzpatrick, K., L. Elefteriadou, D.W. Harwood, J.M. Collins, J. McFadden, I.B. Anderson, R.A. Krammes, N. Irizarry, K.D. Parma, K.M. Bauer, and K. Passetti, “Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways,” Report FHWA-RD-99-171, USDOT, FHWA, 2000.
14. Lamm, R., B. Psarianos, and T. Mailaender, Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook, McGraw-Hill, 1999.