

■ 論 文 ■

# 지방부 2차로 안전성 평가에 관한 연구

A Study on Evaluation of Safety on Two-Lane Rural Highways

**하 태 준**

(전남대학교 토목공학과 조교수)

**이 석**

((주)청석엔지니어링 도로부)

## 목 차

- I. 서론
    - 1. 연구 배경 및 목적
    - 2. 연구 내용 및 방법
  - II. 기존 연구문헌 고찰
    - 1. 도로의 안전성 평가 방법
  - III. 새로운 안전성 평가 방법의 제시
    - 1. 새로운 안전성 평가 방법의 제시 방향
    - 2. 자료 수집
  - 3. 기초 분석
    - 4. 위험도(사고)와의 연관성 분석
    - 5. 새로운 안전성 평가 방법 제시
    - 6. 새로운 안전성 평가 방법 검증
  - IV. 결론 및 향후 연구과제
    - 1. 연구의 결과
    - 2. 연구의 향후과제
- 참고문헌

Key Words : 안전성 평가, 곡선부, 속도, 속도 분산, 가속도

## 요 약

본 연구의 목적은 도로의 안전성 평가 방법을 제시하여 안전성 평가 기준을 확립하는데 기여하고 궁극적으로 도로 안전에 기여하는 데 있다.

연구는 사고자료와 현장자료(중단경사, 곡선반경, 속도특성)를 수집하고, EXCEL과 SPSS를 이용하여 정리되고 분석되었다. 문헌고찰에서 기존 안전성 평가방법의 문제점과 수집된 자료 분석의 결과를 가지고 새로운 안전성 평가 방법을 제시하였다. 제시된 안전성 평가 방법은 기존 방법과의 비교를 통하여 그 타당성을 검증하였다.

연구 수행으로 얻어진 결과는 다음과 같다. 1)속도분산차, 차량 진행방향 가속도차, 곡선반경방향 가속도차를 이용하여 새로운 안전성 평가 방법을 제시하였다. 2)속도 차, 에너지 차, 본 논문에서 제시한 안전성 평가 방법을 현장 조사된 지점을 대상으로 비교하고, 제시된 방법이 더 적절하다는 결과를 얻었다. 3)선행차량에 의해 속도 영향을 받는 차두간격은 6초 이하이다. 4)곡선부 내의 최저 속도 위치는 곡선시작점으로부터 약 35m 이다. 5)도로의 위험도(EPDO)와 통계적으로 유의한 상관관계를 보이는 속도특성은 속도분산이다.

그러나 제시된 안전성 평가의 현장 적용을 위해서는 기하구조가 다른 많은 지점에 대한 연구로 평가 방법을 재검증하고, 각 기준별 등급과 가중치에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

본 연구는 "전남대학교 1999년 교내 학술연구비" 지원으로 수행되었음.

# 1. 서론

## 1. 연구 배경 및 목적

현재 도로설계방법은 도로 각 구간에서 설계속도가 일정하면, 차량의 속도가 일정하다고 가정한다. 그러나 도로를 주행하는 차량은 직선부에서는 설계속도보다 높은 속도를, 곡선부(최소 곡선반경 기준으로 설계시)에서는 설계속도보다 낮은 속도를 나타내어 구간마다 속도의 변화를 보인다(최재성, 1998).

이처럼 도로설계자가 의도하지 않은 속도변화는 도로의 안전과 관계되고, 이에 안전성 평가의 필요성이 대두되었다.

도로 안전성 평가는 'ΔV = 10 mph 법칙'으로 불리는 '속도차(ΔV)'를 이용한 방법이 주를 이루었다. 그러나 속도차 방법은 높은 속도에서의 속도차와 낮은 속도에서의 속도차를 같은 위험 수준으로 평가하는 단점을 가지고 있다(정준화, 2001). 이 단점을 보완한 '에너지차(ΔE) 방법'이 있으나 속도차 방법과 에너지차 방법은 차량의 시간에 따른 속도변화 특성을 나타내지 못한다. 예를 들면, 비교할 두 속도의 변화가 10초 동안 일어난 경우와 5초 동안 일어난 경우, 둘 모두 동일한 위험도로 평가한다.

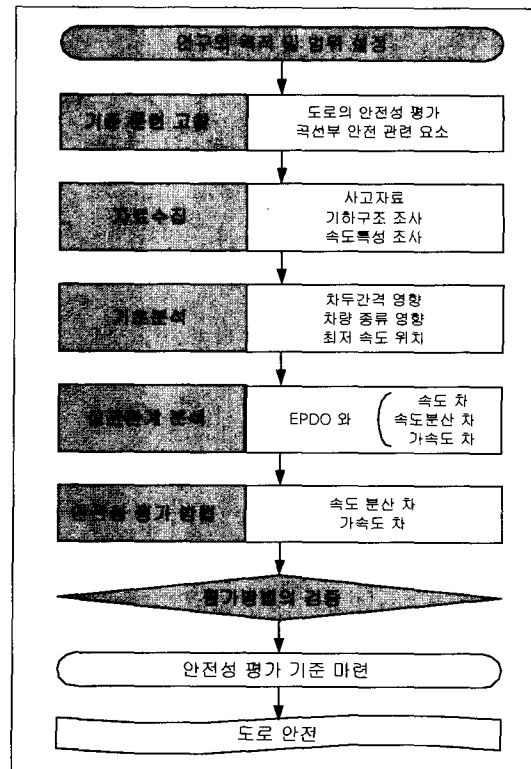
또한 도로 안전성과 떼어놓을 수 없는 사고자료와 그 자료에 해당하는 동일 지점에서의 속도특성 및 기하구조에 관련된 연구는 매우 부족한 실정이다.

이에 착안하여 본 연구에서는 사고자료를 수집하고, 그 자료와 동일한 지점에서 기하구조와 속도특성을 조사한 다음, 사고자료와 관련 요소들의 상관관계를 통해 새로운 안전성 평가방법을 제시하는데 목적을 두고 있다.

## 2. 연구 내용 및 방법

새로운 안전성 평가방법을 제시하기 위하여 문헌고찰을 통한 기존 방법을 분석하고, 사고자료와 해당 사고지점의 현장조사로 얻어진 속도특성 자료의 상관관계를 분석하였다.

사고자료는 도로교통안전관리공단의 자료를 사용하였고, 현장조사는 지방부 2차로 곡선부 도로로 사고자료의 사고발생 당시의 기하구조와 현재의 기하구조가 일치하는 곳만을 조사하였다.



〈그림 1〉 연구 수행 흐름도

연구목적에 맞는 자료선택을 위하여 차두간격 영향권, 차종에 따른 영향, 최저속도 위치에 관한 분석을 선행한 후, 사고자료는 EPDO(Equivalent-Property-Damage-Only)로 환산하여 다양한 속도차, 속도분산차, 가속도차와 상관관계를 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences)를 이용하여 분석하였다.

문헌고찰과 상관관계 분석을 통하여 속도분산차와 가속도차로 새로운 안전성 평가방법을 제시하고 검증하였다. 이러한 연구 수행 과정을 〈그림 1〉에 나타내었다.

## II. 기존 연구문헌 고찰

### 1. 도로의 안전성 평가 방법

도로의 안전성 평가방법은 속도특성(속도, 평균속도, 가속도, 속도분산)을 이용한 방법, 교통시설(기하구조, 교통표지판, 노면상태 등)에 의한 방법, 운전자에 부담감에 의한 방법, 사고자료에 의한 방법, 두 가지 이상을 조합한 방법으로 대별할 수 있다.

곡선반경을 중심으로 한 기하구조에 의한 방법은 운전자의 주행특성을 반영하지 못하는 단점이 있고, 운전자 부담감에 의한 방법은 계량화와 설계요소와의 반영이 어렵고, 사고자료에 의한 방법은 신뢰성 확보를 위해 오랜 기간 동안의 사고자료가 누적되어야 하는 단점이 있다(이점호, 2000).

따라서, 본 논문에서는 속도특성을 이용한 안전성 평가 방법에 초점을 맞추고, 속도특성을 이용한 안전성 평가 방법과 두 가지 이상을 조합한 방법 중 속도특성이 포함된 방법만을 정리하였다.

1) 속도특성에 의한 방법

(1) 속도차(ΔV)에 의한 방법

Leisch(1977)에 의하여 시작된 이 방법은 ΔV = 10mph 기준을 마련하였다. 그러나 속도전이 구간 및 곡선 사이에 짧은 직선이 있을 경우에 적용이 어렵고, 운전자의 주행속도 특성을 반영하지 못한 한계를 가지고 있다(이점호, 2000).

(2) 에너지차(ΔE)에 의한 방법

정준화(2001)는 속도차(ΔV) 방법이 낮은 속도에서나 높은 속도에서의 같은 속도차가 같은 위험도를 나타내기 때문에 도로의 위험도를 평가하기에는 적절하지 못하다는 것에 문제를 삼고, 운동에너지의 차를 이용한 방법으로 안전성평가 방법을 제시하였다. 그 기준은 <표 1>과 같다.

<표 1> 에너지차(ΔE) 방법의 안전성 평가 기준 (정준화, 2001)

기 준		등 급
$\Delta E/c =  V_c^2 - V_{cd}^2 $	≤ 500	1등급
	≤ 1500	2등급
	≤ 2500	3등급
	> 2500	4등급

<표 1>에서 사용된 부호는 다음과 같다.

- ΔE : 에너지차 (km/h)<sup>2</sup>
- c : 상수 = [1/(2 · 3.6<sup>2</sup>)] · m
- V<sub>c</sub> : 곡선부 속도 (km/h)
- V<sub>cd</sub> : 곡선부 최대 속도 (km/h) = √127R(e + f<sub>RA</sub>)
- m : 차량 질량
- R : 곡선 반경 (m)
- e : 편경사
- f<sub>RA</sub> : 가정된 횡방향 마찰계수

(3) 가속도에 의한 방법

평면선형 조건에 따른 속도추정모형으로부터 운전자가 편안하게 가속을 하기 위해 요구되는 길이와 희망속도로부터 곡선부에 감속할 때의 길이에 따라서 가속도를 계산하였고, 가속도로 안전성 평가 등급을 제시하였다. 모든 선형조건에 대하여 가속도의 안전성 등급은 <표 2>와 같다(Kay Fitzpatrick, 2000).

<표 2> 설계 안전성 가속도 등급(Kay Fitzpatrick, 2000)

감속도	단위 : m/s <sup>2</sup>	가속도
1.00~1.48	양 호	0.54~0.89
1.48~2.00	보 통	0.89~1.25
>2.00	열 약	> 1.25

(4) 속도추정모형

속도특성에 의한 안전성 평가방법은 속도추정모형을 통하여 설계단계에서도 안전성 평가가 가능하도록 하고 있다. 지금까지 제시된 여러 가지 속도추정모형은 곡선반경을 이용한 것이 대부분이고, 상류부 교통조건과 운전자의 시거를 이용한 속도추정모형 등이 있다.

2) 두 가지 이상을 조합한 방법

Ruediger Lamm(1999)은 세 가지 안전성 평가 기준을 제시하고 각 기준은 곡률변화율과 연관되어 있다. <표 3>에 세 가지 안전성 평가 기준을 나타내었다.

<표 3> 도로의 안전성평가 기준(Ruediger Lamm, 1999)

평가등급	양 호	보 통	열 약
CCR <sub>s</sub> 분류	≤ 180 gon/km	> 180 gon/km, ≤ 360 gon/km	> 360 gon/km
I	V85 <sub>i</sub> - V85 <sub>i+1</sub>   ≤ 10km/h	10km/h <  V85 <sub>i</sub> - V <sub>d</sub>   ≤ 20km/h	V85 <sub>i</sub> - V <sub>d</sub>   > 20km/h
II	V85 <sub>i</sub> - V85 <sub>i+1</sub>   ≤ 10km/h	10km/h <  V85 <sub>i</sub> - V85 <sub>i+1</sub>   ≤ 20km/h	V85 <sub>i</sub> - V85 <sub>i+1</sub>   > 20km/h
III	f <sub>RA</sub> - f <sub>RD</sub> ≥ +0.01	-0.04 ≤ f <sub>RA</sub> - f <sub>RD</sub> < +0.01	f <sub>RA</sub> - f <sub>RD</sub> < -0.04

\* gon : 백진법체계 각도단위(400 gon = 360°)

〈표 3〉에서 사용된 부호는 다음과 같다.

- $CCR_s$  : 단일 곡선부의 곡률변화율 ( $gon/km$ )
- $V_d$  : 설계속도 ( $km/h$ )
- $V85_i$  :  $i$ 구간에서의 85백분위 기대속도 ( $km/h$ )
- $V85_{i+1}$  :  $i+1$ 구간에서의 85백분위 기대속도 ( $km/h$ )
- $f_{RA}$  : 추정 횡방향마찰계수 =  $n \cdot 0.925 f_T$
- $f_{RD}$  : 요구된 횡방향마찰계수 =  $V85^2 / 127 R - e$
- $f_T$  : 종방향마찰계수

### III. 새로운 안전성 평가 방법의 제시

#### 1. 새로운 안전성 평가 방법 제시 과정

운전자의 주행특성을 고려한 속도특성에서 속도보다는 가속도가 시간에 따른 속도변화 특성과 위험도를 잘 나타내고, 운전자에 대한 부담감도 포함할 수 있다는 생각에서, 가속도와 사고와의 상관관계에 중점을 두고, 다양한 도로에서 위험도와 유의한 상관관계를 보이는 속도분산을 이용하여 새로운 안전성 평가방법을 제시하고자 한다. 이러한 과정을 〈그림 2〉에 나타내었다.

#### 2. 자료 수집

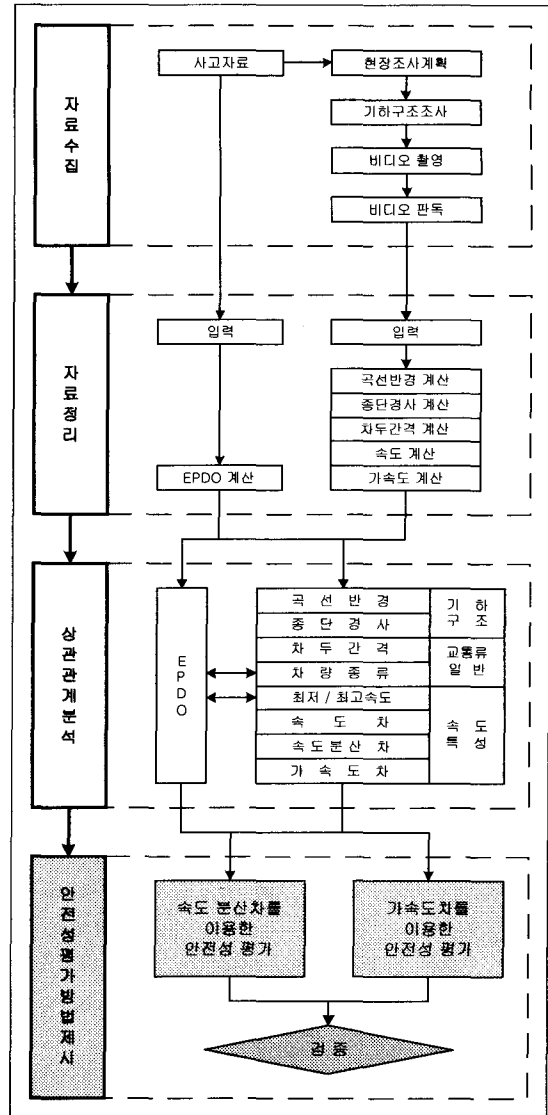
현장조사는 곡선반경(중앙종거법), 종단경사(level 이용한 수준교차), 속도특성(비디오 촬영)을 조사하였다. 속도특성은 각 위치를 지나는 시간을 화상판독기와 모니터를 통하여 기록하고 정리하였다.

조사된 8개 지점은 〈표 4〉에 정리된 곡선반경과 종단경사를 가지며, 〈그림 3〉에 나타난 형태로 조사되어 〈그림 4〉와 같이 부호를 부여하여 정리하였다.

#### 3. 기초 분석

##### 1) 자료의 정리 및 분석 방법

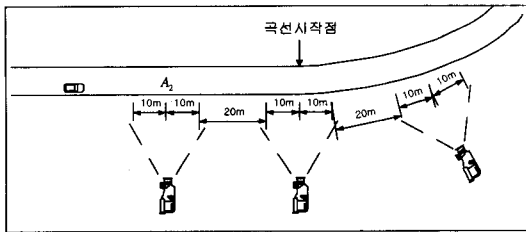
각 지점의 개개 차량에 대한 차두간격과 속도계산은 〈그림 4〉에서 규정한 위치에 정지하는 시간을 기록하고 'EXCEL'에 정리하여, 각 위치 사이의 거리를 각 위치를 통과(초당 30프레임의 정지화면을 보여주는 화상판독기 이용)하는 시간차를 이용하여 계산하였다. 속도계산에서 차량의 가속도, 속도분산을 산출하였다.



〈그림 2〉 안전성 평가 방법 제시 과정

〈표 4〉 조사지점

지점 번호	지점				종단경사 (%)	곡선반경 (m)
	군	면	리	세부지명		
1	완도	군외	황진	황진리	0.1	55
2	담양	대전	태목	태목리	0.1	113
3	고흥	남양	남양	참새미	2.92	118
4	담양	담양	학동	금월교	1.1	165
5	진도	군내	월가	월가리앞	0.84	183
6	장흥	장동	배산	울리	1.03	264
7	해남	황산	송호	송호입구	2.08	275
8	화순	화순	다지	다지2리	0.44	384



〈그림 3〉 현장조사 개요도

차량 진행 방향 : 좌 → 우									
구 분	직선부			곡선시작점			곡선부		
거 리	10m	10m	20m	10m	10m	20m	10m	10m	
위 치	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
속 도	Aa	Ab		Ba	Bb		Ca	Cb	
가속도	A		AB	B		BC	C		

〈그림 4〉 부호규약

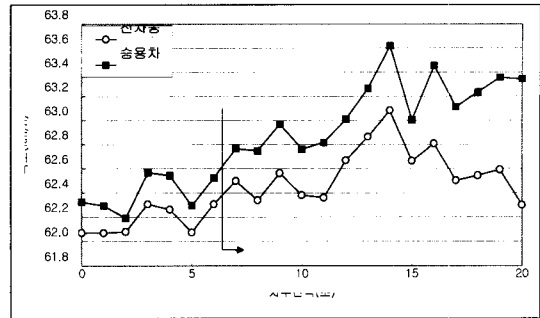
자료의 분석은 먼저, 「EXCEL」의 '피벗테이블' 기능을 이용하여 각 지점별, 각 차종별, 각 차두간격별, 각 속도특성별 등을 개략적으로 분석하여 유용한 결과와 방향을 정립한 후, 통계적 수치는 다시 「SPSS」를 통하여 재분석하였다.

본 논문에서는 주요한 결과만을 정리하였으며, 결과 수치는 SPSS에 의한 수치이다.

### 2) 차두간격의 영향권 설정

최재성(1999)은 Normann의 선행차량과의 속도차에 의한 방법을 이용하여 Normann이 제시한 차두간격이 9~10초 일 때 주행차량이 선행차량에 의해 영향을 받지 않음을 확인하였다.

본 연구에서는 위치 A<sub>2</sub>에서의 차두간격에서 같은 방법으로 선행차량에 의해 영향을 받는 구간을 구분할 수 없어, 다른 방법으로 각 차두간격을 정수로 올림하여(0.45→1, 2.87→3) 재정리하고, 차두간격이 1초 이하인 차량부터 제거하면서 차두간격이 큰 쪽의 평균을 산출, 〈그림 5〉의 그래프로 나타내고 작은 쪽 차두간격의 영향을 분석하였다. 즉, 〈그림 5〉의 차두간격 5에 해당하는 속도는 5초 이하를 제거한 평균속도이고 차두간격 10에 해당하는 속도는 10초 이하를 제거한 평균속도이다.



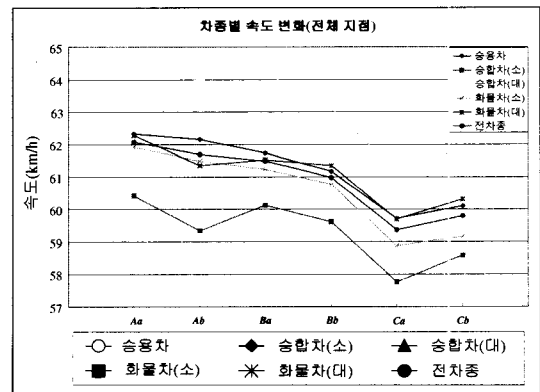
〈그림 5〉 차두간격과 평균속도

그 결과, 차두간격 6초를 초과한 때부터 11초 이하를 제거한 때까지 속도변화폭이 일정하다. 따라서 차두간격 6초 이하를 차두간격 영향권으로 보았다. 12초 이하를 제거한 때부터 다시 속도변화폭이 커지거나 차두간격의 영향보다는 차두간격이 큰 자료의 수가 적기 때문으로 판단된다.

〈그림 5〉에서 횡축은 제거되는 경계의 차두간격으로 연속적이지 않으나, 고저의 비교를 용이하게 하기 위해 선으로 연결하여 나타내었다.

### 3) 차량 종류별 영향

차종별 위치에 따른 속도변화 경향은 차이가 없으며 각 지점별로도 차이가 없다. 전체 지점에 대한 차종별 평균속도에서 소형승합차의 속도가 낮으며, 대형승합차의 속도가 높게 나타나고 있다. 그러나 전체 조사차량 626대 중 소형승합차는 62대이고, 대형승합차는 11대 임을 고려하면 차종에 따른 속도영향을 말하기는 어렵다. 이를 〈그림 6〉에 나타내었다.



〈그림 6〉 차종에 따른 속도 변화

4) 최저 속도와 최고 속도 위치

조사 위치별 속도변화에서 최저 속도가 나타나는 지점은 Ca로 곡선시작점에서 약 35m 떨어진 지점으로 나타났다.

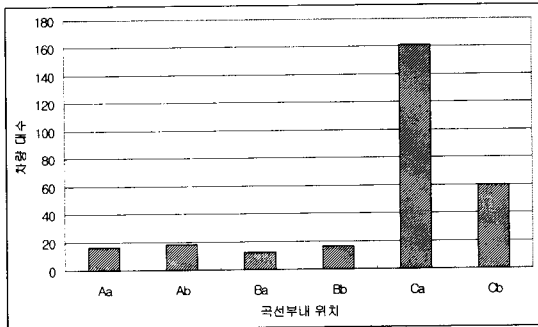
〈그림 7〉은 직선부에서 곡선부로 진입하는 모든 지점의 개별 차량이 최저 속도를 나타내는 위치에 차량의 도수를 나타내었다. 등속도로 주행하여 최저 속도 위치가 중복되는 경우 Ca, Cb, Bb, Ba, Ab 순으로 최저 속도 위치의 우선 순위를 주었다.

앞 절의 〈그림 6〉에서도 최저 속도의 위치를 확인할 수 있다. 〈그림 6〉은 지점에 상관없이 각 위치를 지나는 차종별 평균속도를 나타낸 것으로 Ca가 최저 속도가 나타나는 위치임을 확인할 수 있다.

이는 최재성(1999)의 진입부 직선도로의 주행속도에 비해 곡선부에서 최저 속도가 관찰된 곳은 곡선시작지점의 약 30m 후방지점이라는 결과와 일치한다.

최저 속도 위치에 따른 차종별, 차두간격, 지점별 영향은 없었다. 최저 속도 위치를 중복하여 표시하였을 때에도 Ca 지점이 최저 속도 위치라는 것은 뚜렷하게 나타난다.

같은 방법으로 최고 속도 위치는 Aa 지점으로 나타났다. 최고 속도 위치의 우선 순위는 Aa, Ab, Ba, Bb, Ca, Cb의 순으로 주었다.



〈그림 7〉 최저 속도 위치

4. 위험도(사고)와의 연관성 분석

1) 속도차(ΔV)와 위험도 관계

〈표 5〉에 정리된 네 가지 속도차에 대하여 EPDO, 사고건수와 상관관계를 분석하였다. 분석은 차두간격 6초 초과와 승용차에 대한 것이다.

〈표 6〉에 제시한 상관관계 분석에서 EPDO나 사고건수에 유의한 관계를 보이는 속도차는 없었다. 다

〈표 5〉 분석한 속도차 유형

유형	내용
㉠	$\Delta V_{m(Aa-Ca)} = V_{m(Aa)} - V_{m(Ca)}$
㉡	$\Delta V_{85(Aa-Ca)} = V_{85(Aa)} - V_{85(Ca)}$
㉢	$\Delta V_{m(Ca-RD)} = V_{m(Ca)} - V_{RD}$
㉣	$\Delta V_{85(Ca-RD)} = V_{85(Ca)} - V_{RD}$

$V_{m(Aa)}$  : Aa의 평균 속도  
 $V_{85(Ca)}$  : Ca의 85백분위 속도  
 $V_{RD}$  : 최소 곡선반경이 R일 때의 설계속도

〈표 6〉 속도차(ΔV)와 EPDO 상관관계

	사고건수	㉠	㉡	㉢	㉣
EPDO	.40	.03	-.25	.23	.31
사고건수		.16	-.09	.45	.59
㉠			.92	.55	.50
㉡				.30	.22
㉢					.99

른 속도차에 비해 EPDO와 높은 상관계수 값을 보이는 것은 속도차 ㉣이다.

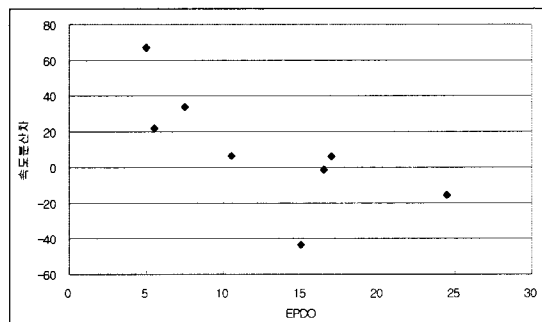
2) 속도분산차와 위험도 관계

속도분산에 대해서는  $V_{Ca}$ 의 분산과 속도  $V_{Aa}$ 와  $V_{Ca}$ 의 분산차에 대하여 EPDO와 상관관계를 분석하였다. 〈표 7〉에서처럼 EPDO와 분산차의 상관계수는 -0.720로써  $\alpha=0.05$  수준(양쪽)에서 유의하게 나타났다. 〈그림 8〉은 분산차와 EPDO의 관계를 보여 준다.

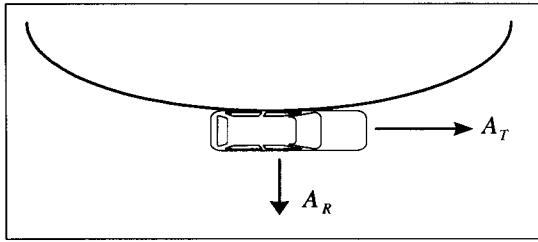
〈표 7〉 속도분산차와 EPDO 상관관계

	사고건수	분산:Ca	분산 차
EPDO	.421	.157	-.720*
사고건수		.147	-.434
분산 : Ca			-.236

\* Pearson 상관계수는  $\alpha=0.05$ 수준(양쪽)에서 유의함



〈그림 8〉 속도 분산 차와 EPDO 관계



〈그림 9〉 곡선부 주행 차량의 가속도

〈표 8〉 분석한 가속도차 유형

유형	내용
㉠	$A_{m(BC)}$ = 가속도 BC의 평균
㉡	$A_T$ = 차량 진행방향 가속도 = $A_{Ah(Ca)} - A_{RD+G}$ 〈그림 10〉 참고
㉢	$A_R$ = 원심력에 의한 가속도

3) 가속도차와 위험도 관계

곡선부를 주행하는 차량에 작용하는 가속도는 〈그림 9〉와 같다.

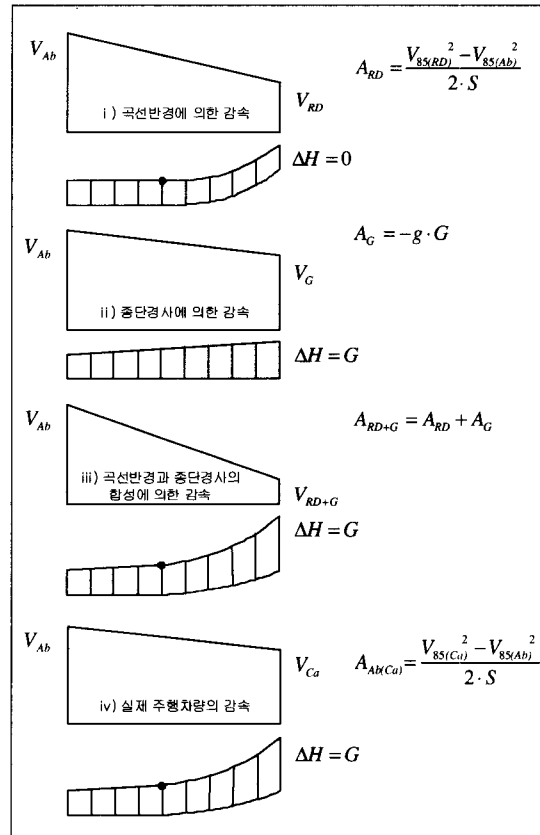
가속도에 대해서는 〈표 8〉에 정리된 세 가지에 대하여 EPDO와 상관관계를 분석하였다.

가속도 ㉡는  $V_{85(Ab)}$ 에서  $V_{85(Ca)}$ 로 주행(실제 주행)하는 차량의 가속도와 운전자가 가속하지 않고 기하구조에 의해 기대되는 가속도의 차이이다. 즉, 〈그림 10〉에서 iv 상황의 가속도와 iii 상황 가속도 차이이다.

여기서, 곡선반경 영향을 받은 경우(상황 i)와 종단경사 영향을 받은 경우(상황 ii)가 조합될 때의 가속도는, 엄밀하게는 상황 iii)의 가속도보다는  $2(V_{85(Ab)} - V_{RD})(V_{85(Ab)} - V_G)$  값만큼 적다. 그러나, 값의 차가 크지 않고 적은 값은 안전 측이 되므로 계산의 편의를 위해 〈그림 10〉에 제시한 iii)의 값을 사용하였다. 이러한 가속도 ㉡를 식으로 표현하면 식(1)과 같다.

$$V_{RD+G} = \frac{V_{RD}^2 - V_{85(Ab)}^2}{2S} - \frac{V_{85(Ca)}^2 - V_{85(Ab)}^2}{2S} + (-1)gG \quad (1)$$

가속도 ㉢는 곡선반경과  $V_{RD}$ 에 의한 곡선반경방향 가속도와 속도 Ca에 의한 곡선반경방향 가속도의 차로



〈그림 10〉 종단경사가 있는 곡선반경에서의 주행차량의 가속도

〈표 9〉 가속도차와 EPDO 상관관계

	가속도 ㉠	가속도차 ㉡	가속도차 ㉢
EPDO	-0.072	-0.421	-0.321
가속도차 ㉠		.225	.734*
가속도차 ㉡			.752*

\* Pearson 상관계수는  $\alpha=0.05$ 수준(양쪽)에서 유의함

식(2)로 표현되며, 이 가속도는 운전자가 속도에 따른 원심력에 의해 생기는 횡방향 가속도이다.

$$A_R = \frac{V_{RD}^2}{R} - \frac{V_{85(Ca)}^2}{R} \quad (2)$$

이상의 각 가속도와 EPDO와의 상관관계를 분석한 결과는 〈표 9〉와 같다. 가속도차 ㉡, 가속도차 ㉢의 상관계수는 유의하지 않으나 다른 요소 보다 높은 상관계수를 보인다.

5. 새로운 안전성 평가 방법 제시

1) 속도분산차를 이용한 안전성 평가

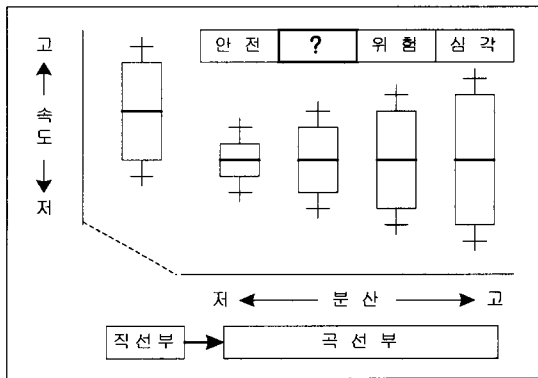
(1) 속도분산차에 의한 안전성 평가 방법

직선부에서 곡선부로 이동하는 교통류의 특성은 속도감소와 속도분산의 감소이다. 본 연구에서는 직선부에 비해 곡선부에서 일반적으로 감소해야 되는 속도분산 폭을 감안하여 직선부의 속도분산과 비교한다. 이러한 속도분산을 <그림 11>에 나타내었다.

<그림 11>에서 [위험]으로 표시된 곡선부는 직선부에 비해 평균 속도는 낮고 속도분산은 같다. FHWA의 경우 분산이 같으므로 동일한 위험도로 평가한다. 반면, 본 연구에서는 곡선부 속도분산의 감소가 일반적으로 불구하고, 속도분산이 같다는 것은 다른 곡선부보다 속도분산이 증가한 것이고, 이는 위험도의 증가로 평가한다.

(2) 속도분산차를 안전성 평가에 적용하기 전 연구과제

속도분산차를 안전성 평가에 적용하는데는 선행되어야 할 연구들이 있다. 그것은 <그림 11>의 (?)부분처럼 안전과 위험 부분의 경계설정과 안전성 평가에 적용하기 위한 등급 설정이다.



<그림 11> 속도분산차에 의한 안전성 평가

2) 가속도차를 이용한 안전성 평가

(1) 가속도차를 이용한 안전성 평가 방법

본 연구의 안전성 평가에 사용되는 가속도차는 가속도차 ⑥와 가속도차 ⑦을 이용한다. 가속도를 이용한 안전성 평가 방법은 속도차(ΔV)와 에너지차(ΔE) 방법의 시간에 따른 속도변화 표현이 안 되는 단점을

보완하여 연속된 지점의 시간에 따른 속도변화를 표현하여 보다 나은 안전성 평가를 수행할 수 있다.

(2) 에너지차(ΔE) 방법과의 비교

가속도차에 의한 방법은 정준화(2001)의 곡선부 자체 안전성 평가에서 곡선반경에 의해 산출한 속도와의 비교로 곡선반경을 다루고 있기는 하나, 차량의 주행방향 에너지차(ΔE)만을 다루고 차량의 곡선반경 방향 에너지차는 다루고 있지 않다. 그러나 가속도차에 의한 방법은 곡선반경 방향 에너지차를 포함하고 있다. 에너지차 방법과 가속도차 ⑥에 의한 방법을 비교하여 <표 10>에 나타내었다.

<표 10> 에너지차(ΔE) 방법과 가속도차 ⑥ 방법

곡선반경	속도 RD	속도 Ca	속도차	에너지차	본연구
m	kph	kph	kph	(km/h) <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>
140	60	90	30	4500	2.48
140	60	80	20	2800	1.54
140	60	70	10	1300	0.72
200	70	80	10	1500	0.60

3) 새로운 안전성 평가방법 제안

여러 가지 사고 요인 중 EPDO와 상관관계가 높은 속도분산과 기존의 속도차 방법을 포함하면서도 곡선반경에 의한 원심력의 위험을 표현할 수 있는 가속도차를 이용하는 방법을 제안하고자 한다.

본 논문에서 제시하는 안전성 평가방법은 속도분산차, 가속도차 ⑥, 가속도차 ⑦을 조합하는 방법이다. <표 11>에서 보인 바와 같이 각 기준에 점수를 주고 각각에 대한 가중치를 설정하여 사고의 위험도를 나타내는 방법이다. 그러나 사고자료의 부족으로 인하여 각각의 등급설정과 각 방법 간의 가중치를 결정하지 못하였다. 이 방법을 사용하기 위해서는 등급과 가중치 설정에 대한 향후연구가 뒤따라야 한다.

<표 11> 각 기준의 등급 정리(예)

	속도분산차 (km/h) <sup>2</sup>	가속도차⑥ m/s <sup>2</sup>	가속도차⑦ m/s <sup>2</sup>
양 호	≤ Var	≤ A	≤ A
위 험	≤ Var <	≤ A <	≤ A <
매우위험	Var <	A ≤	A ≤



6. 새로운 안전성 평가 방법 검증

본 논문에서 제시한 새로운 안전성 평가 방법의 검증을 위하여 조사된 지점에 한하여 속도 차 방법, 에너지 차 방법 그리고 본 논문에서 제시한 방법과 EPDO에 순위를 주어, Spearman 상관계수를 살펴보았다. 검증에 사용될 변수 명을 간단히 하기 위하여 <표 12>에 간단히 정의하고, <표 13>에는 상관계수와 유의수준을 나타내었다.

상관분석 결과인 <표 13>에서 Spearman 상관계수를 살펴보면, 본 논문에서 제시한 분산 차 (분산 ( $V_{Aa}$ ) - 분산 ( $V_{Ca}$ ), Spearman 상관계수=0.810)와 조합한 방법(Spearman 상관계수=0.786)이 EPDO와의 상관관계가 0.05 수준(양쪽)에서 유의하게 나타난 반면, 속도 차 방법과 에너지 차 방법은 유의하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 조사된 지점에서의 안전성 평가는 본 논문에서 제시한 방법이 적절한 것으로 나타났다. 조사된 지점 수가 적은 관계로 다른 지점에

사용을 위해서는 더 많은 지점에 대한 조사가 있어야 할 것으로 사료된다.

IV. 결론 및 향후 연구과제

1. 연구의 결과

설계속도를 기준으로 하는 기존 도로설계의 문제점에서 안전성 평가가 필요하게 되었다. 도로의 안전성 평가방법을 제시하여 안전성 평가기준을 확립하는데 기여하고 궁극적으로 도로안전에 기여하는데 목적을 두고 수행된 본 연구의 결과는 다음과 같다.

- 1) 속도분산차, 차량 진행방향 가속도차, 곡선반경방향 가속도차를 이용하여 새로운 안전성 평가 방법을 제시하였다.
- 2) 속도차, 에너지차, 본 논문에서 제시한 안전성 평가 방법을 조사된 지점을 대상으로 비교하고, 제시된 방법이 더 적절하다는 결과를 도출하였다.
- 3) 기존 문헌에서 속도에 영향을 끼치는 차두간격은 10초 이하라는 연구 결과와는 달리 본 연구 수행에 의한 선행차량에 의해 속도 영향을 받는 차두간격은 6초 이하로 분석되었다.
- 4) 곡선부 내의 최저 속도 위치는 곡선시작점으로부터 약 35m 지점으로 기존 연구의 결과와도 유사하다.
- 5) 도로 위험도(EPDO)와 통계적으로 유의한 상관관계를 보이는 속도 특성은 속도 분산으로 기존 연구의 결과와도 유사하다.

선행된 많은 연구에서 제시된 안전성 평가 방법에 비해, 본 연구에서 제시하는 안전성 평가 방법의 의미는 다음에 들 수 있다.

<표 12> 상관분석에 사용될 변수의 정의

구분	변수	정의
속도차	$\Delta V_T$	a $\Delta V_{85(Aa-Ca)} = V_{85(Aa)} - V_{85(Ca)}$
	$\Delta V_{RD}$	b $\Delta V_{85(Ca-RD)} = V_{85(Ca)} - V_{RD}$
	$\Delta V_{RK}$	c $\Delta V_T$ 순위 + $\Delta V_{RD}$ 순위
에너지차	$\Delta E_T$	d $(V_{85(Aa)})^2 - (V_{85(Ca)})^2$
	$\Delta E_{RD}$	e $(V_{85(Ca)})^2 - (V_{RD})^2$
	$\Delta E_{RK}$	f $\Delta E_T$ 순위 + $\Delta E_{RD}$ 순위
본 논문	$\Delta Var$	g 분산 ( $V_{Aa}$ ) - 분산 ( $V_{Ca}$ )
	$\Delta A_T$	h $V_{RD+G} = \frac{V_{RD}^2 - V_{85(Ab)}^2}{2S} - \frac{V_{85(Ca)}^2 - V_{85(Ab)}^2}{2S} + (-1)gG$
	$\Delta A_{RD}$	i $A_R = \frac{V_{RD}^2}{R} - \frac{V_{85(Ca)}^2}{R}$
	NEW	j $\Delta Var$ 순위 + $\Delta A_T$ 순위 + $\Delta A_{RD}$ 순위

<표 13> EPDO와 각 안전성 평가 방법의 상관관계

	속도 차			에너지 차			본 논문 제시 방법			
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
EPDO	-.634	.500	-.037	-.634	.238	-.184	.810*	.643	.500	.786*
	.091	.207	.931	.091	.570	.662	.015	.086	.207	.021
- 위칸 : Spearman 상관계수, - 아래칸 : 유의확률(양쪽)										
* 상관계수는 .05 수준에서 유의함 (양쪽).										

- 1) 다양한 원인에 의해 발생된 사고와 통계적으로 유의한 상관관계를 보이는 속도 분산을 안전성 평가에 도입하여, 도로의 위험도를 잘 표현할 수 있다.
- 2) 현장의 설계요소에 의한 가속도(안전가속도)와 주행 차량의 가속도차를 이용하여, 기존 속도 차 방법의 장점을 유지하면서 시간에 따른 속도변화와 속도 수준(높은 속도 군과 낮은 속도 군)별 위험도를 세분화하여 표현하는 안전성 평가방법을 제시하였다.

## 2. 연구의 향후과제

안전성 평가 기준을 확립하는데 기여하고 궁극적으로 도로 안전에 기여하는데 목적을 두고 수행된 본 연구의 향후과제는 다음과 같다.

- 1) 본 연구가 안전성 평가 방법만을 제시하는데 그쳐, 완전한 안전성 평가 기준으로 정립하기 위해서는 제시한 각 기준에 대한 검증이 필요하다.
- 2) 각 기준에 대한 검증과 더불어 보다 많은 지점의 사고자료와 속도 특성자료로 제시한 각 기준에 등급 설정과 가중치의 설정이 필요하다.
- 3) 개연성이 큰 사고자료보다는 상충이 도로 위험요소를 설명하는데 더 적합할 것으로 기대되므로 속도 특성(차두간격, 평균 속도, 속도 분산 등), 사고유형, 상충유형과의 연관 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. 최재성(1998), "도로선형에 대한 설계일관성 평가 모형의 개발", 대한교통학회지, 제16권 제4호.
2. 정준화(2001), "주행속도를 이용한 도로의 평면선형 안전성 평가 모형 개발", 서울대학교 대학원 공학박사 학위 논문.
3. 정준화·유수현·윤여환(1998), "도로 곡선부의 안전성 향상을 위한 평면선형 설계 지침 연구", 한국건설기술연구원.
4. Nicholas J. Garber & Ravi Gadiraju(1989), "Factors Affecting Speed Variance and Its Influence on Accidents," TRR 1213, TRB.
5. 이점호(2000), "설계일관성 분석을 통한 도로 선형 설계의 적정성 평가 연구", 서울시립대학교 대학원 공학박사 학위 논문.
6. Kay Fitzpatrick et al.(2000), "Evaluation of Design Consistency Methods for Two-Lane Rural Highways, Executive Summary," FHWA-RD-99-173, FHWA.
7. Ruediger Lamm, Basil Psarianos, & Theodor Mailaender(1999), "Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook," McGraw-Hill.
8. 최재성·이점호·이동민(1999), "평면곡선부의 차량속도 및 교통사고 영향분석연구", 대한교통학회, 제36회 학술발표회.
9. Kay Fitzpatrick et al.(2000), "Alternative Design Consistency Rating Methods for Two-Lane Rural Highways," FHWA-RD-99-172, FHWA.
10. 고종대(2001), "4차로 국도 곡선부 주행속도 특성 및 모형" 한양대학교 대학원 공학석사 학위 논문.
11. "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침", 건설교통부, 2000.
12. 박정수 외 5인(1999), "통계학", 경문사.
13. 김세현(1999), "통계학 개론", 영지문화사.

✉ 주 작 성 자 : 하태준

✉ 논문투고일 : 2001. 12. 24

논문심사일 : 2002. 1. 28 (1차)

2002. 2. 14 (2차)

심사판정일 : 2002. 2. 14