

개별차량의 주행행태를 이용한 설계일관성 평가 방법에 관한 연구

Research for the Method of Design Consistency Evaluation Using Individual Driving Behavior

손영태* · 김철기**

Son, Young Tae · Kim, Chul Ki

Abstract

This study has been developed the way that evaluates the road safety using the speed of individual vehicles at curve sections in 2-lane rural highways. For this study, we developed variation of operational speed for the individual vehicle using the speed of vehicles in 96points of selected roads. Drawing out of variation of operational speed for the individual vehicle, estimation models for speed variation of individual vehicles considering horizontal alignments and vertical alignments of the roads have been developed. These models presents the way to evaluate road safety out of the operational speed and acceleration of individual vehicles. Considering safety and based on the results of these study above, some regular spots are ranked by "good", "fair", "bad". The results that this study showed in this paper could be useful to derive some particular spots that needs to be improve in terms of safety.

Keywords : individual vehicle, design consistency, safety evaluation

요 지

본 연구에서는 지방부 2차로 도로(평면 곡선부)에서의 개별차량 속도를 이용하여 도로의 안전성 평가 방법을 개발하였다. 이를 위해 선정된 96개 지점의 차량속도를 이용하여 개별차량의 주행 속도변화를 추출하였으며, 추출된 속도자료를 이용하여 도로의 평면선형과 종단선형을 고려한 예측 모형식을 개발하였다. 또한 모형을 활용하여 추정된 개별차량의 속도와 개별차량의 가속도를 이용하여 도로의 안전성을 평가하는 방법을 제시하였으며 두 가지 방법으로 도출된 결과를 종합적으로 판단하여 일정 도로구간의 안전성을 양호, 보통, 열악의 세 단계로 평가하도록 하였다. 본 연구에서 제시한 안전성 평가 방법은 추후 안전성 측면에서 개선이 필요한 지점을 도출하는데 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 개별차량, 설계일관성, 안전성 평가

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 도로는 기하구조의 개별적 구성요소(평면 선형, 종단 선형, 횡단면 등)에 대해 각 요소별 충족시켜야 하는 최소설계기준이 존재하며, 이를 바탕으로 설계자들은 각 요소에 부합되도록 도로를 건설하고 있다. 모든 요소별로 설계 기준을 만족시킨 도로는 안전해야 하지만 도로 주행 시 운전자가 느끼기에 안전하지 않은 구간들이 존재한다.

이는 도로의 환경(기하구조 및 교통류 특성 등)을 종합적으로 고려하지 않고 도로를 세부 구간별로 개별적인 요소에 대한 최저 기준만을 고려하여 설계하였기 때문에 발생하는 문제이다. 따라서 도로를 전체구간에 대해 종합적으로 판단하기 위해 평면 선형, 종단 선형 등을 통합한 도로안전성 평가 방

법이 필요하며, 설계 조건들이 전체 구간에 대해 일관성을 최대한 유지할 수 있는 방안을 모색하는 것이 중요하다.

이를 위해 기존의 연구들은 차량이 직선부에서 곡선부로 진입하는 속도, 곡선부 내에서의 속도와 진출속도를 비교하여 속도의 차이로 설계일관성을 평가하는 방법을 주로 사용하고 있으며, 차량의 속도로 평균적인 값(주로 85th percentile 속도가 사용됨)을 사용하고 있다. 이는 도로를 운행하는 전체 운전자의 평균적 주행특성을 나타낸 것으로 개별 운전자들의 행태를 반영하는 데에는 미흡한 점이 있다. 따라서 설계일관성을 평가하고 도로의 안전성을 판단하기 위해서는 개별차량의 속도변화를 반영하여 평가하는 것이 필요하리라 판단된다.

이에 본 연구에서는 곡선부 진입전과 곡선부내에서의 개별 차량 속도차이를 구하고 차량의 속도 변화 및 가속도를 이

*정회원 · 교신저자 · 명지대학교 교통공학과 교수 (E-mail : son@mju.ac.kr)
**명지대학교 대학원 교통공학과 석사과정 (E-mail : ironmoney@hanmail.net)

용하여 도로의 안전성을 평가함을 목적으로 한다. 또한 두 가지 평가 결과를 통합하여 종합적인 도로 안전성을 평가할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

1.2 기대효과

본 연구 결과로 기대되는 효과는 첫째, 단기적으로는 설계 및 운영 중인 도로의 안전성을 평가하는 데 활용함으로써 도로 안전 개선 사업 평가 시 우선순위 결정에 객관적 평가 척도로 활용될 수 있으리라 판단되며, 둘째, 도로의 기하구조를 종합적으로 고려한 도로 설계기준 작성 및 연구등에 초석이 될 것으로 예상된다.

2. 관련문헌 고찰

Gibreel et al.(1999)은 설계 일관성을 평가하는 방법을 그림 1과 같이 제시하고 있다. Gibreel et al.(1999)은 설계 일관성을 평가하는 방법을 크게 속도특성에 의한 방법(Speed Considerations), 안전특성에 의한 방법(Safety Considerations), 운전 특성에 의한 방법(Performance Considerations) 등 3가지로 구분하였다.

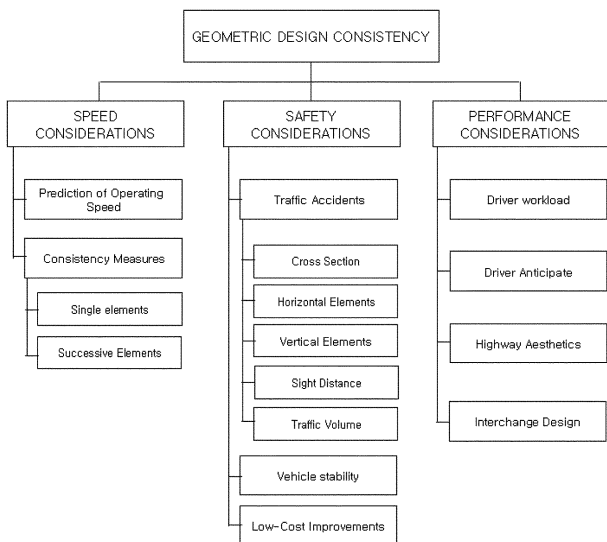


그림 1. 설계 일관성을 평가하는 방법

이에 본 연구에서는 그림 1에서 제시한 방법 중 속도 특성에 의한 방법을 기본으로 국내에서 활용 가능한 도로 안

전성 평가 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해 속도기반 설계일관성 평가와 관련된 국내·외 연구사례를 살펴보면 다음과 같다.

정준화(2000)는 왕복 4차로 도로 중 종단경사가 3% 미만인 4개 지점을 대상으로 종속변수를 80~90 백분위 평균속도를 사용하여 설계 일관성에 대해 연구하였다. 이때 속도 추정을 위해 도출된 모형에 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.

이종필과 김성호(2002)의 '주행속도 예측을 위한 모형개발'에서는 2차로도로를 대상으로 평면 곡선부 85백분위 속도를 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.

하태준과 이석(2002)의 '지방부 2차로 안전성 평가에 관한 연구'에서는 도로 선형 안전성 평가를 속도 차이를 이용한 방법, 에너지 차를 이용한 방법, 가속도를 이용한 방법으로 나누어 비교하고, 최종적으로 사고 자료를 통해 평가 방법들의 설명력을 비교하였다.

원제무(2007)의 '안전 측면의 도로 선형 설계 일관성 평가 기준 개발에 관한 연구'에서는 기존의 도로 선형의 설계 일관성 평가 방법인 단독 차량에 대한 주행 속도의 변화 대신 차량군에 대한 차량거리의 변화를 고려하여 평면선형이 직선인 곳과 곡선인 곳의 속도 추정 모형식을 개발하였다.

Krammes et al.(1995)의 연구에서는 1993년 미국 5개 주에서 138개의 표본을 조사하여 '1/R' 형태의 독립변수를 이용한 속도 추정 모형식과 평면곡선길이와 교각까지도 포함한 모형을 각각 식 (1), 식 (2)와 같이 제시하였다.

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

$$V_{85} = 102.45 - \frac{2741}{R} + 0.0037L - 0.10\theta \quad (2)$$

여기서, R : 평면곡선반경(m)

L : 평면곡선길이(m)

θ : 교각(°)

Lamm, Guenther와 Choueiri(1995)는 1986년 미국 뉴욕

표 1. 속도기반 설계일관성 평가 관련 문헌

		안전성 평가 지표	특징
국내	정준화(2000)	80~90백분위 속도	R, 1/R, 지수 함수형, 2차함수형 모형 구축
	이종필 등(2002)	85백분위 속도	인공 신경망 이론 적용
	박영진(2002)	개별차량의 85백분위 속도	최대속도차 추정모형, 차로내 횡방향 위치편차 모형, 횡방향 미끄럼 마찰계수차 추정모형
	원제무(2007)	차량군에 대한 차량거리의 변화	차간거리의 평균거리를 이용하여 설계수준을 good, fair, poor로 구분
국외	Krammes et al. (1994)	85백분위 속도	독립변수로 1/R, 곡선길이, 교각
	Lamm et al. (1995)	85백분위 속도	1/R 형태의 모형 구축
본연구		개별차량의 85백분위 속도 개별차량의 속도의 거리변화율	종단선형조건에 따라 그룹을 나누어 각각의 모형 추정

에서 261개의 표본을 조사하여 주행속도에 영향을 미치는 변수 중 곡률을 고려한 속도예측 모형을 제시하였다.

$$V85 = 93.87 - \frac{3171}{R} \quad (R^2=0.787) \quad (3)$$

여기서, R : 평면곡선반경(m)

R^2 : 결정계수

박영진(2002)은 속도차를 근거로 도로선형의 안전성을 판단하는 기준을 제시한 선행연구들(Lamm et al., 1987a, 1987b, 1988, 1991, 1999; Choueiri et al., 1987a)은 모두 집계적인 방법으로 추정된 속도차를 기준으로 하였으며 비 집계적 방법인 개별차량의 속도차이는 선행연구에서 제시한 평가기준을 그대로 적용하는 것은 합리적이지 않다고 판단하여 횡방향 위치편차, 횡방향 미끄럼 마찰계수차 등의 새로운 기준을 제시하였다.

한국건설기술연구원의 '도로 선형 및 노면 안전성 분석 모형 개발(RAFAM-RoS 1차년도, 2003)연구'에서 평면곡선반경이 200m인 지방부 2차로 도로를 공간적 범위로 하고, 차량간의 간섭이 주행속도에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 비침투 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/h 이상 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.

속도 기반의 설계 일관성 평가와 관련된 국내·외 문헌고찰 결과 도로의 안전성을 평가하는 방법에는 주로 운전자의 주행속도와 설계속도의 차이, 또는 직선부와 평면곡선부에서의 주행속도 차이를 이용하며, 주행속도 예측 모형식에 쓰이는 독립변수는 평면곡선반경이나 곡률이 주로 사용되었음을 알 수 있다.

본 연구에서는 평면곡선부의 주행속도 예측 모형식 구축에 사용되는 독립변수를 평면곡선반경을 비롯한 다른 기하구조까지 반영할 수 있도록 하였으며, 실제 개별 운전자가 겪는 속도 변화를 반영하여 도로의 안전성을 평가하고자 하였다.

3. 도로안전성 평가 방법

3.1 주행속도 자료 수집 및 데이터 처리

3.1.1 조사 대상지점

주행속도 자료 수집을 위한 지점은 일반국도 왕복 2차로 도로를 대상으로 하였으며 다음 표 2와 같이 지점선정 기준에 부합되는 96개 지점을 선정하였다.

표 2. 조사 대상 지점 선정 조건

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

선정된 지점의 기하구조별 특징을 살펴보면 다음과 같다.

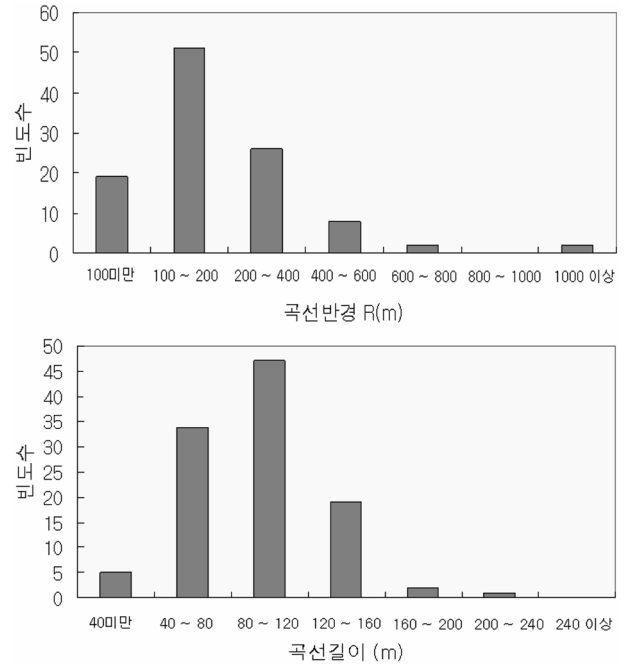


그림 2. 조사지점의 곡선반경 및 곡선길이 분포

곡선반경 R 은 100m 미만에서 1000m 이상까지 다양하게 분포하고 있으며, 이중에서 100~200m인 구간이 가장 많이 존재하였고 1000m 이상인 구간은 가장 적은 것으로 분석되었다. 곡선길이(L)의 경우 80~120m 구간에 가장 많이 분포되어 있고, 40m 미만이나 200m 이상인 구간은 거의 존재하지 않았다.

편경사는 5~6%가 가장 빈도수가 높았으며, 종단 경사의 경우 -6~5%로 다양하게 분포를 나타내고 있었으며, 그 중 -1~0%의 구간에서 가장 많은 빈도를 나타내는 것으로 파악되었다.

3.1.2 주행속도 자료 수집

선정된 조사지점에서의 차량 속도는 미국 'Nu-Metrics사'의 NC-97(이하 '검지기')을 이용하여 조사되었다. 검지기는 자기장 위로 통과하는 차량의 영향을 검지하고 이를 토대로 속도, 검지시간, 자동차 길이 등을 수집한다. 다음 그림 4는 조사지점의 검지기 위치를 나타낸 것이다. 곡선부 시작 100m 전 지점과 50m 전 지점, 곡선부 시점과 곡선부 1/4, 1/2, 3/4 지점, 곡선부 종점과 곡선부 종점

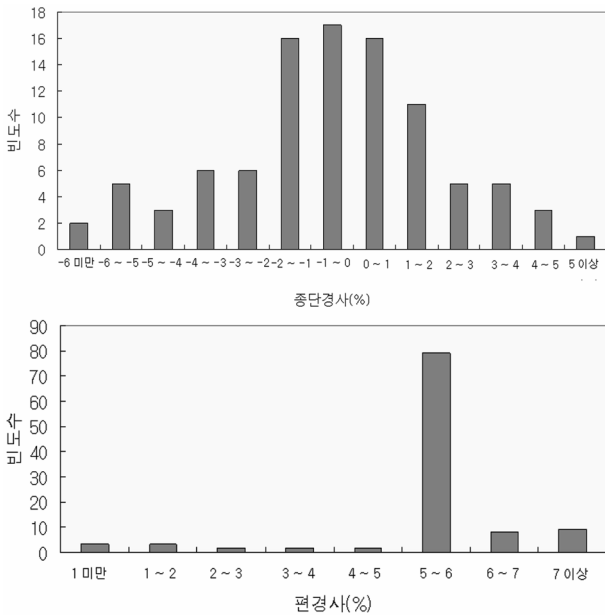


그림 3. 조사지점의 편경사 및 종단경사 분포

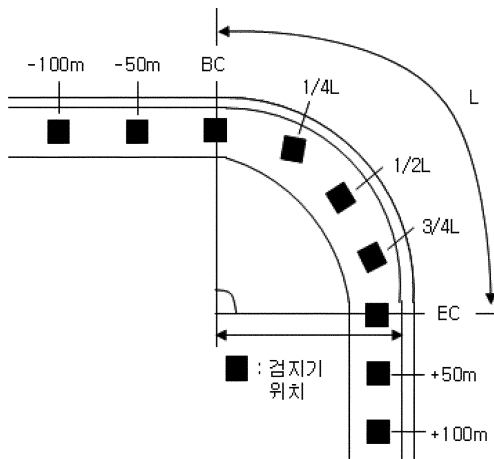


그림 4. 검지기 위치

50m 후방, 100m 후방의 총 9개 지점에 검지기를 설치하여 조사하였다.

3.1.3 개별차량 속도 추출방법

조사된 속도자료는 당시 도로의 특수한 상황(교통사고, 또는 경운기나 중장비 차량들의 이동)과 검지기의 검지오류, 차량의 추종 주행 등이 모두 포함된 자료이다. 따라서 개별 차량의 주행특성을 반영하기 위해서는 전후차량에 영향을 받지 않은 독립주행 차량만을 대상으로 할 필요가 있기에 이상치를 제거(필터링) 하였다.

자료의 필터링 과정은 다음과 같다. 우선 선행차량의 속도에 영향을 받지 않도록 차두시간이 6초 이하인 경우는 제외하여 다른 차량의 영향을 배제하였고, 차량 길이 정보에 따

표 3. 필터링 방법

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

라 차량길이가 5m 이하인 승용차만을 대상으로 하였으며 왕복 2차로 도로의 독립주행속도로 일반적이지 않은 30km/h 미만이나 130km/h를 초과하는 경우는 이상치로 간주하여 제외 하였다.

개별차량의 속도를 추출하기 위해서는 조사된 지점의 검지기 위치별 차량의 통과시간을 이용하여, 각 검지기 위치에서의 차량 속도와 다음 검지기 위치까지의 거리를 감안하여 적정 도달시간을 구한 후 그와 근사한 값을 갖는 자료를 선택하여 개별차량의 주행 궤적으로 판단하였으며, 이를 토대로 각 검지기 위치에 따른 개별차량의 속도를 추출하는 방식으로 하였다.

3.1.4 개별차량의 속도 추출 결과

개별차량의 속도를 추출하여 곡선부 진입속도와 곡선부 1/2 지점에서의 속도차이를 구하고 차량의 평균적인 속도인 85th percentile과 비교하였다. 다음 표 4는 전체 96개 지점 중 5개 지점을 선정하여 비교 결과를 예로 제시한 것이며 개별차량의 속도차이가 85th percentile 속도차이보다 더 큰 것으로 나타났다.

표 4. 속도차이 비교

지점 번호	85th percentile 속도차이 (km/h)	개별차량의 85th percentile 속도차이 (km/h)
1	7.0	12.0
17	11.0	17.85
29	2.0	15.9
44	3.4	14.0
87	2.3	12.2

3.2 개별차량의 속도차이에 의한 도로 안전성 평가 방법

개별차량의 곡선부 진입속도와 곡선부 1/2 지점에서의 속도차이를 구하는 예측 모형식을 구축하고 예측된 모형식으로부터 개별차량의 속도차이를 구하여 도로의 안전성을 평가하는 방법을 제시하였다.

3.2.1 개별차량의 속도차이 예측 모형식 개발

본 연구에서는 개별차량의 속도차이 예측 모형식 개발을 위하여 각 지점에서 개별차량의 곡선부 전방 100m 전 속도와 곡선부 1/2 지점 속도의 차이를 구한후, 그 값들의 85백분위 값을 종속변수로 하였다. 또한 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 통한 개별차량의 속도차이 예측 모형식을 개발하였다.

그러나 모형식 구축 결과 개별차량의 속도에 큰 영향을 줄 것으로 판단되는 종단경사 변수가 제외되어 모형식이 종단선형을 반영하지 못하는 문제점이 나타났다. 따라서 종단선형을 기준으로 몇 개의 그룹으로 나누어 각각의 그룹별로 속도차이 예측 모형식을 개발하여 종단선형을 반영할 수 있도록 하였는데, 평면선형과 종단선형이 복합적으로 나타나는 구간에 대해서 크게 평면선형-종단경사 구간, 평면선형-종단

곡선 구간으로 나누어 각각의 구간에 대한 속도차이 예측 모형식을 개발하였다.

평면선형-중단경사 구간과 평면선형-중단곡선 구간에 대하여 각각의 구간을 세분화 하여 평면선형-중단경사 구간은 중단경사가 -4% 미만, -4%~0%, 0%~4%, 4% 이상인 4개의 그룹으로 나누고 평면선형-중단곡선 구간에 대해서는 오목중단곡선(sag)과 볼록중단곡선(crest)로 나누어 각각의 그룹별 자료수는 다음 표 5와 같다.

표 5. 중단선형을 반영한 선형조건별 지점수

선형조건	지점수
중단경사 G < -4%	7
중단경사 -4% ≤ G < 0%	39
중단경사 0% ≤ G < 4%	27
중단경사 4% ≤ G	5
오목중단곡선(sag)	9
볼록중단곡선(crest)	9
합계	96

다음 표 6은 선형조건 그룹별 직선부와 곡선부 속도의 평균값을 구한 것이다. 평균값을 비교해 보면 각 그룹별로 직선부와 곡선부 평균속도의 차이가 있는 것으로 나타나 그룹을 나누어 분석하는 것이 더 합리적이고 정확한 주행속도 예측 모형식을 구축할 수 있으리라 판단된다.

표 6. 선형조건별 평균속도 비교

선형조건	직선부 평균 속도 (km/h)	곡선부 평균 속도 (km/h)
중단경사 G < -4%	62	58
중단경사 -4% ≤ G < 0%	67	63
중단경사 0% ≤ G < 4%	66	62
중단경사 4% ≤ G	61	58
오목중단곡선(sag)	63	62
볼록중단곡선(crest)	66	58

다음 표 7은 개별차량의 속도차이 예측 모형식을 구축한 결과이다. 표에 보여지는 모형식은 선택 가능한 모든 독립변수를 사용하여 회귀분석을 실행하고 유의성이 낮은 변수를 차례로 제거하는 방법을 사용하여 모형식을 구축하였다. 이 중, -4% 미만 그룹은 상수항의 유의성이 낮아 제외하였으며 곡률, 중단경사, 진입속도만 유의한 변수로 채택되었다. -4% 이상 0% 미만 그룹은 곡률과 진입속도만 유의한 변수로 나왔으며 0% 이상 4% 미만 그룹은 유의한 변수인 곡률, 중단경사, 진입속도를 사용하여 모형식을 구축하였다. 4% 이상 그룹은 상수항이 제외되었으며 중단경사와 진입속도만 채택되었으며 crest 그룹의 경우에는 곡률과 진입속도, 중단곡

선변화비율이 유의한 변수로 사용되었고 sag 그룹은 곡률과 곡선길이만 유의한 변수로 채택되어 모형식에 포함되었다.

표 7. 개별차량의 속도차이 예측모형식

	모형식	R 제곱
-4%미만	$\Delta V = -237.298 \times (1/R) + 3.263 \times (G) + 0.44 \times (X)$	0.958
-4%~0%	$\Delta V = -32.94 + 959.09 \times (1/R) + 0.564 \times (X)$	0.396
0%~4%	$\Delta V = -36.914 + 709.54 \times (1/R) + 433 \times (G) + 0.564 \times (X)$	0.475
4% 이상	$\Delta V = -5.387 \times (G) + 0.55 \times (X)$	0.936
crest	$\Delta V = -26.49 + 1436.17 \times (1/R) + 1.105 \times (X) + 0.041 \times (K)$	0.933
sag	$\Delta V = 699.358 \times (1/R) + 0.132 \times (L)$	0.921

ΔV : 개별 차량의 속도차이(km/h), R: 평면곡선반경(m), X: 진입속도(km/h), G: 중단경사(%), L: 곡선길이(m), K: 중단곡선변화비율(m/%)

3.2.2 개별차량의 속도차이에 의한 도로 안전성 평가 방법
본 연구에서 제시한 개별차량의 속도차이 예측 모형식을 이용하여 도로 평면곡선부의 개별차량 속도차이를 구하고 그 값을 박영진(2002)에서 제시한 개별차량의 속도차이를 이용한 도로 안전성 평가 기준 표 8에 적용하여 개별차량의 속도차이가 15km/h 이하이면 양호, 15km/h~30km/h 이면 보통, 30km/h 이상이면 열악으로 판단하였다.

표 8. 도로 안전성 평가기준(비집계적 방법)

구분	기준	도로 안전성 평가기준
양호		$\Delta V \leq 15\text{km/h}$
보통		$15\text{km/h} < \Delta V \leq 30\text{km/h}$
열악		$\Delta V > 30\text{km/h}$

3.3 개별차량의 속도의 거리변화율에 의한 도로 안전성 평가 방법

전술한 개별차량의 속도차이는 곡선길이의 장, 단을 고려하지 않아 운전자가 감속시 체감하는 강도를 반영할 수 없는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 직선부와 곡선부의 단순 속도차이에 의한 안전성 평가가 아니라 곡선부에 진입하면서 운전자가 감속하는 강도를 반영 할 수 있는 가속도를 사용하여 도로의 안전성을 평가하는 방법을 추가로 제안하기로 한다. 즉 개별차량의 속도차이와 곡선길이를 이용하여 곡선부 주행시 개별차량의 가속도를 구하고 그 값을 이용하여 도로의 안전성을 평가하는 것이다.

개별차량의 가속도를 구하기 위해서는 진입속도와 곡선부 속도 및 주행시간(또는 주행거리)이 필요하다(식 (4) 참조).

$$\text{가속도} = \frac{(\text{나중 속도})^2 - (\text{처음 속도})^2}{2 \times \text{거리}} \quad (4)$$

표 7의 개별차량의 속도차이를 구하는 예측 모형식으로부터 ΔV (개별차량의 진입속도와 곡선부속도의 차이)를 구할 수 있지만 ΔV 만으로는 진입속도와 곡선부 속도를 추정할 수 없으므로 가속도를 구하는데 어려움이 있다. 따라서 가속도의

개념을 대신할 수 있는 새로운 평가지표인 거리에 따른 속도의 변화, $\Delta V/\text{거리}$ (거리: 곡선길이/2)를 이용하여 도로의 안전성을 평가하기로 한다.

($\Delta V/\text{거리}$)를 이용하여 도로의 안전성을 평가하기 위해서는 평가기준을 선정하는 것이 선행되어야 하며 그 방법은 다음과 같다. 96개 지점의 ($\Delta V/\text{거리}$)값과 가속도를 구한 후 두 값 사이의 관계를 추정하여 기존의 연구¹⁾에서 제시된 표 9의 가속도를 이용한 안전성 평가기준에 추정된 관계를 적용하여 새로운 기준을 제시하는 것이다.

표 9. 가속도를 이용한 안전성 평가 기준

단위:	감속도
양호	0~1.48
보통	1.48~2.00
열악	>2.00

($\Delta V/\text{거리}$)값과 실제 가속도 값을 구하고 그 비율(($\Delta V/\text{거리}$)를 가속도로 나눈 값)을 구하여 그림 5와 같이 그래프로 나타내었다.

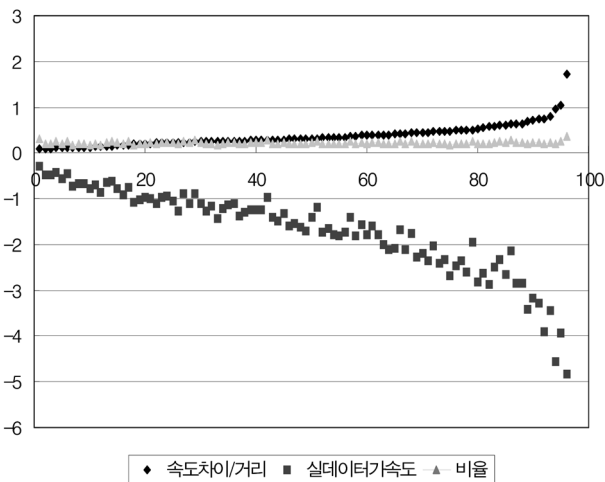


그림 5. ($\Delta V/\text{거리}$)와 실제 가속도의 비교

그래프에서 알 수 있듯이 실제로 ($\Delta V/\text{거리}$)값과 가속도 사이에는 일정한 관계가 있는 것으로 분석되었으며 ($\Delta V/\text{거리}$)와 실제 가속도의 비율을 구해보면 유사한 값이 나오는 결과가 나타났다. 이를 토대로, 본 연구에서는 산출된 평균 값을 이용하여 표 9의 기준에 비율을 적용하여 새로운 기준을 만들었으며 그 결과는 다음 표 10과 같다.

표 10. ($\Delta V/\text{거리}$)를 이용한 안전성 평가 기준

($\Delta V/\text{거리}$)	안전성 판단
0~0.318	양호
0.318~0.43	보통
> 0.43	열악

1) 하태준, 박제진, 김유철 “가속도를 고려한 도로의 설계일관성 평가기법에 관한 연구”.

4. 통합 도로 안전성 판단 방법

3장에서는 개별차량의 속도차이와 개별차량의 속도의 거리 변화율에 의한 도로의 안전성을 평가하는 방법을 기술하였다. 각각의 평가 방법에 의한 평가결과는 동일한 지점일지라도 평가 방법에 따라 상이한 결과를 보일 수도 있다. 따라서 각기 다른 평가 방법에 의한 평가 결과를 반영하여 통합된 도로 안전성을 판단하는 방법이 필요하다. 통합 안전성 평가 방법으로는 각각의 평가 방법에 의해 산출된 안전성 결과에 등급별 (양호, 보통, 열악) 점수를 부여하고, 이 점수의 평균값을 사용하는 방법이 있을 수 있다.

따라서 본 연구에서는 다음과 같은 방법을 사용하여 도로 안전성 평가 결과를 통합하는 방안을 제시하였다. 먼저, 각 등급별 점수를 부여한다. 양호등급은 +1점, 보통은 0점, 열악은 -1점을 부여한 후 각 지점별로 평균점수를 이용하여 다음의 기준에 따라 해당지점의 안전성을 판단한다.

표 11. 통합 안전성 판단 기준

양호	$0.5 \leq \text{평균점수}$
보통	$-0.5 < \text{평균점수} < 0.5$
열악	$\text{평균점수} \leq -0.5$

한편 위와 같은 통합도로 안전성 판단 방법은 도로의 안전성 등급을 양호, 보통, 열악의 세 단계만으로 단순하게 구분하여 정확하고 합리적인 판단을 하기에 부족한 면이 있다. 예를 들어 동일한 ‘보통’이라도 열악에 가까운 ‘보통’과 양호에 가까운 ‘보통’의 기하구조 조건이 있을 수 있는데 이를 모두 ‘보통’으로 표현하는 문제점이 내재된다. 따라서 양호의 정도, 보통의 정도, 열악의 정도를 반영하여 도로의 안전성을 판단하는 것이 필요하며 동일한 등급이라도 차등적인 점수를 부여하여 도로 안전성을 보다 구체적이고 합리적으로 평가하고자 하였다. 따라서 본 연구에서는 동일한 등급일지라도 기준별로 산정된 값에 따라 각 등급별로 점수의 범위를 정하여 양호는 +3~+1, 보통은 +1점~-1, 열악은 -1점~-3의 값을 부여하는 방법을 제시하였다.

4.1 개별차량의 속도차이에 의한 안전성 평가등급의 점수 부여

앞서 3장의 표 8에 의하면, 개별차량의 속도차이에 의한 안전성 평가 기준은 개별차량의 속도차이가 15km/h 이하면 모두 양호의 등급으로 구분된다. 그러나 0km/h 속도차이와 양호와 보통과의 경계인 15km/h 속도차이를 동일한 양호 등급으로 평가하는 것은 합리적이지 않다고 판단된다. 따라서 양호등급에서 보이는 속도차이에 차별성을 주기위해 양호등급의 최소값인 0km/h에 +3점, 최대값인 15km/h에 +1점을 부여한다. 속도차이가 0km/h이면 +3의 값을 주고 속도차이가 15km/h이면 +1의 값을 주어 차등화 하였고 그 사이 값들은 선형으로 비례한다고 가정하여 최대값과 최소값을 연결한 직선에 의해 +3~+1 사이의 값을 부여하도록 하였다. 보통의 등급인 경우에는 양호와 경계를 이루는 15km/h인 경우에는 +1, 열악과 경계를 이루는 30km/h인 경우에는 -1의 값을 주고 그 사이 값들은 최대값과 최소값의 직선에 비

례하여 +1~-1 사이의 값을 주도록 하였다. 열악의 경우에도 속도차이가 30km/h인 경우에는 -1, 45km/h인 경우에는 -3의 값을 주고 최대값을 45km/h로 선정하여 그 이상의 값도 -3을 주도록 하였는데, 이는 속도자료에서 45km/h가 속도차이의 최대값에 다르기 때문이다.

표 12. 개별차량의 속도차이에 의한 안전성 판단 기준

등급	기준	점수부여식
양호	$\Delta V \leq 15\text{km/h}$	$y = -\frac{2}{15}x + 3$
보통	$15\text{km/h} < \Delta V \leq 30\text{km/h}$	
열악	$\Delta V > 30\text{km/h}$	

x:개별 차량의 속도차이

그림 6은 표 12의 등급의 점수부여 방식을 그래프로 나타낸 것이다. 점수 부여식은 표 12의 우측에 제시하였다.

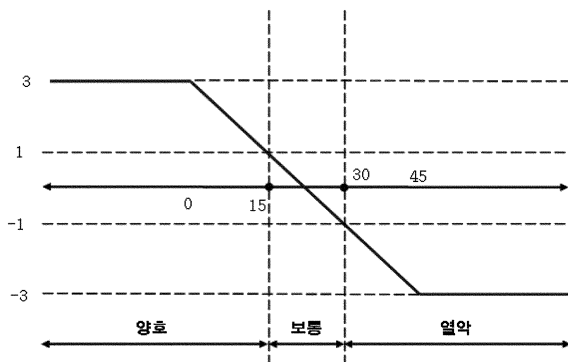


그림 6. 선형식 그래프(개별차량의 속도차이)

4.2 개별차량의 속도의 거리변화율에 의한 안전성 평가등급의 점수부여

표 10의 개별차량의 속도의 거리변화율에 의한 안전성 평가 기준에 의하여 ($\Delta V/\text{거리}$)값이 0이면 +3점을 주고 ($\Delta V/\text{거리}$)값이 보통과의 경계인 0.318이면 +1점을 주어 차등화하였고 그 사이 값들은 최대값과 최소값의 직선에 비례하여 +3~-1 사이의 값을 주도록 하였다. 보통의 등급인 경우에는 양호와 경계를 이루는 0.318인 경우에는 +1, 열악과 경계를 이루는 0.43인 경우에는 -1의 값을 주도록 하였다. 열악의 경우에도 ($\Delta V/\text{거리}$)값이 0.43인 경우에는 -1, 최대값은 본 연구의 96개 조사지점의 ($\Delta V/\text{거리}$)값들을 잘못하여 그림 7

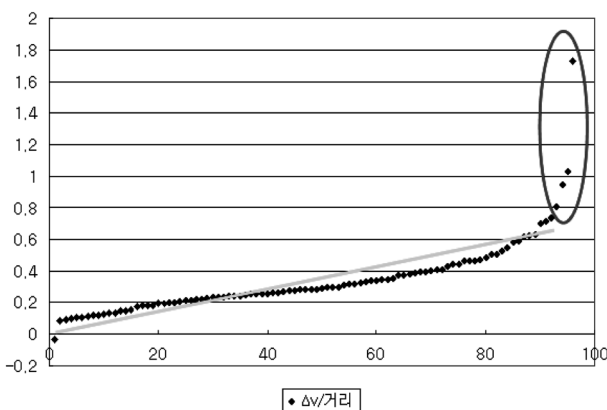


그림 7. ($\Delta V/\text{거리}$)의 누적그래프

의 누적그래프에서 이상치로 판단되는 4개 값을 제외한 최대값인 0.736을 사용하여 0.736인 경우에는 -3의 값을 주고 그 이상의 값도 -3을 주도록 하였다.

표 13. 개별차량의 가속도에 의한 안전성 판단 기준

등급	기준	점수 부여식
양호	0~0.318	$y = -\frac{2}{0.318}x + 3$
보통	0.318~0.43	$y = -\frac{2}{0.112}x + \frac{0.748}{0.112}$
열악	> 0.43	$y = -\frac{2}{0.306}x + \frac{0.554}{0.306}$

x:V/거리

다음 그림 8은 표 13의 등급의 점수부여 방식을 그래프로 설명한 것이다. 점수 부여식은 표 13의 우측에 제시하였다.

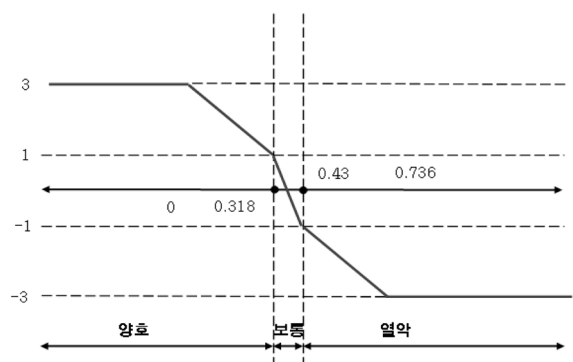


그림 8. 선형식 그래프(개별차량의 가속도)

4.3 도로 안전성의 종합적 판단

도로의 한 지점/구간의 안전성을 종합적으로 판단하기 위해 위에서 각각 구한 평가지표별 점수의 평균값을 구하여 그 값이 1 이상이면 양호, -1에서 1사이에 있으면 보통, -1 이하이면 열악으로 최종적인 통합 도로 안전성을 판단한다.

표 14. 도로 통합 안전성 판단 기준

안전성 판단	각 기준별 점수의 평균값
양호	1 이상
보통	-1~1
열악	-1 이하

5. 결 론

본 연구에서는 설계 일관성을 평가하는데 있어서 기존 연구에서 사용되고 있는 속도의 평균적인 개념인 85th percentile 속도의 사용을 지양하고 운전자 개인의 특성을 더 정확하게 반영할 수 있는 개별차량의 속도를 이용하여 도로의 설계 일관성을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 96개 지점의 왕복 2차로 도로에서 차량 속도를 조사하였으며 조사된 자료의 이상치를 제거하고 차량간의 영향을 받지않는 독립주행 차량만을 대상으로 개별차량의 속도를 추출하였다.

본 연구에서는 두 가지 방법을 사용하여 도로의 안전성을 평가하였다. 첫 번째로, 개별차량의 곡선부 진입속도와 곡선

부 1/2 지점에서의 속도차이를 이용하여 회귀분석을 통한 개별차량의 속도차이 예측 모형식을 개발하고 이를 이용한 도로의 안전성 평가 방법을 제시하였으며 둘째로, 개별차량의 속도차이를 이용하여 가속도의 개념인 거리에 따른 속도의 변화를 평가할 수 있는 지표를 만들고 이를 이용하여 도로의 안전성을 평가하는 방법을 제시하였다. 또한 두 가지 평가방법을 이용하여 구해진 도로의 안전성 결과를 양호, 보통, 열악의 세 등급별로 차등적인 점수를 부여하고 평균점수를 구하여 통합 안전성을 평가하는 방안을 검토하였다.

향후 연구과제로는 더 합리적인 개별차량의 주행속도차이 예측을 위하여 중단경사가 큰 오르막이나 내리막의 조사 지점수를 늘려서 분석 할 필요성이 있고, 도로 안전성을 평가하는 다양한 방법들을 추가(운전자의 다양한 인적 요소 등) 반영한 도로선형 평가가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 한국건설기술연구원에서 수행한 “도로선형 및 노면안전성 분석 모형 개발” 과제 중 “설계 일관성에 기반한 통합 도로안전성 평가방법 및 알고리즘 개발” 성과물의 일부입니다.

참고문헌

건설교통부(2000) 도로설계편람.
 건설교통부(2000) 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침.
 김용석, 조원범(2004) 긴 직선-곡선 연결선형에서 운전자 주행행태에 관한 현장조사 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제22권 제7호, pp. 139~146.
 박영진(2002) 개별차량의 운전행태를 이용한 위험도로 평가기법 개발, 박사학위논문, 서울대학교.
 원제무(2007) 안전측면의 도로선형 설계 일관성 평가기준 개발에 관한 연구.
 이점호(2000) 설계일관성 분석을 통한 도로선형설계의 적정성 평가 연구, 박사학위논문, 서울시립대학교.
 이종필, 김성호(2002) 주행속도 예측을 위한 모형 개발(2차로 지방부 도로를 중심으로), **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제20권 제1호.
 정준화, 박영진, 박창호(2000) 속도에 따른 평면 곡선부 설치 방안 연구, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제20권 제5-D호, pp. 537-547.
 정준화, 유수현, 윤여환(1998) 도로 곡선부의 안전성 향상을 위한 평면선형 설계 지침 연구, 한국건설기술연구원.
 정준화(2001) 주행속도를 이용한 도로의 평면선형 안전성 평가

모형 개발, 박사학위논문, 서울대학교.
 하태준, 박제진, 김유철(2003) 가속도를 고려한 도로의 설계일관성 평가기법에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제21권 제1호.
 하태준, 이석(2002) 지방부 2차로 안전성 평가에 관한 연구, **대한교통학회지**, 대한교통학회, 제20권 제1호.
 한국건설기술연구원(2003) 도로 선형 및 노면 안전성 분석 모형 개발(1차년도).
 Choueiri, E.M. (1987a) *Statistical Analysis of Operation Speeds and Accident Rates on Two-Lane Rural Highways*, Doctorial Dissertation, Department of Civil and Environmental Engineering, Clarkson University.
 Fitzpatrick, K., Elefteriadou, L., Harwood, D.W., Collins, J.M., McFadden, J., Anderson, I.B., Krammes, R.A., Irizarry, N., Parma, K.D., Bauer, K.M., and Passetti, K. (2000) *Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways*, Report FHWA-RD-99-171, USDOT, FHWA.
 Gibreel, G.M., Easa, S.M., and Hassan, Y. (1999) I.A El-Dimeery, *StatE Of The Art Of Highway Geometric Design Consistency*, *Jouranal of Transportation Engineering* Vol. 125. No. 4.
 Krammes, R.A., Brackett, R.Q., Shafer, M.A., Ottesen, J.L., Anderson, I.B., Fink, K.L., Collins, K.M., Pendleton, O.J., and Messer, C.J. (1995b) *Horizontal Alignment Design Consistency for Rural Two-Lane Highways*, FHWA-RD-94-034, FHWA, USDOT.
 Lamm, R., Psarianos, B., and Mailaender, T. (1999) *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*, McGraw-Hill.
 Lamm, R, Choueiri, E.M., and Mailaender, T. (1991) *Side Friction Demanded Versus Side Friction Assumed for Curve Design on Two-Lane Rural Highways*, TRR 1122, TRB.
 Lamm, R., Choueiri, E.M., Hayward, J.C., and Paluri, A. (1988) *Possible Design Procedure to Promote Design Consistency in Highway Geometric Design on Two-Lane Rural Road*, TRR1195, TRB.
 Lamm, R. and Choueiri, E.M. (1987a) *Recommendations for Evaluating Horizontal Design Consistency Based on Investigations in the State of New York*, TRR1303, TRB.
 Lamm, R., Choueiri, E.M., and Paluri, A. (1987b) *Rural Roads Speed Inconsistencies Design Methods, Part II, A Design Method to Determine Critical Operating Speed Inconsistencies on Two-Lane Rural Roads in the State of New York*, Final Report, NSF/ENG-87027, Department of Civil and Environmental Engineering, Clarkson University.
 Lamm, R., Guenther, A.K., and Choueiri, E.M. (1995a) *Safety Module for Highway Design*, Transportation Research Record 1512, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.

(접수일: 2008.5.13/심사일: 2008.8.26/심사완료일: 2008.8.26)