

도로선형 설계일관성 통합평가방법론을 활용한 안전성 평가

Road Safety Assessment by Using Integrated Evaluation Methods of Road Design Consistency

고 춘 수 Ko, Chun-soo

이 중 학 Lee, Jong-hak

구 지 선 Ku, Ji-sun

노 관 섭 Noh, Kwan-sub

(주)유신 상무이사 · 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 (E-mail: csko@yooshin.co.kr)

정회원 · 한국건설기술연구원 전임연구원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사수료 · 교신저자
(E-mail: jonghak@kict.re.kr)

서울시청 전임공무원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 (E-mail: kujisun@seoul.go.kr)

정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구위원 (E-mail: ksno@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : Road Design Consistency Evaluation can guarantee road alignments with safety factors, however it can be hard work to deal with general car accident factors in only this evaluation index. Ideal Road Design Consistency Evaluation is show the mutual balance of road alignment and human factors with a variety of factors for road safety.

METHODS : This study carried out overall road safety evaluations which are methods of running speeding consistency and car platoon safety analysis (driver's behaviors factors) as well.

RESULTS : Out of 13 sections in a experimental road layout, safety factors of 8 sections showed 'Good' or 'Fair' status. However, 'Poor' results were found out in 5 sections. Particularly, it showed the different outcomes among the 4 evaluation methods used in this study.

CONCLUSIONS : Road safety countermeasures were proposed for the potentially dangerous sections in road which failed to identify in the other methods. This study will contribute toward future study of more reliable Road Design Consistency Evaluation in the future for road safety.

Keywords

road design consistency, running speeding consistency, platoon safety analysis, driver's behaviors factors, road safety

Main Author : Ko, Chun-soo, Executive Director
Construction Technology Research, Yooshin Engineering Co,
8, 4giul, Yeoksam-ro, Gangnam-gu, Seoul, 135-936, Korea
Tel : +82.2.6202.0104 Fax : +82.2.6202.0909
email : csko@yooshin.co.kr

International Journal of Highway Engineering

http://www.ijhe.or.kr/

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

매년 교통사고로 인해서 약 15조 원의 사회적 비용이 발생하고 있으며 많은 교통사고 사망자가 발생하고 있다. 2010년 한 해 동안 우리나라에서는 교통사고가 총 226,878건이 발생하고 5,505명이 사망하여 교통사고

안전이 사회의 중요한 문제점임을 알 수 있다(경찰청(2011), 교통사고통계).

도로 교통사고의 원인은 크게 도로환경, 차량, 도로이용자로 구분되며 이들 3가지 요소가 안전하고 균형 있게 상호작용할 때에만 교통사고를 예방할 수 있다. 이러한 점을 감안할 때, 교통사고를 사전에 예방하기 위해서

는 도로가 건설되기 전인 설계단계에서부터 도로의 안전성평가 기준이 마련되어야 한다.

도로 기하구조의 안전성을 평가할 수 있는 방법은 여러 가지가 있지만, 가장 일반적으로 쓰이고 있는 방법론은 주행속도를 이용하여 도로 기하구조의 설계 일관성을 평가하는 방법이다. 설계 일관성 평가방법론은 도로 기하구조 요소들 간의 부적합한 문제점을 검토하고 개선하는 방법으로서 도로 설계 단계에서 기하구조의 문제점을 정확히 파악할 수 있다.

하지만, 기존의 설계 일관성 평가가 도로 기하구조 요소의 안전성을 보장하고는 있으나 기하구조와 인적 요인에 따른 상호간 결합 방법을 평가하는 데에는 한계가 있다. 예를 들어, 특정 도로구간의 안전성 평가가 좋은 결과를 받았다고 해서 그 도로가 안전하다고는 말할 수 없다. 바람직한 도로평가는 다양한 요소를 고려하고 상호간 결합 방법에 따른 안전성을 평가해야 한다.

따라서 본 연구는 도로선형 설계일관성과 관련한 다양한 평가방법론을 활용해서 대상구간에 대한 안전성 평가를 수행하였고 이를 토대로 도로안전개선 방안을 제시하였다.

2. 이론적 고찰 및 개념 정립

2.1. 도로선형 일관성

R. Lamm 등(1987)은 선형의 연속성에 영향을 미치는 요인으로 곡률변화율(curvature change rate, CCR), 곡도(degree of curve, DC), 85백분위속도 등을 선정하였으며, 이를 기반으로 도로의 기하구조 설계에서 선형의 연속성을 증진시키는 방법과 절차를 개발하였다.

$$CCR_s = \frac{(L_{C11}/2R + L_{CR}/R + L_{C12}/2R)63,700}{L} \quad (1)$$

여기서,

CCR_s : 하나의 곡선상에서의 곡률변화, gon/km

L : 평면곡선의 총길이, ($L_{CR} + L_{C11} + L_{C12}$), km

L_{CR} : 평면곡선의 길이, m

L_{C11}, L_{C12} : 클로소이드 곡선길이, m

R : 곡선반경, m

최재성 등(1998)은 도로를 주행하는 속도를 예측하여 도로 설계의 일관성을 평가하는 모형을 개발하였다. 이

모형에서는 도로상에서 속도에 영향을 미치는 요소 중 시거를 가장 핵심적인 요소로 평가하였다. 시거를 통해 주행하는 차량의 속도를 예측·평가하고 있다. 이 모형을 통해 산출되는 평면곡선상의 속도는 최소시거를 적용하여 산출한 것이며 이 속도는 다른 속도추정모형에 의해 산출된 값 보다는 낮게 나타났다.

$$V_h = -g(f \pm G)t + \sqrt{[g(f \pm G)t]^2 + 2g(f \pm G)SD_h} \quad (2)$$

여기서,

SD_h : 곡선내 최소시거

V_h : 곡선내 최소속도

캐나다는 도로설계기준(TAC, 1999)을 개정하면서 설계 일관성을 별도의 장으로 제시하고 횡단선형 일관성, 주행속도 일관성, 작업부하로 나누어 제시하고 있다.

$$V_{85} = 102.45 + 0.0037L - (8995 + 5.73L)/R \quad (3)$$

여기서,

V_{85} : 85th 백분위 주행속도(km/h)

L : 곡선장(m)

R : 평면곡선반경(m)

2.2. 주행속도 일관성

2.2.1. 단일구간의 일관성 평가

Lamm 등(1988b, 1995)은 설계속도와 85퍼센타일 주행속도 차이를 평균 사고율과 관련하여 연구하였고 이를 바탕으로 도로의 일관성을 Good, Fair, Poor로 구분하였다.

Table 1. Evaluation of Road Design Consistency in One Spot

Sections	Methods
Good design	$V_{85} - V_d \leq 10\text{km/h}$
Fair design	$10\text{km/h} < V_{85} - V_d \leq 20\text{km/h}$
Poor design	$V_{85} - V_d > 20\text{km/h}$

2.2.2. 연속구간의 일관성 평가

Lamm 등(1995)은 평균 사고율을 기반으로 곡선 상류부-곡선부의 설계 일관성 평가를 Good, Fair, Poor로 구분하였다.

Table 2. Evaluation of Road Design Consistency in Two Spots

Sections	Methods
Good design	$\Delta V_{85} \leq 10\text{km/h}$
Fair design	$10\text{km/h} < \Delta V_{85} \leq 20\text{km/h}$
Poor design	$\Delta V_{85} > 20\text{km/h}$

2.3. 차량군 안전성 평가

이수일(2006)은 차량군에 대한 안전성 평가를 위해서 속도편차(VD)와 차간거리(spacing)에 대한 평가기준을 제시하였으며 운전자의 운전행태를 가장 잘 반영하고 있다.

속도편차분석은 도로의 직선부 다음에 곡선부를 주행하게 되는 구간만을 평가하는 지표이다.

Table 3. Velocity Deviation(VD) Method

Section	Methods
Radius	Below 400m $y = 1.64 + 2.51 \times \ln(x)$ $R^2 = 0.66$ $y = vd, x = \text{Tangent Length}$
	Over 400m $y = 2.50 + 2.10 \times \ln(x)$ $R^2 = 0.57$ $y = vd, x = \text{Tangent Length}$

속도편차(VD) 평가는 양호(good), 보통(fair), 열악(poor)으로 구분한다.

Table 4. Evaluation of Velocity Deviation(VD)

Sections	Methods
Good design	$VD \leq 15\text{km/h}$
Fair design	$15\text{km/h} < VD \leq 19\text{km/h}$
Poor design	$19\text{km/h} < VD$

주 - 속도편차(Velocity Deviation) : 직선부에서 곡선부 진입 시 차량들의 속도변화 편차

차간거리 안전성 평가는 구간별 차량들의 차간거리(Spacing)의 평균차이를 분석하는 것으로 추정 모형식은 $SM_i - SM_{i+1}$ 이다. 모형의 단점은 차간거리의 차이를 이용해서 단순히 도로의 안전성을 직접적으로 확인하기 어렵다. 차간거리(SM) 평가는 Good, Fair, Poor로 구분한다.

Table 5. Space Mean(SM) Method

Section	Methods
good	$SM_i - SM_{i+1} \leq 4\text{m}$
fair	$4\text{m} < SM_i - SM_{i+1} \leq 12\text{m}$
poor	$12\text{m} < SM_i - SM_{i+1}$

주 - 차간거리(Spacing Mean) : 앞차량의 뒷부분에서 뒷차량의 앞부분까지의 거리의 평균

2.4. 연구의 착안점

도로의 안전성을 정확하게 판단하기 위해서는 다양한 요소를 고려하고 상호간 결합된 방법을 종합적으로 검토해야 한다.

따라서 본 연구에서는 기하구조 특성, 교통류 특성 및 운전자의 특성을 종합적으로 고려할 수 있는 연구를 시도하였다.

하지만, 도로선형의 도로 안전성 평가를 위해서는 적어도 3년간의 사고자료가 있어야 하기 때문에 본 연구의 한계점으로 두었다. 본 연구에서 선정된 평가방법론은 다음과 같다.

Table 6. Selection of Methods in This Study

Section	Methods	Choice
road design consistency	- CCR (Curvature Change Rate)	×
running speeding consistency	- Evaluation of Road Design Consistency in one spot	○
	- Evaluation of Road Design Consistency in two spots	○
car platoon safety	- SM (Spacing Mean)	○
	- VD (Velocity Deviation)	○

3. 자료수집

3.1. 대상구간 개요

- 도로연장 : 5.7km
- 설계속도 : 60km/h인
- 차로수 : 왕복2차로 연속류 구간 도로

3.2. 대상구간 현황

- 대상구간 기하구조 현황도 :

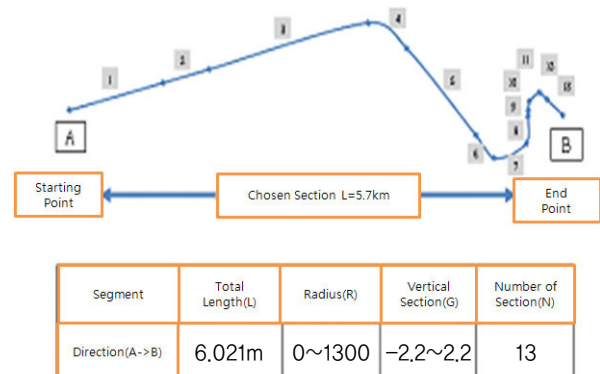


Fig. 1 Present Condition of Road Design in This Study

- 대상구간 구간별 기본값 : 과업대상구간 : A→B 방향 13개 구간으로 분할

Table 7. Roads Information in Each Section (A → B Directions)

Section	Starting Point	End Point	Tangent Length (m)	Radius (m)	Curves	Super Elevation (%)	Super Elevation (%)
1	0-250.0000	0+980.0000	1,230	∞	Straight	2.2	-2
2	0+980.0000	1+580.0000	600	∞	Straight	2.2	-2
3	1+580.0000	3+660.3533	2,080	∞	Straight	-2.2	-2
4	3+660.3533	4+042.7289	382	1300	Right	-2.2	-2
5	4+042.7289	4+600.0000	557	∞	Straight	-2.2	-2
6	4+600.0000	4+748.9411	149	∞	Straight	-2.2	-2
7	4+748.9411	5+187.2952	438	700	Left	0.5	3
8	5+187.2952	5+313.4313	126	∞	Straight	0.5	-2
9	5+313.4313	5+340.0000	27	∞	Straight	-0.5	-2
10	5+340.0000	5+385.6813	46	∞	Straight	-0.5	-2
11	5+385.6813	5+532.6454	147	∞	Straight	-0.5	-2
12	5+532.6454	5+604.8954	72	400	Right	-0.5	-4
13	5+604.8954	5+747.6048	143	∞	Straight	-0.5	-2

4. 분석결과

4.1. 설계일관성 분석

4.1.1. 단일구간의 일관성 평가

분석결과 85percentile 속도(V_{85})는 Good(8구간), Fair(1구간), Poor(4구간)으로 나타났으며, 4개 구간을 제외하고는 설계 일관성이 확보되었다.

Table 8. Results of Road Design Consistency in One Spot (A → B Direction)

Section	Tangent Length (m)	Radius (m)	Vertical gradient (%)	Super Elevation (%)	V_{85}	$ V_{85} - V_d $	Evaluation
1	1,230	∞	2.2	-2	82.20	22.20	poor
2	600	∞	2.2	-2	82.20	22.20	poor
3	2,080	∞	-2.2	-2	82.20	22.20	poor
4	382	1300	-2.2	-2	72.60	12.60	fair
5	557	∞	-2.2	-2	82.20	22.20	poor
6	149	∞	-2.2	-2	65.90	5.90	good
7	438	700	0.5	3	68.33	8.33	good
8	126	∞	0.5	-2	65.90	5.90	good
9	27	∞	-0.5	-2	65.90	5.90	good
10	46	∞	-0.5	-2	65.90	5.90	good
11	147	∞	-0.5	-2	65.90	5.90	good
12	72	400	-0.5	-4	67.84	7.84	good
13	143	∞	-0.5	-2	65.90	5.90	good

4.1.2. 연속구간의 일관성 평가

직선부(10개)와 곡선부(3개) 총13개 구간으로 이루어져 있으며, 개별차량의 주행속도 일관성 분석결과 Good(11구간), Fair(1구간), Poor(0구간)으로 도로선형의 안전성이 양호한 것으로 분석되었다.

Table 9. Results of Road Design Consistency in Two Spots (A → B Direction)

Section	Starting Point	End Point	V_{85}	$ V_{85} - V_d $	Evaluation
1	5+747.6048	5+604.8954	82.20	-	-
2	5+604.8954	5+532.6454	82.20	-	good
3	5+532.6454	5+385.6813	82.20	-	good
4	5+385.6813	5+340.0000	72.60	9.60	good
5	5+340.0000	5+313.4313	82.20	9.60	good
6	5+313.4313	5+187.2952	65.90	16.30	fair
7	5+187.2952	4+748.9411	68.33	2.43	good
8	4+748.9411	4+600.0000	65.90	2.43	good
9	4+600.0000	4+042.7289	65.90	-	good
10	4+042.7289	3+660.3533	65.90	-	good
11	3+660.3533	1+580.0000	65.90	-	good
12	1+580.0000	0+980.0000	67.84	1.94	good
13	0+980.0000	0-250.0000	65.90	1.94	good

4.2. 차량군 안전성 분석

4.2.1. 차간거리(Spacing Mean) 분석결과

차간거리(SM)는 Good(1구간), Fair(10구간), Poor(1구간)로 나타났으며 Poor구간으로 나타난 구간 4(우곡선 구간)의 차간거리(SM)는 약21m이나, 직선구간에서 곡선부에 진입하는 경우에는 운전자의 행태에 따른 영향이 크므로 차간거리의 차이로 도로의 안전성을 직접적으로 평가하기는 적합하지 않다. 이러한 경우에는 직선부에서 곡선부로 주행 시 선형 안전성을 평가하는 속도편차(VD)분석이 적합하다.

Table 10. Results of SM (Spacing Mean) (A → B Direction)

Section	Curves	SM_i	$ SM_i - SM_{i+1} $	Evaluation
1	Straight	59.17	-	-
2	Straight	54.09	5.08	fair
3	Straight	62.89	8.80	fair
4	Right	41.89	21.01	poor
5	Straight	53.57	11.68	fair
6	Straight	44.23	9.34	fair
7	Left	50.36	6.14	fair
8	Straight	43.05	7.31	fair
9	Straight	32.02	11.03	fair
10	Straight	35.86	3.84	good
11	Straight	44.13	8.27	fair
12	Right	35.97	8.16	fair
13	Straight	43.92	7.95	fair

4.2.2. 속도편차(VD) 분석 결과

속도편차(VD) 분석은 도로의 직선부 다음에 곡선부를 주행하게 되는 구간만을 평가하는 지표이다.

분석결과, 속도편차(VD) 분석결과 구간 4에서 Poor로 나타났으며 설계 선형의 안전성에 문제가 있는 것으로 분석되었다.

Table 11. Results of Velocity Deviation(VD)s (A → B Direction)

Section	Radius(m)	Vertical Gradient(%)	VD(km/h)	Evaluation
1	∞	2.2	-	-
2	∞	2.2	-	0
3	∞	-2.2	-	0
4	1,300	-2.2	19.87	poor
5	∞	-2.2	-	0
6	∞	-2.2	-	0
7	700	0.5	16.28	fair
8	∞	0.5	-	0
9	∞	-0.5	-	0
10	∞	-0.5	-	0
11	∞	-0.5	-	0
12	400	-0.5	16.84	fair
13	∞	-0.5	-	0

4.3. 도로안전성 방안

결과를 요약하면, 단일구간 분석에서는 총 4개 구간(1, 2, 3, 5)이 불량한 것으로 나타났으며 속도편차(VD) 분석에서는 1개 구간(4)이 불량한 것으로 나타났다. 5개

Table 12. Criteria of Integrated Evaluation of Road Design Consistency

Section	Evaluation of Road Design Consistency in one spot	Evaluation of Road Design Consistency in two spots	SM (Spacing Mean)	VD (Velocity Deviation)
1	P	-	-	-
2	P	G	F	-
3	P	G	F	-
4	F	G	P	P
5	P	G	F	-
6	G	F	F	-
7	G	G	F	F
8	G	G	F	-
9	G	G	F	-
10	G	G	G	-
11	G	G	F	-
12	G	G	F	F
13	G	G	F	-

주 : G : good, F : fair, P : poor

구간을 제외하고는 모든 구간에서 설계 일관성평가, 주행속도 일관성평가, 차량군 안전성평가 측면에서 양호한 것으로 분석되었다. 본 연구결과에서는 4가지 평가방법이 서로 다른 결과를 보여주었다. 따라서 Table 12와 같이 통합적인 평가 값을 활용한다면 한 가지 평가방법론에서 간과하기 쉬었던 사고위험구간에 대해서 도로안전 개선책을 제시할 수 있다.

불량 구간의 원인으로는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 단일구간 분석결과, 4개 구간(1, 2, 3, 5)에서 운전자들이 제한속도보다 20km/h 이상의 과속이 이루어진 것은 구간 1, 2, 3의 곡선반경이 거의 직선에 가깝기 때문인 것으로 보이며 구간 5에서 과속이 이루어진 것은 4 구간(곡선반경 382m)을 빠져나오면서 가속을 재시도 하였기 때문이다.
- 구간 4에서 속도편차(VD)에 대한 평가가 좋지 않았던 것은 상류부 구간(긴 구간의 직선부)에서 과속이 이루어지다가 구간 4에서 급감속을 하였기 때문이다.

대상구간의 위험구간은 설계요소와 주행속도간의 상호 일관성이 결여되었기 때문에 도로의 선형을 개량함으로써 도로의 안전성을 향상시킬 수 있다.

5. 결론

본 연구는 설계속도가 60km/h인 왕복 2차로 연속류 구간도로에서 도로안전성을 평가하기 위한 주행속도의 일관성 및 차량군의 안전성 분석이 이루어졌다.

분석 결과, 단일구간 평가 및 차량군 안전성 평가에서 총 5개 구간이 불량한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 운전자가 직선구간에서 높은 속도로 주행하다가 곡선구간 진입 시 속도를 줄이지 않았기 때문이다. 대상구간에서의 위험성이 높은 구간은 설계요소들과 주행속도가 상호 일관성이 결여된 것으로 판단된다. 도로의 안전성을 향상시키기 위해서는 도로선형의 개량 및 도로안전 시설물을 개선하여 운전자의 사고위험성을 최소화해야 한다.

본 연구의 결과에서 나타났듯이 도로안전성 평가는 다양한 요소를 고려하고 상호간 결합방법에 따른 종합적인 평가지표를 제시하는 것이 도로의 안전성 측면에서 바람직하다.

연구의 한계점은 본 연구에서 도로의 기하구조 부분을 다루지 않았던 점이다. 이를 위해서는 적어도 3년간

의 자료수집이 확보되어야 하지만 연구수행의 한계로 인해서 이를 다루지 못하였다. 또한 사고자료와 대상구간의 도로안전시설물에 상관조사가 이루어지지 않았기 때문에 추상적인 도로안전개선 방안을 제시하였던 점이다. 이를 보완하기 위해서는 평가방법의 객관성 및 분석의 적절성을 뒷받침하기 위한 통계적 유의 수준의 샘플 수를 확보하여 일반화된 이론 및 결과를 추가 제시할 필요가 있다. 하지만, 그동안 간과되기 쉬었던 사고위험구간에 대해서 사고안전성을 향상시킬 수 있는 기초연구가 될 것이다.

향후 연구로는 도로선형의 일관성, 주행속도의 일관성 및 차량군의 안전성 분석(운전자의 행태 분석) 등에 대한 종합적인 방법론을 이용하여 도로 안전성에 대한 세부통합평가지표를 제시하는 것이다.

References

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2009), *Guideline and Manual for Road Structure and Facility*(국토해양부(2009), '도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 해설')

The National Police Agency (2011), *Statistics of Traffic Accidents*.(경찰청(2011), '교통사고통계')

Choi, Jai-Sung (1998), 'Development of a Traffic Safety Index for Urban Arterials, *Korea Society of Transportation*', v.16 n.3pp. 47-56.

Lee, Soo Il (2006), *The Development of Safety Evaluation Criteria for the Alignment Design Consistency Methods on Rural Highway*, PhD thesis of Han-yang University

Lamm, R., and E. M. Chouiri(1987), 'Rural Roads Speed Inconsistencies Design Methods', *Research Report for the State University of New York, Research Foundation, Parts 1*, Albany, N.Y., U.S.A.

Lamm R.(1995), '*Safety Module for Highways Design*', Unpublished Manuscript, Institute for Highway and Railroad Engineering, University of Karlsruhe, Germany.

Ruediger Lamm, B. Psarianos, and T. Mailaender(1999), '*Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*', McGraw-Hill.

(접수일 : 2012. 8. 10 / 심사일 : 2012. 8. 26 / 심사완료일 : 2013. 1. 10)