

주행속도를 이용한 도로설계 일관성 평가



이 수 일 | 정회원 · 한국건설기술평가원 과제전문위원

1. 도입배경

과거에는 도로건설 후 사고건수, 민원 등을 토대로 도로 안전성이 평가되었으나, 오늘날에 와서는 도로건설 전과 후에 도로의 안전성을 평가하고 있는 추세이다. 특히 미국, 독일, 호주 등 세계 여러 나라에서는 도로건설 전에 안전성을 향상시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

도로의 안전성을 향상시키기 위해 사용되는 여러 방법 중의 하나로 선형 설계의 일관성을 평가하는 방법을 들 수 있다. 선형 설계 일관성은 운전자의 기대와 도로 기하구조의 일치성에 달려있다(FHWA, 2000).

현 도로 안전성 관리에서의 문제점은 신규 도로의 안전성 성과를 예측하기 위한 합리적인 방법의 부재이다. 사고기록체계는 도로의 안전성 성과를 모니터링하기 위해서 지속적으로 개발되고 있으나 이러한 것은 과거의 사고이력자료를 제공하는 수준에 머물고 있다. 따라서 장래에 계획된 도로에 대해서도 효율적인 관리운영이 요구되고 있다.

도로선진국이라 할 수 있는 미국의 경우는 도로교통의 안전성 향상을 위해 지난 수년간 많은 예산을

투자하여 도로설계시 안전성 평가모형인 IHSDM (Interactive Highway Safety Design Model)을 개발중에 있다. 미국에서는 이 모형을 통해 도로 기하구조 조건에 따른 도로설계 대안의 안전성과 운영체계의 효율성을 동시에 평가함으로써 도로설계 대안들이 도로교통안전 및 운영에 미치는 영향을 분석하고 있다(FHWA, 2004).

국내에서는 도로설계 시 도로선형의 안전성을 평가하는 방법이 미흡한 실정이고, 한국도로공사 등에서 도로안전진단제도 등의 도입으로 도로선형 안전성 평가방법의 필요성이 증대되고 있는 시점이다. 본 연구에서는 미국의 도로안전성 평가모형(IHSDM) 중의 하나인 도로선형 설계 일관성부분에 대한 모형의 개발과 새로운 평가기준을 제시하고자 한다.

2. 유사 선행연구 고찰

2.1 기존 설계속도 개념이 갖는 한계

설계속도 개념은 고속도로의 기능적인 분류, 인접한 토지이용, 지형을 기초로 한 선택된 설계속도를

포함하고 있다. 현 기준은 설계속도와 운전자들이 기대하는 속도는 일치되며, 자동차의 누적속도 분포에서 높은 백분을 값을 가질 것으로 가정하고 있다. 이러한 맥락에서 설계속도는 고속도로에서 기하구조 제원에 대한 최소기준을 제공하는데 사용되어진다.

설계속도 개념의 한계점은 Krammes와 Glascock에 의해 제기되었다. 설계속도는 단지 평면곡선과 종단곡선부에서만 적용할 수 있지만, 직선부에는 적용할 수 없다. 그리고 직선과 곡선의 연결부에도 적용하기 어렵다. 만약 직선부가 충분히 길다면, 운전자는 직선부에서 곡선부의 설계속도보다 더 높은 속도로 주행할 것이다.

2.2 주행속도 기반 안전성 평가의 필요성

세계 여러 나라에서 도로의 선형 설계에 설계속도 뿐만 아니라 주행속도도 고려하고 있다. AASHTO에서는 주행속도를 양호한 날씨에 한산한 교통조건에서 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 표준예측치로 쓰고 있다.

설계의 일관성을 알아보기 위해 사용하는 주행속도의 또 다른 방법은 속도 프로파일(speed profile)을 이용하는 것이다.

속도 프로파일 모형은 도로의 선형을 따라 속도의 변화가 크게 나타나는 지점을 찾아내는 데 사용된다. 속도 프로파일은 종축에 주행속도를, 횡축에 도로의 거리를 취해서 좌표로서 나타낸다. 설계의 불일관성은 연속적인 선형의 모양들에서 주행속도에서의 큰 차이를 보일 때 속도 프로파일을 이용해서 쉽게 찾아낼 수 있다.

2.3 국내연구 검토

도로선형 설계일관성에 대한 국내연구는 대부분 곡선부의 주행속도를 추정하는 것이 주를 이루고 있다.

최재성(1998)의 연구는 새로운 선형 설계일관성 검토기법의 정립을 위하여 수행되었으며, 이를 위해 속도추정 모형을 개발하였다. 평면곡선에서는 운전자의 시각적 판단을 기초로 하는 최소시거를 산정하였고 종단선형에서는 구배의 영향과 차량의 성능을 기초로 등판차량의 주행속도를 추정하였다. 또한 평면곡선과 종단곡선의 영향을 동시에 고려하는 주행속도 추정 및 승용차와 트럭으로 나누어서 주행속도 추정식을 산정하였다. 이 연구는 우리나라의 초기연구로 선형 설계일관성 평가기준에 외국에서 사용하고 있는 평균주행속도 개념을 도입한데 큰 의의가 있다.

정준화(2001)는 지방부 일반국도 4차로 도로 곡선부에서 선형 조건별로 주행속도를 추정하는 모형을 개발·검증하였다. 속도추정모형 개발을 위해 곡선부 접근속도를 추정하고 곡선부 최저속도와 곡선부 내의 속도변화를 추정하였다. 곡선부의 안전성 평가방법은 종래의 속도차 방법이 아닌 에너지차 방법에 따라 곡선부 내 안전성 평가기준과 연속구간 안전성 평가기준 및 평면곡선부의 안전설계방법도 제안하였다. 에너지차 방법은 사고의 심각도를 감안하면서 속도의 변화를 운동에너지의 변화(ΔE)로 연결한 개념이다.

하태준 외(2003)의 연구에서는 3차원의 실제 도로형상을 고려하여 일관성을 평가하는 방법으로 가속도 개념을 사용하였다. 차량의 운행과 운전자가 받는 느낌을 근거로 가속도는 안전에 커다란 영향을 미친다. 이를 근거로 3차원 도로상에서의 각 지점의 가속도를 계산하고 일관성 평가방법을 제시하였다.

김용석 외(2004)는 기존 주행속도 프로파일 모형에 내재된 운전자 주행행태에 대한 가설과 실제 긴 직선-곡선 연결선형에서 조사된 운전자의 주행행태 결과를 비교하였다. 또한, 신뢰성 있는 주행속도 프로파일 모형의 구축을 위해 요구되는 운전

자의 곡선부 진입 및 진출 시 가속도의 변화를 외국의 연구에서 제시한 값과 비교하는 방식으로 분석하였다.

3. 기존 연구의 한계점과 새로운 평가모형 개발

3.1 기존 연구의 한계점과 추가 연구 도출

표 1은 기존 연구들의 한계점과 추가 연구 사항을 정리한 것이다.

표 1. 연구의 착안점

구분	기존연구의 한계점	연구의 착안점
평가 기준 연구	· 직선부에 대한 주행속도 예측식 개발 미흡	· 직선부의 주행속도를 기하구조 특성으로 세분화 연구 필요
	· 개별차량들만의 평가기준 정립 차량군의 고려 미흡	· 차량군의 안전성을 평가하는 척도개발 필요
속도와 안전성 연구	· 사고와 가장 관련성 높은 속도편차 고려 못함	· 평가기준에 속도편차 항목의 추가개발 필요
	· 안전성의 척도로 차두간격(headway)을 권장하나 고려 못함	· 차두간격과 관련된 평가 척도개발 필요

3.2 새로운 평가모형 제시

본 연구의 모형개발은 기존연구의 한계점을 극복하기 위한 도로의 일관성을 평가하기 위한 합리적인 분석방법을 개발하는데 연구의 주안점을 두었다. 아래에 모형개발의 3가지 결과를 정리하였다. 첫째, 기존의 주행속도의 한계점인 직선부 주행속도 예측과 곡선부의 종단과 평면경사의 복합 고려이고, 둘째, 사고와 가장 상관성이 높은 속도편차를 이용한 모형개발이고, 셋째는 차량군을 고려할 수 있는 평가지표인 차간거리에 대한 모형개발을 요약하였다.

표 2. 주행속도(V_{85}) 예측모형

직선부	직선길이		
	0~300m	65.9km/h	
	300m~500m	74.1km/h	
	500m 이상	82.2km/h	
곡선부	종단경사	전체	$y = 34.627 + 4.748 \ln(x_1) + 1.065x_2$ $R^2 = 0.727$ 여기서, y: 곡선부 주행속도 x_1 : 곡선반경, x_2 : 편경사
		0~2%	$y = 26.592 + 5.53 \ln(x_1) + 1.838x_2$ $R^2 = 0.788$ 여기서, y: 곡선부 주행속도 x_1 : 곡선반경, x_2 : 편경사
		-5~0%	$y = 43.658 + 4.036 \ln(x)$ $R^2 = 0.728$ 여기서, y: 곡선부 주행속도 x : 곡선반경

표 3. 속도편차 예측모형

곡선반경	직선길이	
	400m 이하	$y = 1.64 + 2.51 \ln(x)$ $R^2 = 0.66$ 여기서, y: 속도편차, x: 직선길이
400m 초과	$y = 2.50 + 2.10 \ln(x)$ $R^2 = 0.57$ 여기서, y: 속도편차, x: 직선길이	

표 4. 차간거리 모형

직선부		$y = 8.89 + 7.08 \ln(x)$ $R^2 = 0.679$ 여기서, y: 차간거리, x: 직선길이	
곡선부	종단경사	전체	$y = 17.12 + 4.82 \ln(x_1) + 0.884x_2 - 2.275x_3$ $R^2 = 0.758$ 여기서, y: 차간거리, x_1 : 곡선반경, x_2 : 종단경사, x_3 : 굽은방향 (0: 왼쪽, 1: 오른쪽)
		0~2%	$y = 21.754 + 4.366 \ln(x_1) - 3.297x_2$ $R^2 = 0.758$ 여기서, y: 차간거리, x_1 : 곡선반경, x_2 : 굽은방향 (0: 왼쪽, 1: 오른쪽)
		-5~0%	$y = 5.90 + 5.912 \ln(x)$ $R^2 = 0.803$ 여기서, y: 차간거리, x: 곡선반경

표 5는 본 연구에서 제시한 각 평가지표의 장·단점을 분석한 것이다.

표 5. 각 평가지표의 장·단점 분석

구분	장점	단점
주행속도 차이 (ΔV_{95})	· 결과치로 속도차이를 제시해주어 안전성 인식측면에서 가장 우수함	· 직선부의 주행속도 예측이 구간별로 산출되어 구간과 구간 사이의 예측 값의 차이로 인해 안정적인 예측치를 제시하기 어려움
속도편차 (VD)	· 실제 사고건수와 가장 상관관계가 높아 위험지역 검증에 우수함	· 직선부와 곡선부 연결선형에서만 모형을 개발하여 모든 구간에 적용이 불가함
차간거리 차이 (ΔSM)	· 직선부, 곡선부의 예측모형이 모두 적합하여 모든 연계구간의 결과값이 안정적으로 제시가능함	· 결과치인 차간거리 차이는 안전성을 직접적으로 인식하기에는 미흡함

높음을 판단하기에 용이함을 알 수 있다. 따라서 기존의 주행속도 하나의 평가지표를 사용할 때보다 차간거리와 속도편차를 같이 사용할 때 도로선형의 일관성을 평가하기가 보다 적합하다. 설계구간의 시점에서 종점까지의 속도차이, 차간거리 차이의 변화를 한눈에 파악이 가능하고 위험구간을 쉽게 찾아낼 수 있는 아래의 profile형식의 결과물을 나타내는 것을 권장한다.

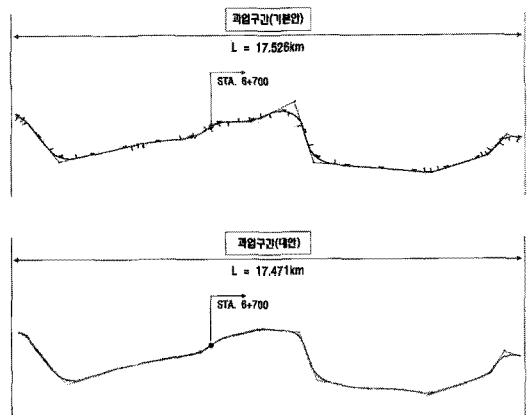


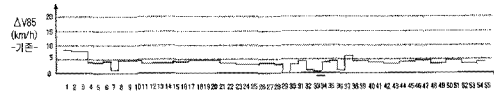
그림 1. 기본안, 대안의 분석구간 개요

3.3 새로운 평가모형을 이용한 사례분석

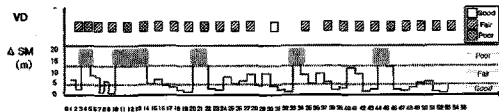
본 연구에서 제시한 평가지표들의 실제 적용성을 살펴보기 위해 국내 지방도의 확·포장사업 노선설계 기본안과 대안을 평가하였다. 연구대상지역은 전라남도 장흥군 유치면 용문리와 화순군 이양면 품평리를 연결하는 지방도 820호선의 4차로 확·포장 사업 구간이다. 본 연구에서는 2차로 도로에 대한 안전성 평가기준을 제시하고 있지만, 현재 2차로를 신설하거나 개선하는 사업이 없는 관계로 2차로에서 4차로로 확장하는 구간을 부득이 사례연구지역으로 삼았음을 밝힌다.

기본안과 대안을 주행속도, 차간거리, 속도편차의 세 가지 모형에 적용한 결과를 보면, 기존의 주행속도 방식으로는 기본안과 대안의 안전성 차이를 구별하기 어렵지만, 차간거리(ΔSM)과 속도편차(VD)에서 대안이 기본안에 비해 도로선형 설계의 일관성이

기본안의 주행속도 profile



기본안의 속도편차, 차간거리 profile



대안의 주행속도 profile



대안의 속도편차, 차간거리 profile

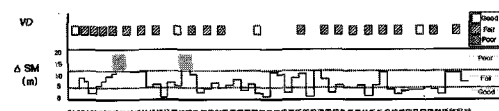


그림 2. 기본안 및 대안의 profile 분석 결과

4. 결론 및 제언

도로 설계의 안전성을 제고하기 위해 선형 설계일관성을 평가하는 방법들에 대한 연구가 지속적으로 진행중에 있다. 초창기 도로의 설계속도방식을 이용하였으나 실제 운전자의 행태를 반영하지 못하였으므로 최근에는 운전행태를 반영하는 주행속도 방식으로 설계일관성을 평가하는 방법이 세계적으로 주류를 이루고 있는 실정이다.

하지만, 이 주행속도를 이용하는 방법에도 여러 가지 문제점이 제기되면서 보다 운전자의 운전행태를 반영할 수 있는 평가지표에 대한 연구가 진행되고 있다. 주행속도를 이용하는 방법의 가장 치명적인 약점으로는 직선부의 길이에 따른 주행속도를 예측하지 못하는 것과 종단곡선과 평면곡선을 동시에 고려하여 주행속도를 예측하는데 한계를 가지고 있다.

본 연구에서는 주행속도와 함께 사용할 수 있는 평가지표로 차간거리와 속도편차를 제시하였다. 주행속도가 단독차량에 대한 평가지표라면 차간거리는 차량군에 대한 평가지표로 도출하였고, 사고와 가장 밀접한 관계를 가지는 속도편차를 포함시키는 것이었다. 사례분석에서도 알 수 있듯이 기존의 주행속도 하나의 평가지표로는 도로선형 설계의 일관성을 평가하기에는 미흡하고 차간거리와 속도편차를 함께 사용하는 것이 보다 합리적인 결과를 도출한다고 볼 수 있다.

향후 도로설계 일관성에 대한 안전성 평가지표로는 기존의 도로선형에서 안전성에 문제가 발생하는 부분을 집중적으로 분석하여 운전자의 주행행태를 잘 반영할 수 있는 평가지표개발이 필요하다. 또한, 승용차뿐만 아니라 중형차량을 고려할 수 있는 평가 모형개발이 필요하다.

참고문헌

1. 김용석, 조원범, "긴 직선-곡선 연결선형에서 운전자 주행행태에 관한 현장조사 연구", 대한교통학회지 제22권 제7호, 2004
2. 오주택, "도로설계시 안전성 평가모형 개발을 위한 기초연구", 교통개발연구원, 2004
3. 이점호, "설계일관성 분석을 통한 도로선형 설계의 일관성 평가 연구", 서울시립대학교 대학원 박사학위논문, 2000
4. 정준화, "주행속도를 이용한 도로의 평면선형 안전성 평가모형 개발", 서울대학교 대학원 박사학위논문, 2001
5. 최재성, "도로선형에 대한 설계 일관성 평가모형의 개발", 대한교통학회지, 제16권 제4호, 1998
6. 하태준 외, "가속도를 고려한 도로의 설계일관성 평가기법에 관한 연구", 대한교통학회지 제21권 제1호, 2003
7. K. Fitzpatrick et al., "Speed-Profile Model For Two-Lane Rural Highways", TRB 79th Annual Meeting., 2000
8. K. M. Collins and R. A. Krammes, "Preliminary Validation of a Speed-Profile Model for Design Consistency Evaluation", TRR 1523, TRB, 1996
9. R. A. Krammes et al., "Interactive Highway Safety Design Model : Design Consistency Module", Public Road, 1997
10. R. Lamm et. al., "Recommendations for Evaluating Horizontal Design Consistency Based on Investigations in the States of the New York", TRR 1122, TRB, 1998
11. R. Lamm et. al., "Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook", Mcgraw-hill, 1999