2차로 도로선형 설계일관성 평가기준 개발

Development of Model for Highway Design Consistency Evaluation

이수일
(서울시립대학교, 교통공학과,
연구교수, sooillee@korea.com)

이수범
(서울시립대학교, 교통공학과,
교수, mendota@uos.ac.kr)

김정현
(철도기술연구원, 실용화기획팀,
책임연구원, kimjh@krri.re.kr)

김장욱
(서울시립대학교, 교통공학과,
박사수료, newaxlose@hotmail.com)

목 차

Ⅰ. 서론

Ⅱ. 선행연구고찰

Ⅲ. 자료의 수집

Ⅳ. 평가모형의 개발

Ⅴ. 모형의 검증 및 설계기준 정립

Ⅵ. 사례 연구

Ⅶ. 결론

Key Words: 도로선형 설계일관성, 평가지표, 차간거리, 속도편차
Alignment design consistency, Evaluation index, vehicle spacing, speed deviation

요 약

본 연구에서는 도로의 평면선형 설계일관성을 평가하기 위한 지표 및 모형을 개발하였다. 도로선형 설계일관성은 운전자의 기대와 도로 기하구조의 일치성에 달려 있기 때문에 일관성 평가지표는 운전자의 행태특성을 잘 반영할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 이를 고려한 새로운 평가지표의 개발과 도로 선형조건에 따른 평가지표들이 어떻게 변하는지를 파악하여 안전성을 평가하는 방안을 강구하였다. 본 연구에서는 차량간격과 속도편차를 새로운 평가지표로 제안하였다. 제안된 평가지표는 신설도로뿐만 아니라 기존도로의 선형일관성 평가로 도로의 안전성을 향상시킬 것으로 판단된다.

This paper is to develop a model for evaluation of highway alignment design considering the driver's behavior in order to enhance the highway safety. Under the conditions, this research included a new evaluation criteria development and an analysis on how to change evaluation criteria according to roadway alignments, to evaluate safety. The vehicle spacing and speed deviation are suggested as new evaluation index The evaluation criteria model can be used to compare the anticipated safety performance of two or more geometric alternatives for a proposed highway improvement.

Ⅰ. 서 론

현재 도로 안전성에 대한 관심과 향상을 위한 노력이 지속적으로 증대되고 있다. 도로 안전성 관리에서의 가장 중대한 문제점 중의 하나는 기존도로뿐만 아니라 설계하고 있는 도로의 안전성 성과를 예측하기 위한 합리적인 방법이 미흡하다는 것이다. 기존의 사고기록자료는 도로의 안전성 성과를 모니터링하기 위해서 지속적으로 개발되고 있으나 이러한 것은 과거의 사고이력자료를 제공할 뿐이다. 따라서 장래에 계획된 도로에 대해서도 효율적인 관리운영이 요구되고 있다.

따라서 도로의 선형 설계단계부터 안전성을 평가하기 위한 방법들이 개발되고 있는데 크게 4가지 평가방법들 즉 선형일관성 평가, 사고건수 예측평가, 교차로 평가, 전문가 집단 평가 등이다. 미국 등 선진국에서는 이 4가지 방법을 종합하여 도로의 선형 안전성을 평가하고 있다. 특히, 도로선형 설계의 일관성은 운전자의 기대와 도로 기하구조의 일치성에 달려있기 때문에 선형 설계 일관성 평가지표는 운전자의 행태적 특성을 잘 반영할 수 있어야 한다.

지금까지 설계 일관성 평가지표로 이용되어 온 것은 1940년대~1960년대까지는 설계속도가 기준이었고 1970년대 이후부터는 주행속도가 기준으로 사용되었다. 하지만 주행속도는 개별차량에 대한 운전자의 행태적 특성만을 반영하고 있고 직선부에 대한 모형개발이 이루어 지지 못하는 한계점을 보이고 있다.

따라서, 운전자의 운전행태 특성을 보다 잘 반영할 수 있는 설계일관성 평가지표의 개발이 필요한 시점이다. 본 연구에서는 기존의 설계일관성 평가지표인 주행속도와 새로운 평가지표인 차간거리와 속도편차를 이용한 도로의 안전성 평가방안을 모색하고자 한다.

Ⅱ. 선행연구 고찰

선행연구고찰에서는 기존의 설계 일관성 평가연구의 흐름과 국내연구 동향을 중심으로 간략히 정리하였다.

도로선형의 설계일관성 평가연구는 크게 두 가지 개념으로 연구가 진행되었다. 먼저 설계속도 기반모형은 AASHTO에서 사용되어 진 것으로 미국, 유럽 등지에 많이 사용되었다. 다른 하나는 최근 미국의 IHSDM[1] 연구개발을 비롯한 많은 연구에서 주행속도 기반모형을 사용하고 있다.

설계속도 개념은 고속도로의 기능적인 분류, 인접한 토지이용, 지형을 기초로 한 선택된 설계속도를 포함하고 있다. 이 설계속도는 운전자들이 기대하는 속도와 일치할 것이고 더구나, 고속도로의 타입에 따른 설계속도는 차량속도의 누적분포에서 높은 백분율 값을 가질 것이다.

이렇게 선택되어진 설계속도는 고속도로에서 기하구조 모양에 대한 최소값을 제공하는 데 사용되어진다. 설계속도개념의 가정은 도로의 모든 선형구간에 대하여 설계속도는 선택되어졌다는 것이다. 도로선형에서 개별적인 곡선들에서의 설계속도는 도로에서 운전자가 선택한 설계속도보다 같거나 높을 것이다. 고속도로 선형의 모든 요소에서 선택되어진 속도에 대한 생각은 운전자의 기대와 희망을 반영하는 것으로 승인되어야 한다는 것이다.

미국에서 적용하고 있는 설계속도의 가장 큰 문제점은 설계요소들에 대한 가장 최소의 속도라는 것이다. 설계속도는 최소곡선반경과 시거에 이용되어진다. 그러나 AASHTO에서는 가장 큰 값을 사용하기를 권고하고 있으나 경제적인 설계의 한 부분으로서 제공될 수밖에 없는 실정이다. 설계속도 개념의 한계점은 Krammes와 Glascock에 의해 밝혀졌다. 설계속도는 단지 평면곡선과 종단곡선부에서만 적용할 수 있지만, 직선부에는 적용할 수 없다. 그리고 직선과 곡선의 연결부에도 적용하기 어렵다. 만약 직선부가 충분히 길다면, 운전자는 직선부의 끝부분에서의 곡선부의 설계속도보다 더 높은 설계속도에 다다를 것이다.

세계 여러 나라에서 도로의 선형 설계일관성을 평가할 때 설계속도기준 뿐만 아니라 주행속도 기준도 많이 사용하고 있다. AASHTO에서는 주행속도를 양호한 날씨에 한산한 교통

1) IHSDM : Interactive Highway Safety Design Model

조건에서 운전자가 운전할 때의 최고속도라 정의하였다. 여기에서는 설계속도로 결정된 안전속도를 초과하지 않는 범위 내를 말한다.

그러나, Krammes et al.(1995)은 이러한 정의의 해석과 이용이 어렵다고 생각하였다. 관찰되어진 운전자들이 직접 차량을 운행하는 속도를 운행속도라고 정의하는 것이 낫다고 판단하였다. 미국에서는, 85백분위 속도(V_{85})를 특정지점에서의 주행속도에 대한 표준 예측치로 쓰고 있다.

설계의 일관성을 알아보기 위해 사용하는 주행속도의 또 다른 하나의 방법은 Speed-Profile[2]을 이용하는 것이다. speed-profile model은 도로의 선형을 따라 속도의 불일관성을 나타내는 지점을 찾아내는 데 사용된다. speed-profile은 종축에 주행속도를 횡축에 도로의 거리를 취해서 좌표로서 나타낸다. 설계의 불일관성은 연속적인 선형의 모양들에서 주행속도에서의 큰 차이를 보일 때 speed-profile에서 쉽게 찾아낼 수 있다.

도로선형 설계일관성에 대한 국내연구는 대부분 곡선부의 주행속도를 추정하는 것이 주를 이루고 있다. 기존연구의 주요관점별, 연도별로 살펴보면 1998년 최재성의 주행속도추정연구로부터 2004년 김용석의 긴 직선과 곡선의 연결구간에 대한 연구로 이어져 오고 있다.

기존 연구의 한계점들을 크게 3가지로 요약정리하면 다음과 같다.

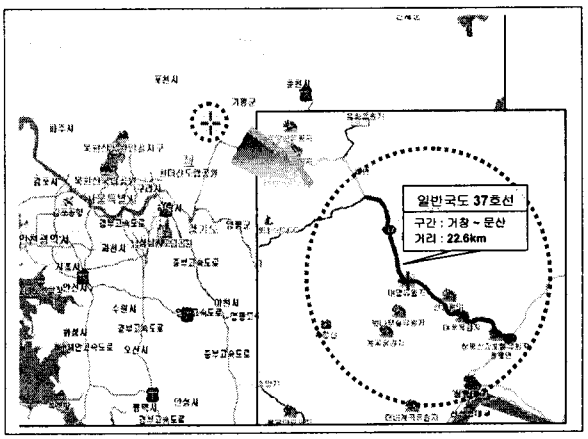
첫째, 주행속도 평가모형은 개별차량의 운전행태만을 반영하기 때문에 일반적인 차량흐름인 차량군 일 때의 운전행태를 반영하기 어렵다.

둘째, 주행속도 평가모형에서는 주로 곡선부에 대한 연구가 중심으로 이루어져 왔지만 직선부에 대한 모형은 개발하지 못하였다.

셋째, 사고와 관련성이 높은 요인들, 즉 속도편차, 차간거리, 차두간격(headway)을 고려하는 연구가 미흡하였다.

III. 자료의 수집

기하구조요소별 운전자의 운전행태 특성변화를 살펴보기 위하여 기하구조의 변화가 심하고 교통량이 많은 도로구간인 국도37호선의 22.6km에 NC-97검지기를 설치하여 자료를 조사하였다. NC-97검지기를 이용하여 얻고자 한 운전자 특성자료는 차두간격, 속도, 차간거리, 점유율 등이다. 그러나, 차간거리는 운전자의 특성에 영향을 많이 받기 때문에 『직선부+곡선부』를 하나의 단위구간(set)으로 동일한 차량을 측정하여 운전자에 대한 영향을 최소화하였다.



<그림 1> 자료수집 대상지역

검지기를 통해 조사된 자료는 모형을 만들기 전에 이상치를 제거하는 과정을 거쳤다. 이상치 제거 방법은 원시자료의 개수를 가장 적게 제거하는 방법인 MAD(중위 절대편차)[3]를 이용하였다.

MAD의 기본식은 (식 1)과 같다.

$$MAD = 1.4826 \times median \| x_i - x_{med} \| \quad \text{(식 1)}$$

여기서,

x_i = 변수 x의 관측값

x_{med} = 변수 x의 중위값

1.4826 = MAD를 정규분포에 대한 표준편차와 같도록 만들어 주는 수정계수(Correction factor)

본 연구에서 개별차량 집단과 차량군 집단으로 구분하여 모수통계분석이 가능한 변수를

2) speed-profile model은 도로선형 설계일관성을 한눈에 파악하기 위하여 y축에 주행속도를 x축에 도로거리를 나타내어 속도가 갑자기 일관성을 가지지 못하는 지점을 찾기 위해 고안된 선형 설계일관성 평가방법의 하나임.

3) MAD는 Median Absolute Deviation의 약어로 중위수에서 떨어진 비율을 이용하여 이상치를 제거하는 방법임.

K-S(Kolmogorov-Smirnov)검증을 통하여 분석하였다. 개별차량집단과 차량군집단의 구분은 Vogel(2002)과 하태준(2002)연구에서와 같이 차두간격(headway) 6초를 기준으로 차두간격이 6초 이상일 때를 개별차량 집단으로 6초미만 일 때는 차량군 집단으로 구분하였다. 아래에 K-S 검증 결과를 나타내었다.

<표 1> 개별차량 집단 K-S 검증결과

	headway	spacing	속도차	speed
N	150	150	142	150
Normal Parameters[a,b] Mean	2.5858	5.4355	1.7605	4.1306
Std. Deviation	.45199	.53978	1.00612	.23249
Most Extreme Absolute	.148	.094	.052	.152
Differences Positive	.148	.094	.038	.106
Negative	-.131	-.089	-0.52	-.152
Kolmogorov-Smirnov Z	1.811	1.155	.625	1.865
Asymp. Sig.(2-tailed)	.003	.139	.830	.002

a. Test distribution is Normal.
b. Calculated from data

개별차량 집단의 정규성을 검증하기 위한 가설설정은 아래와 같다.

H_0 : 개별차량 집단은 정규분포를 따른다.
H_1 : 개별차량 집단은 정규분포를 따르지 않는다.

개별차량 집단의 경우에는 속도차이의 경우에만 귀무가설을 기각하지 못하고 채택하여 정규분포를 따르는 것으로 나타났다. 따라서 기존의 주행속도를 이용한 모형식의 개발이 타당하다고 판단된다.

<표 2> 차량군 집단 K-S검증 결과

	속도차이	Speed	headway	spacing
N	665	665	665	665
Normal Parameters[a,b] Mean	7.6854	64.9453	.7667	3.6461
Std. Deviation	8.57086	10.12142	.49115	.51158
Most Extreme Absolute	.185	.086	.236	.082
Differences Positive	.172	.086	.199	.070
Negative	-.185	-.081	-.236	-.082
Kolmogorov-Smirnov Z	4.769	2.228	6.085	1.510
Asymp. Sig.(2-tailed)	.000	.000	.000	.132

a. Test distribution is Normal.
b. Calculated from data

같은 가설검증방법으로 차량군 집단의 경우에는 차간거리(spacing)의 경우에만 정규분포를 따르는 것으로 나타났는데 자연로그로 대수변환 한 ln(spacing)변수를 이용할 경우 모수통계를 이용한 분석방법에는 별 무리가 없을 것으로 판단된다.

Ⅳ. 평가모형의 개발

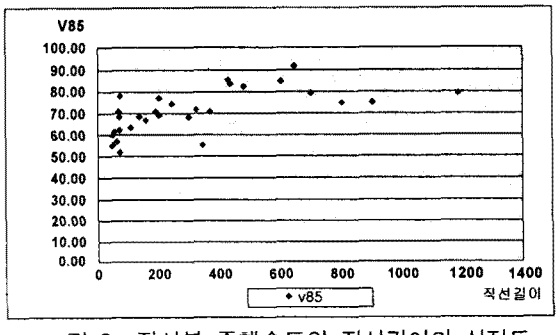
일반적으로 도로가 한산하여 앞 차량에 영향을 받지 않는 즉, 추종상태가 아닐 경우에는 운전자들은 차량의 속도를 유지하면서 운행하는 경향이 강하다. 하지만 앞 차량에 영향을 받는 추종상태에서는 앞 차량과의 거리를 일정하게 유지하면서 운행하는 경향으로 나타나고 있다. 따라서 앞서 K-S 검증에서도 나타났듯이 개별차량집단에서는 주행속도차이로 차량군 집단에서는 차간거리를 이용하여 도로선형의 일관성을 평가하는 지표를 개발하고자 하였다.

본 연구에서는 개별차량 집단과 차량군 집단으로 나누어서 각각 직선구간과 곡선구간의 모형식을 개발하였고 사고와 상관관계가 가장 높은 속도편차를 이용한 모형식도 개발하였다.

1. 개별차량집단의 주행속도 모형식개발

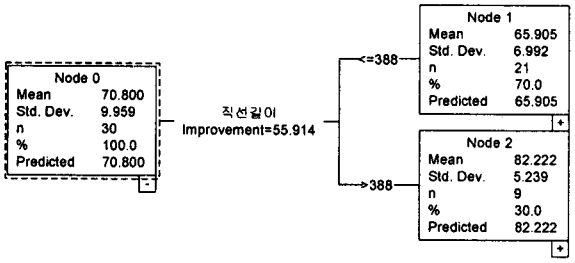
1) 직선구간

아래의 <그림 2>에서 보는 것과 같이 도로의 기하구조요소들 즉, 종단경사, 직선길이, 차로폭, 길어깨폭의 각 요소들과 주행속도 간에는 일정한 규칙성을 나타내지 않은 것으로 분석되었다. 이는 미국의 IHSDM의 연구결과와도 동일한 것으로 나타났다.

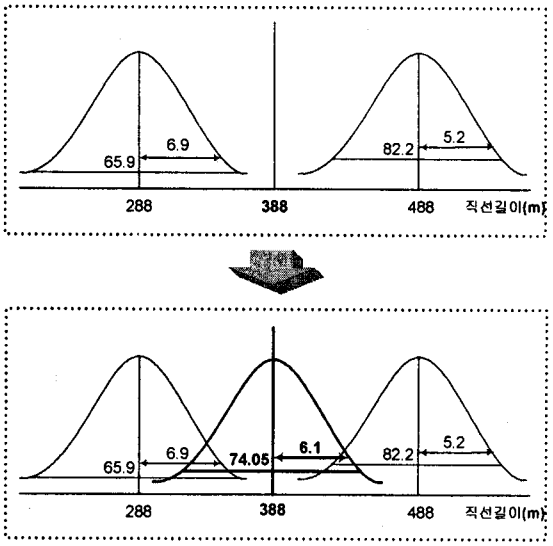


<그림 2> 직선부 주행속도와 직선길이의 산점도

CART[4]분석 결과에서 나타나듯이 직선길이의 경우 약 400m를 전후로 하여 주행속도자료가 양분화 되는 것을 확인 할 수 있다. 즉, 400m미만의 주행속도가 더 낮은 것으로 나타났다.



<그림 3> CART분석 결과



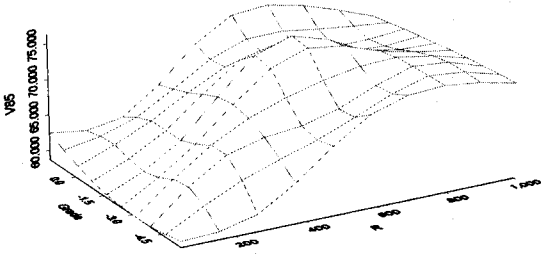
따라서, 기존의 연구에서 제시한 직선길이에 상관없이 하나의 권장 주행속도를 주기보다는 위에서 보는 것과 같이 직선길이별로 3개의 범위에 따른 주행속도를 주는 것이 보다 나은 방안이다.

<표 3> 직선길이의 범위별 주행속도

직선길이 구분	주행속도(V_{85})
0 ~ 300 m	65.9km/h
300 ~ 500 m	74.1km/h
500m이상	82.2km/h

2) 곡선구간

곡선구간의 주행속도 예측연구는 오래 전부터 되어 오고 있지만 현재의 연구주안점은 주행속도 예측 시 종단선형과 평면선형을 동시에 고려하는 것이다. 아래 <그림 4>는 주행속도가 곡선반경과 종단경사의 영향을 동시에 받고 있음을 잘 보여주고 있다.



<그림 4> 주행속도의 3차원 분석그래프

본 연구에서는 도로용량편람에서 제시하는 2가지 종단경사의 범위기준으로 회귀모형을 개발하였다.

<표 4> 종단경사별 주행속도 회귀모형식

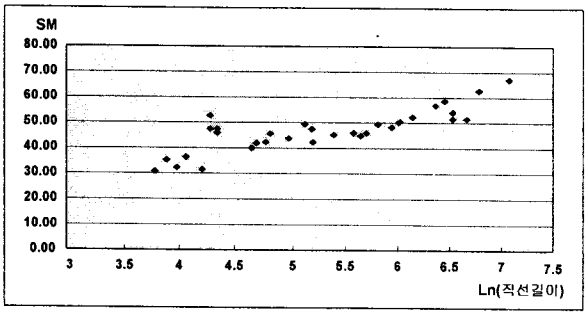
종단경사구분	회 귀 모 형
0~2%경사구간	$y = 26.592 + 5.53\ln(x_1) + 1.838x_2$ $R^2 = 0.788$ (7.3) (3.6) 여기서, y : 곡선부주행속도, x_1 : 곡선반경, x_2:편경사 ( ) : t통계값
-5~0%경사구간	$y = 43.658 + 4.036\ln(x)$ $R^2 = 0.728$ (4.9) 여기서, y : 곡선부주행속도, x : 곡선반경, ( ) : t통계값

2. 차량군 집단의 차간거리모형식 개발

1) 직선구간

차량군 집단의 경우 차간거리(SM)를 이용하여 기하구조요소와의 관계를 살펴보고 모형식을 개발하였다. 차간거리는 직선부의 길이와 상관관계가 높게 나타났고 비교적 모형의 적합도가 높은 모형이 도출되었다.

4) CART(Classification and regression tree)분석은 데이터마이닝 기법의 하나임



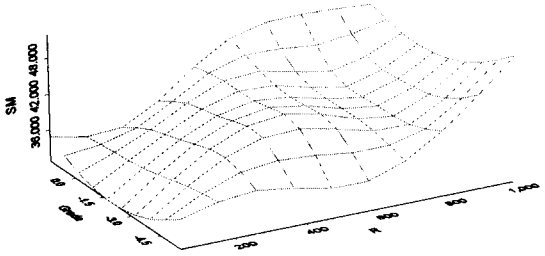
<그림 5> 차간거리와 ln(직선길이)의 산점도

$$y = 8.89 + 7.08\ln(x) \qquad R^2 = 0.679 \qquad \text{(식 2)}$$
$$\quad (8.1)$$

여기서, y : 차간거리 SM, x : 직선길이
( ) : t통계값

2) 곡선구간

곡선구간의 차간거리 지표를 통한 모형식도 앞서 주행속도와 마찬가지로 종단선형과 평면선형을 동시에 고려하는 것에 주안점을 두어 모형식을 개발하였다.



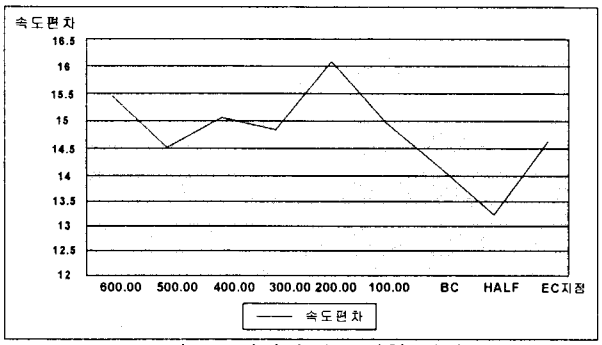
<그림 6> 차간거리의 3차원분석 그래프

<표 5> 종단경사별 차간거리 회귀모형식

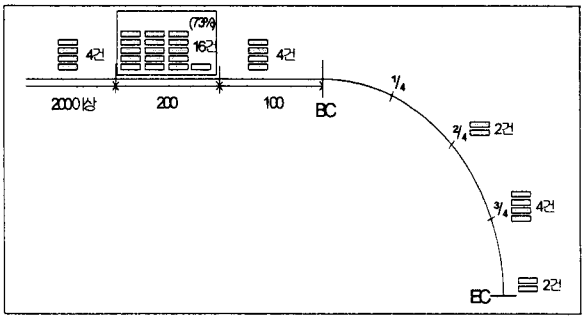
종단경사 구분	회 귀 모 형
전체 경사 구간	$y = 17.12 + 4.82\ln(x_1) + 0.884x_2 - 2.275x_3$ $R^2 = 0.758$ (8.1) (2.5) (−2.2) 여기서, y : 차간거리(SM), x_1 : 곡선반경, x_2 : 종단경사 x_3 : 굽은방향(0 : 왼쪽, 1 : 오른쪽) ( ) : t통계값
0~2% 경사 구간	$y = 21.754 + 4.366\ln(x_1) - 3.297x_2$ $R^2 = 0.758$ (6.0) (−2.5) 여기서, y : 차간거리(SM), x_1 : 곡선반경 x_2 : 굽은방향(0 : 왼쪽, 1 : 오른쪽) ( ) : t통계값
-5~0 % 경사 구간	$y = 5.90 + 5.912\ln(x)$ $R^2 = 0.803$ (6.4) 여기서, y : 차간거리(SM), x : 곡선반경 ( ) : t통계값

3. 속도편차를 이용한 모형식 개발

사고와 가장 관련성이 높은 지표로 제시되고 있는 것은 속도의 편차라는 것은 이미 알려진 사실이다. 하지만, 기존의 선형 설계일관성의 평가지표에는 속도의 편차를 고려하지 않고 있다. 따라서 기하구조에 따른 속도편차의 변화의 상관성을 밝혀 도로의 선형 설계일관성 평가지표로 개발하고자 하였다. 속도편차와 사고와의 관계를 현장의 조사된 자료의 각 지점별 속도변화와 속도편차의 변화를 살펴보았다. 이를 위해 88올림픽 고속도로의 5년간 사고이력자료를 토대로 각 기하구조에 따른 사고현황을 비교·분석하였다.



<그림 7> 지점별 속도편차 변화



<그림 8> 각 지점별 사고발생건수

<표 6> 속도편차 회귀모형 결과

구 분		회 귀 모 형 식
전체자료		$y = 1.90 + 2.39\ln(x)$ $R^2 = 0.61$ (4.6) 여기서, y: 속도편차, x : 직선길이 ( ) : t통계값
곡선반경 구분	400m 이하	$y = 1.64 + 2.51\ln(x)$ $R^2 = 0.66$ (5.2) 여기서, y: 속도편차, x : 직선길이 ( ) : t통계값
	400m 초과	$y = 2.50 + 2.10\ln(x)$ $R^2 = 0.57$ (3.8) 여기서, y: 속도편차, x : 직선길이 ( ) : t통계값

V. 모형의 검증 및 설계기준 정립

1. 모형의적합성검증

모형을 개발한 후 그 모형이 어느 정도 잘 개발되었는지 모형의 적합성을 검증하게 된다. 본 연구에서는 전체자료의 90%로 모형을 개발하고, 나머지 10%로 모형의 적합도를 검증하였다. 모형의 검증방법은 Theil의 부등계수, MPB, MAD 등을 모두 사용하였다. MPB를 보면 예측값이 실측값보다 1.6~3.96정도 예측치보다 많이 예측됨을 나타내고 Theil부등계수는 0에 가까울 수록 실측치와 예측치가 적합함을 나타는 것으로 본 모형의 적합도는 상당히 높다고 볼 수 있다.

<표 7> 개별차량 모형의 적합도 결과

구 분		MPB	MAD	Theil부등계수
직선구간	평균	3.53	8.07	0.06
	구분평균	-0.10	2.63	0.02
곡선구간	전체식	-3.75	3.75	0.04
	경사구분	-1.95	3.88	0.03

<표 8> 차량군 모형의 적합도 결과

구 분		MPB	MAD	Theil부등계수
직선구간	전체식	1.6	6.6	0.07
곡선구간	전체식	3.96	3.96	0.03
	경사구분	3.27	3.27	0.03

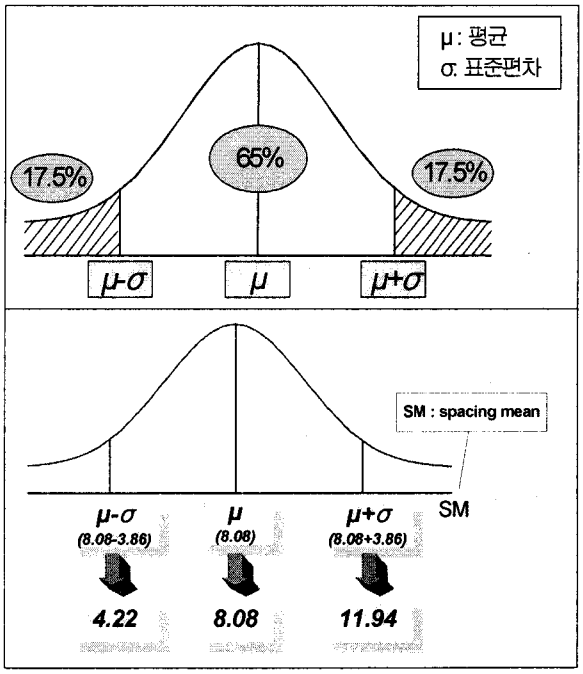
<표 9> 속도편차 모형의 적합도 결과

구 분		MPB	MAD	Theil부등계수
속도편차	전체식	-0.76	0.93	0.05
	반경구분	-0.71	0.93	0.05

2. 설계기준 정립

본 연구에서 평가지표로 선정된 속도와 차간거리는 K-S검증에서 정규성을 모두 띠고 있는 것으로 나타났다. 따라서 정규분포의 특성을 이용하여 평가기준 범위의 3개 수준(good, fair, poor)을 나누는 기준으로 삼았다. 즉, 아래의 <그림 9>와 같이 가장 일반적으로 일어나기 쉬운 확률을 가지는 부분이 (평균±표준편차) 부분이다. 이 부분을 fair(보통 수준)로 그 윗부분과 아랫부분을 poor(열악한 수준), good(양호한 수준)으로 나누는 것이다.

따라서, 주행속도는 일반적으로 알려진 평가기준을 이용하고 새로 개발된 차간거리와 속도편차의 평가기준은 아래의 <표 10>,<표 11>에 나타내었다.



<그림 9> 정규분포의 특성

<표 10> SM의 설계일관성 평가기준

설 계 수 준	평 가 기 준
good	$\Delta SM \leq$ 4m
fair	4m < $\Delta SM \leq$ 12m
poor	12m < ΔSM

주) ΔSM은 n구간 평균차간거리에서 n+1구간 평균차간 거리를 뺀 차이 값

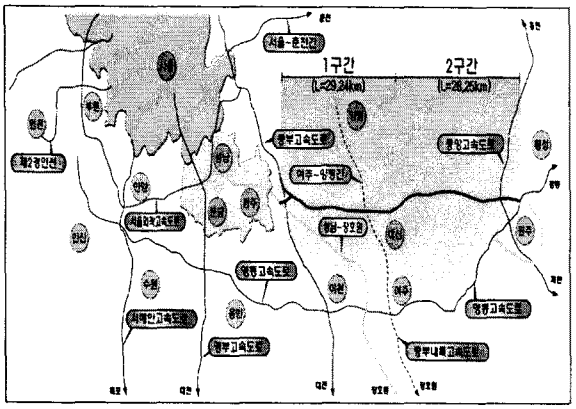
<표 11> VD의 설계일관성 평가기준

설 계 수 준	평 가 기 준
good	VD ≤ 15 km/h
fair	15 km/h < VD ≤ 19 km/h
poor	19 km/h < VD

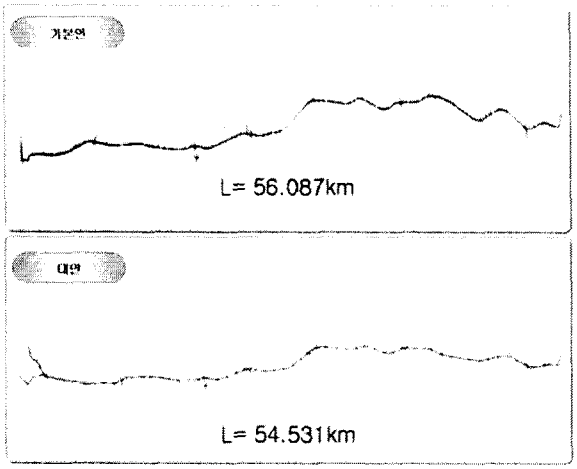
VI. 사례연구

본 연구에서 제시한 평가지표들의 실제 적용성을 살펴보기 위해 국내 고속도로 노선설계 대안들을 평가하였다. 연구대상지역은 시점을

경기도 광주시 초월면 신월리로 하고 종점을 강원도 원주시 우산동으로 하는 제2영동고속도로를 대상구간으로 하였다. 본 연구에서는 2차로 도로에 대한 안전성 평가기준을 제시하고 있지만, 현재 2차로를 신설하거나 개선하는 사업이 없는 관계로 4차로 구간을 부득이 사례연구지역으로 삼았음을 밝힌다.



<그림 10> 사례연구 지역



<그림 11> 기본안, 대안 분석구간 개요

아래의 <그림 12>기본안 및 대안의 profile 분석결과를 살펴보면, 기존의 주행속도 평가방법에서는 기본안과 대안의 차이가 확실하게 구분되지 않는다. 그 이유는 직선부의 주행속도의 예측 모형식이 개발되지 못하기 때문이다. 반면 차간거리(SM)과 속도편차(VD)에서는 기본안과 대안의 차이가 비교적 명확하게 나타난다. 대안이 기본안보다 poor구간이 더 적은 것으로 나타나 도로의 안전성이 높은 것으로 평가할 수 있다.

결과에서 보듯이 새로운 평가지표인 차간거리와 속도편차는 기존이 주행속도지표와 함께 사용하면 더욱 합리적인 평가가 가능할 것으로 보인다.

VII. 결 론

도로의 안전성을 높이고자 하는 노력은 소득수준과 사회문화적 수준이 올라갈수록 더욱 더 가속화 될 것이다. 도로 설계 시 운전자의 운전행태 및 기대심리를 잘 반영할 수 있을 때 보다 안전하고 효율적인 도로를 설계하고 건설할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 도로의 선형 설계일관성을 평가하기 위한 새로운 지표인 차간거리와 속도편차를 제안하였다.

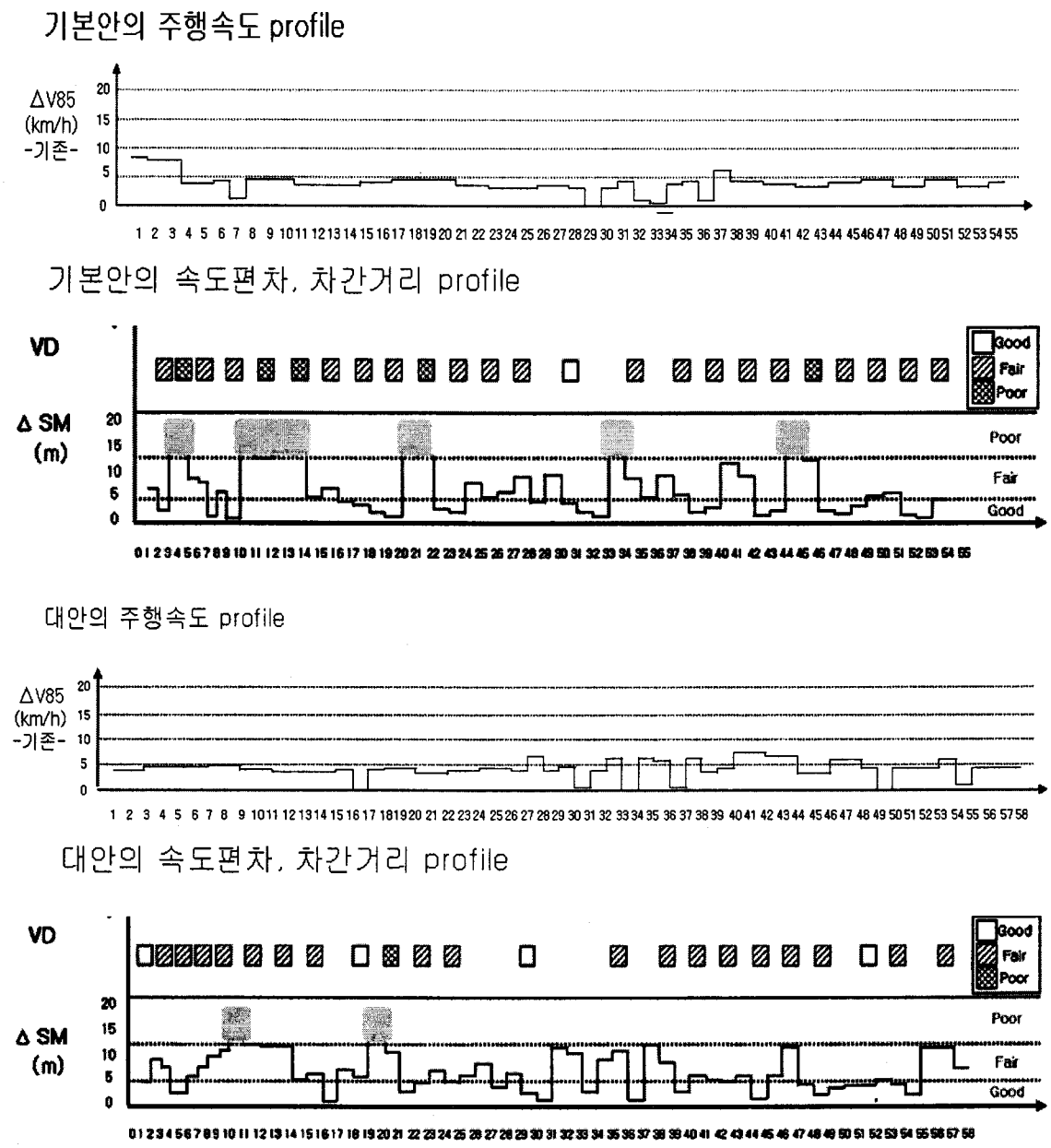
제안된 평가지표들은 기존의 지표인 주행속도의 한계점을 보완하여 신설도로의 설계단계뿐만 아니라 기존도로의 선형 설계일관성 평가에 활용하여 운전자의 안전성을 향상시킬 것으로 기대된다.

향후연구에서는 도로의 운행특성을 보다 잘 반영할 수 있는 방향으로 연구를 확장해 나아가야 한다. 예를 들어 승용차뿐만 아니라 중차량을 포함하는 연구와 4차로이상의 도로를 대상으로 하는 연구가 수행되어야 하겠다.

참고문헌

1. 오주택(2004), "도로설계시 안전성 평가모형 개발을 위한 기초연구", 교통개발연구원.
2. 이점호(2000), "설계일관성 분석을 통한 도로 선형 설계의 일관성 평 가 연구", 서울시립대학교 대학원 박사학위논문.
3. 정준화(2001), "주행속도를 이용한 도로의 평면선형 안전성 평가모형 개발", 서울대학교 대학원 박사학위논문.
4. 최재성(1998), "도로선형에 대한 설계 일관성 평가모형의 개발", 대한교통학회지, 제16권 제4호.
5. 하태준 외(2002), "지방부 2차로 안전성 평가에 관한 연구", 대한교통 학회지 제20권 제1호.
6. 하태준 외(2003), "가속도를 고려한 도로의 설계일관성 평가기법에 관한 연구", 대한 교통학회지 제21권 제1호.
7. Helmut T. Zwahlen(1993), Optimal Application and Placement of Roadside Reflective Devices for Curves on Two-Lane Rural Highways, FHWA/OH-94/011, Industrial and Systems Engineering of Ohio University, Ohio DOT.
8. Kataja Vogel(2003), "A comparison of headway and time to collision as safety indicators", Accident analysis & prevention 35.

9. Katja Vogel(2002), "What characterizes a "free vehicle" in an urban area?", Transpotation research part F 5.
10. R. Lamm et. al.(1998), "Recommendations for Evaluating Horizontal Design Consistency Based on Investigations in the States of the New York", TRR 1122, TRB.
11. R. Lamm et. al.(1999), Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook, Mcgraw-hill.



<그림 12> 기본안 및 대안의 profile 분석결과