

# 주행속도를 고려한 고속도로 나들목 연결로의 편경사 상향조정에 관한 연구

## Increasing Superelevation on Freeway Interchange Ramp based on Running Speed

|     |                |   |
|-----|----------------|---|
| 노정훈 | Roh, Jeonghoon | 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사과정 · 교신저자 (E-mail: ilovemb@paran.com) |
| 김홍배 | Kim, Hong-bae  | 한국도로공사 기술심사처 팀장 (E-mail : kimhb@ex.co.kr)                   |
| 서무인 | Seo, Mu In     | 한국도로공사 기술심사처 차장 (E-mail : smi@ex.co.kr)                     |
| 이길재 | Lee, Gil Jae   | 한국도로공사 기술심사처 과장 (E-mail : onlyfive@hanmail.net)             |

### ABSTRACT

**OBJECTIVES :** Many roadway departure crashes on the freeway interchange are due to the running speed being greater than the design speed. This study aims to ensure a safe and pleasant driving experience for the driver by increasing the superelevation based on the running speed on the highway interchange ramp.

**METHODS :** The mean running speed for each type of ramp is calculated on site survey more than 10 interchanges. Using the mean running speed, we calculated the superelevation and the side friction using the method given in "A Policy on Geometric Design of Highways and Street" (Pages 145-166, 2001). Then, we applied the modified method to the superelevation range. Finally, we ensured safety using the Degree of Safety that is proven by the centrifugal acceleration ratio as suggested by Joseph Craus (1978).

**RESULTS :** The mean running speeds are 50 km/h and 65 km/h when the design speeds are 40 km/h and 50 km/h, respectively. After the application of the new method used in this study, the superelevation will be increased by 9.0% and 10.0% when the mean running speeds are 50 km/h and 65 km/h, respectively.

**CONCLUSIONS :** A higher superelevation can give the driver a more comfortable and safe driving environment. However, the driver needs to be aware of snow and low-temperature conditions.

### Keywords

*Running Speed, Design speed, Superelevation, Side friction, Roadway departure crash, Degree of safety*

Corresponding Author : Roh, Jeonghoon, Director  
Department Highway, Dong Myeong Engineering Co,  
5Fl, Wooil B/D, 497, Cheonggyecheon-ro, Seoul, Korea  
Tel : +82.2.6211.7454 Fax : +82.2.6211.7528  
E-mail : ilovemb@paran.com

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Sep. 21, 2016 Revised Nov. 24, 2016 Accepted Nov. 24, 2016

## 1. 서론

### 1.1. 연구배경

지난 1980년 국내 고속도로 연장은 1,225km에 불과하였으나, 30여년이 지난 2014년 고속도로 연장은 4,139km로서 약 3.4배라는 비약적인 성장을 이루어냈다. 그러나 고속도로의 양적 증가에 편승하여 인구 10만 명당 교통사고는 1980년 217.5명에서 2014년

428.8명으로 약 2배 이상 증가하였다. 특히, 2013년에서 2015년까지 고속도로에서 발생한 교통사고를 분석해 보면 전체 교통사고의 23.3%가 나들목(연결로, 가감속차로 및 톨게이트)에서 발생하였으며, 그 중 32.0%는 과속에 의한 교통사고이다. 즉, 고속도로에서 발생하는 교통사고의 약 7.5%가 나들목에서 과속으로 인해 발생한다고 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 고속도로 나들목에서 과속으로 인해 발생하는 도로이탈사고를 감소시키는 방안으로 주행속도를 고려하여 편경사 개선방향에 대하여 기술하고자 한다.

Table 1. Number of Traffic Accident on Freeway (2013~2015)

| Type     | Overspeed | Sleepiness | Negligence | Others | Total  |
|----------|-----------|------------|------------|--------|--------|
| Freeway  | 4,601     | 3,038      | 6,118      | 11,787 | 25,544 |
| Ramp     | 2,483     | 394        | 805        | 1,186  | 4,868  |
| Tollgate | 205       | 298        | 1,705      | 1,329  | 3,537  |
| Tunnel   | 173       | 217        | 345        | 612    | 1,347  |
| Others   | 107       | 101        | 223        | 223    | 654    |
| Total    | 7,569     | 4,048      | 9,196      | 15,137 | 35,950 |

## 1.2. 연구목적

고속도로 나들목에서 과속으로 인한 교통사고는 연결로 곡선구간을 주행하는 자동차가 곡선주행에 순응하지 못하고 도로 바깥으로 이탈하여 발생한다. 이러한 형식의 교통사고를 도로이탈사고(Roadway Departure Crashes)라 한다. 즉, 도로이탈사고는 곡선구간을 주행하는 자동차에 작용하는 원심력이 도로시설요소(편경사 및 횡방향마찰계수)에 의해 저항하는 힘보다 크게 되면 운전자는 조향능력을 상실하여 자동차가 도로 바깥으로 이탈하면서 발생한다.

도로이탈사고 방지를 위해 연결로 주행차량을 설계속도 이하로 주행할 수 있도록 속도를 제한하는 방법이 타당하나 모든 운전자에게 주행속도를 제한하도록 하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 고속도로 나들목에서 설계속도 이상으로 주행하는 자동차가 주행 안정성을 확보할 수 있도록 도로시설요소들 중 하나인 편경사를 조정하여 운전자에게 보다 안전하고 쾌적한 주행환경을 제공하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 선행연구

고속도로 나들목에서 편경사를 조정하기 위해서는 연결로의 주행속도를 추정하고 그에 따라 편경사를 검토하여야 한다. 따라서 선행연구에 대한 고찰에서는 나들목에서 연결로의 주행속도와 편경사 및 횡방향마찰계수에 대한 연구자료를 검토하였다.

### 2.1. 연결로 주행속도와 관련된 연구

최재성(2008)은 도로설계 시 적용하는 설계속도와 운

영 시 발생하는 주행속도와의 차이로 인해 예상되는 문제점을 개선하기 위해 전국적으로 표본을 선택하여 주행차량의 속도를 조사하고, 속도에 영향을 미치는 설계요소들을 통계분석을 통해 양방향 2차로와 4차로에 대한 주행속도 모형을 제시하였다. 이러한 주행속도 모형은 설계속도에 의해 평면선형을 설계하는 것이 아니라 자동차의 실제 주행속도에 따라 평면선형을 설계하여 기존 설계기법이 갖고 있는 문제점을 해소하고 향후 도로설계에 있어 설계일관성을 확보할 수 있을 것으로 예상하였다.

김용석(2006)은 도로의 안전성평가를 위한 설계일관성분석에 적용되고 있는 주행속도 개념을 기존 원곡선 구간에서 평면선형과 종단선형을 동시에 고려할 수 있도록 3가지 형식의 복합곡선(평면곡선부 : 유형 A, 볼록종단-평면곡선부 : 유형 B, 오목종단-평면곡선부 : 유형 C)으로 분류하고 각 유형별 기하구조 특성과 주행속도와의 관계를 분석하였다.

최석근(2006)은 전국 고속도로를 대상으로 본선 및 연결로의 설계속도와 연결로 형식별로 구분하여 Nose부 주행속도를 측정하였다. 주행속도는 Speed meter 및 DGPS를 이용하여 측정하였으며, 기상상태에 따라 노면건조와 습윤 상태로 분류하였다. 연구결과에 따르면 본선유출부의 주행속도는 기상상태에 따라 큰 변화는 없으나, 본선 및 연결로의 주행속도와 연결로 접속형식에 따라 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 Nose부 설계 시 적정설계속도를 다음과 같이 적용하도록 제안하였다.

- (준)직결인 경우

$$\text{Nose 설계속도} = \left( \frac{\text{본선설계속도} + \text{램프설계속도}}{2} \right) \times \lambda$$

- Loop의 경우

$$\text{Nose 설계속도} = \left( \frac{\text{본선설계속도} + \text{램프설계속도}}{2} \right)$$

Table 2. Coefficient of  $\lambda$

| Highway design speed (km/h) | $\lambda$ | Highway design speed (km/h) | $\lambda$ |
|-----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|
| 120                         | 1.100     | 80                          | 1.200     |
| 110                         | 1.125     | 70                          | 1.225     |
| 100                         | 1.150     | 60                          | 1.250     |
| 90                          | 1.175     | 50                          | 1.275     |

김동영(2004)은 유입연결로의 가속차로 길이를 산정하기 위해 국도에 설치된 설계속도 80km/h 입차교차로

에서 연결로 형식에 따라 주행속도를 측정하고, 다중선 형회귀분석을 통해 노즈부 통과속도 추정모형식을 제시하였다. 가속차로 소요길이는 추정모형식을 이용하여 초기속도를 산정하고 본선설계속도에 적합한 도달속도까지 5km/h씩 속도구간을 설정하여 각 구간별 가속길이를 합산하는 방법을 이용하여 연결로 형식별 가속차로 소요길이를 산정하였다.

## 2.2. 편경사와 횡방향마찰계수와 관련된 연구

옥진규(2006)는 편경사와 마찰계수 변화에 따라 자동차의 주행안전성을 평가하기 위해 국내에서 생산되는 중형 SUV를 대상으로 차량모델을 구성하여 노면의 마찰계수(노면건조, 습윤, 결빙) 및 편경사(0%, 4%, 6%)를 차량의 주행속도에 따라 변화시켜가며 주행시뮬레이션을 수행하여 횡방향가속도 변화를 측정하였다. 직선, 완화곡선 및 원곡선으로 구성된 도로에서 편경사 증가에 따라 차량의 이탈속도를 측정한 결과 동일한 곡선반지름에서 편경사가 증가할수록 횡방향가속도는 감소하고, 편경사의 기울기가 커질수록 자동차가 안전성을 확보할 수 있는 한계속도가 증가하는 것으로 조사되었다.

정승원(2013)은 고속도로의 설계속도를 140km/h를 적용함에 있어 자동차가 곡선부에서 안전하게 주행할 수 있도록 인간공학적 특성인 뇌파를 분석하여 곡선반지름에 따른 편경사와 횡방향마찰계수 배분에 관한 연구를 수행하였다. 설계속도 140km/h일 경우 편경사와 마찰계수와의 배분을 검토한 결과 편경사는 상향조정되고 횡방향마찰계수는 하향조정되는 것으로 조사되었으며, 최대편경사와 횡방향마찰계수가 각각 2%정도 조정되어 운전자는 고속에서 보다 쾌적한 주행을 할 수 있을 것으로 예상하였다.

선행연구를 검토한 결과 주행속도와 관련된 연구에서는 속도예측을 위한 모형구축과 선형요소에 따른 주행안전성 평가 그리고 Nose부 주행속도를 측정하여 가속차로 길이를 측정하기 위한 연구이며, 편경사와 횡방향마찰계수와 관련된 연구는 설계속도 조정에 따라 편경사 변경에 관한 연구로서, 선행된 연구 모두 본선과 나들목 Nose와 관련된 주행속도, 본선에서 편경사 및 횡방향마찰계수에 관한 연구였다. 그러나 본 연구에서는 나들목에서 연결로 최소곡선구간을 통과하는 자동차의 주행속도를 측정하고, 평균주행속도(V85)에 적합하도록 편경사와 횡방향마찰계수를 재배분한다는 점에서 타 연구와의 차별성을 갖는데 그 의미가 있다.

## 3. 관련기준

본 장에서는 도로설계 시 적용되는 편경사 계산방법에 대하여 알아보도록 한다. 설계속도에 따라 곡선반지름별 편경사는 국내 기준인 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙(2009)」과 미국 기준인 「A Policy on Geometric Design of Highways and Street(2001)」에서는 다음과 같이 설명하고 있다.

### 3.1. 편경사와 횡방향마찰계수의 배분

곡선구간을 주행하는 자동차는 원심력에 저항하기 위해 편경사와 횡방향마찰력이 필요하며, 편경사와 횡방향마찰계수는 도로조건, 교통조건 및 환경조건에 따라 배분방법이 달라진다. 일반적으로 편경사와 횡방향마찰계수의 배분은 5가지 방법이 있으며 우리나라에서는 방법5에 의해 편경사와 마찰계수를 배분하고 있다(대한토목학회, 2009).

- 방법1: 편경사와 횡방향마찰계수를 곡선반지름의 곡률(1/R)에 직선비례로 증가시키는 방법(곡선반지름에 반비례)
- 방법2: 자동차가 설계속도로 주행 시, 횡방향마찰계수를 평면곡선반지름의 곡률에 직선비례하여 최대 횡방향마찰력까지 증가시키고 난 후 편경사를 평면곡선반지름의 곡률에 직선비례로 증가
- 방법3: 자동차가 설계속도로 주행 시, 편경사를 평면곡선 반지름의 곡률에 직선비례로 최대 편경사까지 증가시키고 난 후 횡방향마찰계수를 평면곡선 반지름

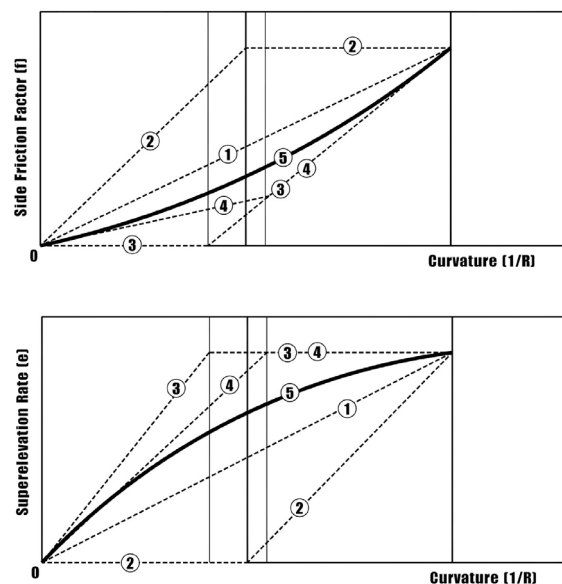


Fig. 1 Methods of Distributing Superelevation and Side Friction

의 곡률에 직선비례로 증가

- 방법4: 방법3에서 설계속도를 평균주행속도로 적용
- 방법5: 방법1과 방법3에서 얻어진 값들을 이용해서 포물선 식으로 편경사와 횡방향마찰계수를 결정

### 3.2. 편경사 계산방법

곡선반지름에 따른 편경사는 앞서 설명한 '방법5'에 의하여 다음과 같은 방법으로 산정된다.

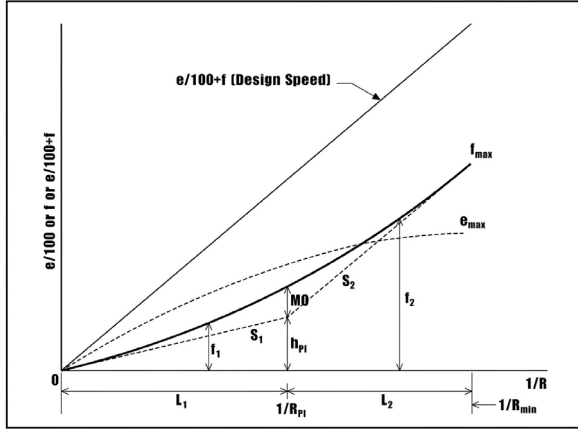


Fig. 2 Method 5 Procedure for Development of the Finalized  $e$  Distribution

- (1) 방법3의 직선식에서 유추한 포물선식으로 평면곡선 반지름에 따른 횡방향마찰계수( $f$ ) 산정(AASHTO, 2001)

- 곡선반지름에 관한 식은

$$0.01e + f = \frac{0.0079 V^2}{R} \quad (1)$$

여기서,  $V_D : V =$  설계속도, km/h

$e_{max} : e =$  최대편경사

$f_{max} : f =$  최대횡방향마찰계수

$R_{min} : R =$  최소곡선반지름, m

$$R_{pl} : R_{pl} = \frac{0.0079 V_R^2}{0.01e_{max}}$$

$V_R :$  주행속도, km/h

- 따라서, 최소곡선반지름에 관한 식은

$$R_{min} = \frac{0.0079 V_D^2}{0.01e_{max} + f_{max}} \quad (2)$$

- $R_{pl}$  점에서  $(0.01e + f)_D - (0.01e + f)_R = h$ 이므로

$$h_{pl} = \left( \frac{(0.01e_{max}) V_D^2}{V_R^2} \right) - 0.01e_{max} \quad (3)$$

여기서,  $h_{pl} : 1/R$  축에서부터 PI 이격거리

- 또한

$$S_1 = h_{pl}(R_{pl}) \quad (4)$$

여기서,  $S_1 =$  ①의 기울기

$$S_2 = \frac{f_{max} - h_{pl}}{\frac{1}{R_{min}} - \frac{1}{R_{pl}}} \quad (5)$$

여기서,  $S_2 =$  ②의 기울기

- MO에 관한 방정식

$$MO = \frac{L_1 L_2 (S_2 - S_1)}{2(L_1 + L_2)} \quad (6)$$

여기서,  $L_1 = \frac{1}{R_{pl}}, L_2 = \frac{1}{R_{min}} - \frac{1}{R_{pl}}$

$$MO = \frac{1}{R_{pl}} \left( \frac{1}{R_{min}} - \frac{1}{R_{pl}} \right) \left( \frac{S_2 - S_1}{2} \right) R_{min} \quad (7)$$

여기서, MO :  $f$  분포곡선의 중간 값

$$(0.01e + f)_D = \frac{(0.01e_{max} + f_{max}) R_{min}}{R} \quad (8)$$

- 일반적인 곡선방정식을 이용하면

$$\frac{Y}{MO} = \left( \frac{x}{L} \right)^2 \quad (9)$$

- 따라서,  $R \geq R_{pl}$ 이면

$$f_1 = MO \left( \frac{R_{pl}}{R} \right)^2 + \frac{S_1}{R} \quad (10)$$

- $R < R_{pl}$  이면

$$f_2 = MO \left( \frac{\frac{1}{R_{min}} - \frac{1}{R}}{\frac{1}{R_{min}} - \frac{1}{R_{pl}}} \right)^2 + h_{pl} + S_2 \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{R_{pl}} \right) \quad (11)$$

- (2) 설계속도와 평면곡선반지름에 따라  $\frac{V_D^2}{127R}$ 을 계산

- (3) 편경사  $i$  는 (1), (2)의 계산값에 따라 다음과 같이 산정

$$i = \frac{V_D^2}{127R} - (f_1 \text{ or } f_2) \quad (12)$$

위 계산식을 이용하여 국내에서 적용되고 있는 곡선 반지름에 따른 편경사 기준을 분석해 보면, 편경사는 소수점 첫째 자리에서 계산값을 반올림하여 적용하고 있으며,  $(i+f)$ 는 곡선반지름이 커질수록 편경사에 더 큰 값이 배분되고 곡선반지름이 작을수록 횡방향 마찰계수에 더 큰 값이 배분되어진다.

Table 3은 최대편경사 6%일 때 곡선반지름에 따른 편경사와 횡방향마찰계수를 계산한 것이다. Table 3과 같이 최소곡선반지름에서는 설계속도에 따른 최대횡방향마찰계수가 적용되나, 편경사생략 곡선반지름에서의 횡방향마찰계수가 극히 작아 횡방향으로 작용하는 힘이 거의 없다는 것을 알 수 있다.

## 4. 현장조사 및 분석방법론

### 4.1. 현장조사

연결로 주행속도의 측정은 고속도로에 일반적으로 설치·운영되고 있는 트럼펫형나들목 중 왜관나들목 외 7개소를 대상으로 하였으며, 조사기간은 2016년 6월 7일 부터 약 2주간 실시하였다. 또한 조사의 정확성을 위해 주말 및 출·퇴근 교통정체가 발생하는 시간은 피하여 조사를 실시하였다. 주행속도 측정은 먼저 한국도로공사에서 보유하고 있는 준공도를 이용하여 연결로별 최소곡선구간을 확인하고 현장에서 25m 간격으로 측정 지점을 표시하였다. 주행속도는 드론(Drone)을 이용하

여 주행중인 자동차를 촬영하고 이동거리에 따른 주행 시간을 측정하여 순간속도를 계산하였다. Table 4는 나들목 지점별 속도측정 데이터의 최소값, 중간값 및 최대 값을 나타낸 테이블이다.



Fig. 3 Points for the Operating Speed Measurement (East-Changwon IC)

속도측정 데이터는 지점 당 차종에 관계없이 20대를 측정하였으며, 측정된 속도의 85 Percentile 속도를 그 지점의 평균주행속도(V85)로 결정하였다.

### 4.2. 분석방법론

평균주행속도(V85)는 자동차가 연결로 최소곡선구간을 통과하는 속도의 85 Percentile 속도로 정의하였으며 이를 산정하기 위해 연결로형식(우직결, 준직결, Loop)별 주행속도 측정자료를 이용하였다.

산정된 평균주행속도를 적용하여 A Policy on Geometric Design of Highways and Street(2001)에서 제시한 방법으로 편경사와 횡방향마찰계수를 재배분하였으며, 평균주행속도를 이용한 방법과 설계속도를 이용한 방법을 비교하여 편경사 조정방안을 도출하였

Table 3. Values for Design Elements Related to Design Speed and Horizontal Curvature ( $e_{max} = 6\%$ )

| Design speed (km/h) |               | Superelevation   |               |               |               |               |               |           |
|---------------------|---------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
|                     |               | Calculated value | Up to 1.5%    | 1.5%~2.5%     | 2.5%~3.5%     | 3.5%~4.5%     | 4.5%~5.5%     | 5.5%~6.0% |
|                     |               | Applied value    | -2.0%         | +2.0%         | +3.0%         | +4.0%         | +5.0%         | +6.0%     |
| 120                 | Radius (m)    | 6,900            | 6,900~3,840   | 3,840~2,470   | 2,470~1,610   | 1,610~1,050   | 1,050~710     |           |
|                     | Side friction | 0.0014           | 0.0014~0.0046 | 0.0046~0.0110 | 0.0110~0.0255 | 0.0255~0.0532 | 0.0532~0.1000 |           |
| 100                 | Radius (m)    | 4,800            | 4,800~2,650   | 2,650~1,690   | 1,690~1,070   | 1,070~690     | 690~460       |           |
|                     | Side friction | 0.0014           | 0.0014~0.0047 | 0.0047~0.0116 | 0.0116~0.0283 | 0.0283~0.0586 | 0.0586~0.1000 |           |
| 80                  | Radius (m)    | 3,100            | 3,100~1,680   | 1,680~1,060   | 1,060~670     | 670~420       | 420~280       |           |
|                     | Side friction | 0.0015           | 0.0015~0.0050 | 0.0050~0.0126 | 0.0126~0.0305 | 0.0305~0.0650 | 0.0650~0.1200 |           |
| 60                  | Radius (m)    | 1,700            | 1,700~940     | 940~580       | 580~350       | 350~220       | 220~140       |           |
|                     | Side friction | 0.0016           | 0.0016~0.0052 | 0.0052~0.0138 | 0.0138~0.0357 | 0.0357~0.0732 | 0.0732~0.1400 |           |
| 40                  | Radius (m)    | 800              | 800~420       | 420~260       | 260~150       | 150~90        | 90~60         |           |
|                     | Side friction | 0.0016           | 0.0016~0.0057 | 0.0057~0.0149 | 0.0149~0.0417 | 0.0417~0.0903 | 0.0903~0.1600 |           |

Table 4. Measured Running Speed Data

| Interchange name  | Ramp type             | Position | Running speed (km/h) |        |      |
|-------------------|-----------------------|----------|----------------------|--------|------|
|                   |                       |          | Min                  | Median | Max  |
| Waegwan IC        | Loop                  | P1       | 52.9                 | 57.3   | 61.2 |
|                   |                       | P2       | 52.3                 | 56.6   | 60.4 |
|                   |                       | P3       | 52.0                 | 56.3   | 60.0 |
|                   |                       | P4       | 51.7                 | 55.9   | 59.6 |
|                   | Right-turn (Entrance) | P1       | 49.2                 | 52.9   | 57.0 |
|                   |                       | P2       | 46.6                 | 50.0   | 53.6 |
|                   |                       | P3       | 45.5                 | 48.6   | 52.0 |
|                   |                       | P4       | 45.5                 | 48.6   | 52.0 |
|                   | Right-turn            | P1       | 55.2                 | 60.0   | 65.2 |
|                   |                       | P2       | 54.5                 | 59.2   | 64.3 |
|                   |                       | P3       | 54.2                 | 58.8   | 63.8 |
|                   |                       | P4       | 53.6                 | 58.1   | 62.9 |
|                   | Semidirect            | P1       | 49.2                 | 52.9   | 54.9 |
|                   |                       | P2       | 48.9                 | 52.6   | 54.5 |
|                   |                       | P3       | 48.6                 | 52.3   | 54.2 |
|                   |                       | P4       | 47.9                 | 51.4   | 53.3 |
| Yuseng IC         | Loop                  | P1       | 49.2                 | 52.9   | 57.0 |
|                   |                       | P2       | 47.9                 | 51.4   | 55.2 |
|                   |                       | P3       | 47.9                 | 51.4   | 55.2 |
|                   |                       | P4       | 46.9                 | 50.3   | 53.9 |
|                   | Right-turn (Entrance) | P1       | 42.3                 | 45.0   | 47.9 |
|                   |                       | P2       | 40.4                 | 42.9   | 45.5 |
|                   |                       | P3       | 40.4                 | 42.9   | 45.5 |
|                   | Right-turn            | P1       | 59.2                 | 64.7   | 70.9 |
|                   |                       | P2       | 59.2                 | 64.7   | 70.9 |
| P3                |                       | 58.1     | 63.4                 | 69.2   |      |
| Gyeryong IC       | Loop                  | P1       | 60.0                 | 64.3   | 68.2 |
|                   |                       | P2       | 60.0                 | 64.3   | 68.2 |
|                   |                       | P3       | 56.3                 | 60.0   | 63.4 |
|                   |                       | P4       | 56.3                 | 60.0   | 63.4 |
|                   | Right-turn (Entrance) | P1       | 56.3                 | 60.0   | 69.2 |
|                   |                       | P2       | 56.3                 | 60.0   | 69.2 |
|                   |                       | P3       | 56.3                 | 60.0   | 69.2 |
|                   |                       | P4       | 52.9                 | 56.3   | 64.3 |
|                   | Right-turn            | P1       | 62.1                 | 64.3   | 69.2 |
|                   |                       | P2       | 64.3                 | 66.7   | 72.0 |
|                   |                       | P3       | 64.3                 | 66.7   | 72.0 |
|                   |                       | P4       | 62.1                 | 64.3   | 69.2 |
|                   | Semidirect            | P1       | 69.8                 | 75.0   | 80.4 |
|                   |                       | P2       | 69.8                 | 75.0   | 80.4 |
|                   |                       | P3       | 72.6                 | 78.3   | 84.1 |
|                   |                       | P4       | 72.6                 | 78.3   | 84.1 |
| West, Gwangsan IC | Loop                  | P1       | 54.5                 | 56.3   | 58.1 |
|                   |                       | P2       | 51.4                 | 52.9   | 54.5 |
|                   |                       | P3       | 46.2                 | 47.4   | 48.6 |
|                   |                       | P4       | 43.9                 | 45.0   | 46.2 |
|                   | Semidirect            | P1       | 45.0                 | 47.4   | 51.4 |
|                   |                       | P2       | 50.0                 | 52.9   | 56.3 |
|                   |                       | P3       | 54.5                 | 56.3   | 60.0 |
|                   |                       | P4       | 54.5                 | 56.3   | 60.0 |
| North, Daegu IC   | Loop                  | P1       | 35.7                 | 36.7   | 38.8 |
|                   |                       | P2       | 46.9                 | 48.6   | 52.3 |
|                   |                       | P3       | 44.6                 | 46.2   | 49.5 |
|                   |                       | P4       | 31.9                 | 34.4   | 37.5 |
|                   | Semidirect            | P1       | 53.6                 | 56.3   | 60.0 |
|                   |                       | P2       | 53.6                 | 56.3   | 60.0 |
|                   |                       | P3       | 53.3                 | 55.9   | 59.6 |
|                   |                       | P4       | 53.9                 | 56.6   | 60.4 |
|                   |                       | P5       | 53.6                 | 56.3   | 60.0 |

|                   |            |    |      |      |      |
|-------------------|------------|----|------|------|------|
| Wonju IC          | Loop       | P1 | 47.4 | 50.0 | 51.4 |
|                   |            | P2 | 46.2 | 48.6 | 50.0 |
|                   |            | P3 | 45.0 | 47.4 | 48.6 |
|                   |            | P4 | 46.2 | 48.6 | 50.0 |
|                   | Semidirect | P1 | 56.3 | 60.0 | 64.3 |
|                   |            | P2 | 58.1 | 62.1 | 66.7 |
|                   |            | P3 | 56.3 | 60.0 | 64.3 |
|                   |            | P4 | 56.3 | 60.0 | 64.3 |
| East, Changwon IC | Loop       | P1 | 50.0 | 52.9 | 56.3 |
|                   |            | P2 | 47.4 | 52.9 | 56.3 |
|                   |            | P3 | 40.9 | 50.0 | 60.0 |
|                   |            | P4 | 40.9 | 64.3 | 69.2 |
| Gyeongsan IC      | Right-turn | P1 | 57.7 | 60.0 | 63.4 |
|                   |            | P2 | 61.6 | 64.3 | 68.2 |
|                   |            | P3 | 66.2 | 69.2 | 73.8 |

다. 그리고 편경사 조정에 대한 안전성은 Joseph Craus가 제시한 원심가속도 비(Ratio)를 이용하여 안전도(Degree of Safety)를 검증하였다.

Joseph Craus는 Superelevation and Curvature of Horizontal Curves(1978)에서 도로의 곡선구간에서 편경사와 횡방향마찰계수 배분방법에 관하여 안전도(Degree of Safety)라는 개념을 설명하였다. 이 개념에 따르면 곡선부에서 차량의 주행안전성 향상을 위해 횡방향마찰계수보다 편경사에 상대적으로 더 많이 배분하는 것이 좋은 설계 방향이라고 하였다. Craus는 설계속도와 다른 속도로 주행하는 자동차의 안전도(Degree of Safety)를 파라미터  $\beta^2$ 으로 표기하고 편경사가속도와 원심가속도의 비(ratio)로 계산하였다.

$$\beta^2 = a_e/a_c \quad (13)$$

여기서,  $a_c: V^2/R$  (원심가속도)

$a_e: g \times e$  (편경사가속도)

## 5. 주행속도 산정 및 편경사와 횡방향마찰계수의 배분

### 5.1. 주행속도 산정

#### 5.1.1. Loop연결로 주행속도 산정

Loop연결로의 평균주행속도는 자동차가 Loop연결로의 최소곡선구간을 통과하는 구간에서 25m 간격으로 주행속도를 측정하여 85Percentile 속도를 산정하였다. Loop연결로에서 최소곡선구간은 나들목 계획에 따라 곡선반지름과 곡선연장에 일부 차이가 있으나, 조사대상 나들목의 곡선반지름은 R=53m, 원곡선길이

L=120m 내외를 적용하고 있었다. Table 5는 동창원나들목 외 6개소에서 Loop연결로 최소곡선구간에서 주행속도를 산정한 도표로서, 주행속도를 유출·유입으로 구분하여 평균주행속도(V85)를 계산해보면 유입연결로에서는 54.3km/h, 유출연결로에서는 50.4km/h로 계산되며, 유출입 구분없이 평균주행속도는 53.2km/h로 계산되었다.

Table 5. 85 Percentile Running Speed of Loop Ramp

| Interchange name | Running speed (km/h) | Type     | Interchange name  | Running speed (km/h) | Type     |
|------------------|----------------------|----------|-------------------|----------------------|----------|
| Waegwan IC       | 60.0                 | Entrance | East. Changwon IC | 55.3                 | Entrance |
|                  | 59.2                 |          |                   | 54.9                 |          |
|                  | 58.8                 |          |                   | 57.1                 |          |
|                  | 58.4                 |          |                   | 65.0                 |          |
| Yuseng IC        | 55.8                 | Entrance | West. Gwangsan IC | 57.5                 | Exit     |
|                  | 54.1                 |          |                   | 54.1                 |          |
|                  | 54.1                 |          |                   | 48.3                 |          |
| North. Daegu IC  | 38.3                 | Entrance | Wonju IC          | 50.8                 | Exit     |
|                  | 51.5                 |          |                   | 49.4                 |          |
|                  | 48.7                 |          |                   | 48.1                 |          |
| Gyeryong IC      | 36.7                 | Entrance | Wonju IC          | 49.4                 | Exit     |
|                  | 58.5                 |          |                   | 48.1                 |          |
|                  | 54.9                 |          |                   | 49.4                 |          |

### 5.1.2. 우직결연결로 주행속도 산정

우직결연결로의 평균주행속도는 Loop 구간과 마찬가지로 자동차가 최소곡선구간을 통과하는 구간에서 25m 간격으로 주행속도를 측정하여 85Percentile 속도를 산정하였다. 그러나 우직결연결로는 Loop연결로

Table 6. 85 Percentile Running Speed of Righ-turn Ramp

| Interchange name | Running speed (km/h) | Type        | Interchange name | Running speed (km/h) | Type     |      |      |
|------------------|----------------------|-------------|------------------|----------------------|----------|------|------|
| Waegwan IC       | 55.8                 | Entrance    | Gyeongsan IC     | 62.5                 | Exit     |      |      |
|                  | 52.5                 |             |                  | 67.2                 |          |      |      |
|                  | 51.0                 |             |                  | 72.6                 |          |      |      |
|                  | 63.7                 | Exit        | Gyeryong IC      | 78.8                 | Entrance |      |      |
|                  | 62.8                 |             |                  | 72.4                 |          |      |      |
|                  | 62.4                 |             |                  | 72.4                 |          |      |      |
| 61.5             | Entrance             | Gyeryong IC | 68.2             | Exit                 |          |      |      |
| 47.0             |                      |             | 70.8             |                      |          |      |      |
| 44.7             |                      |             | 70.8             |                      |          |      |      |
| 44.7             |                      |             | 68.2             |                      |          |      |      |
| Yuseng IC        | 69.1                 | Exit        | Gyeryong IC      | 68.2                 | Exit     |      |      |
|                  | 69.1                 |             |                  | 68.2                 |          |      |      |
|                  | 67.6                 | Entrance    |                  | Gyeryong IC          |          | 68.2 | Exit |
|                  | 67.6                 |             |                  |                      |          | 68.2 |      |

와 달리 그 형식이 정형화 되어 있지 않고, 나들목의 입지여건에 따라 다양한 크기의 곡선반지름이 적용되므로 연결로의 기하구조에 따라 주행속도 편차가 크게 발생할 수 있다. Table 6은 왜관나들목 외 3개소에서 우직결연결로 최소곡선구간에서의 주행속도(V85)를 산정한 도표이다. 우직결연결로의 주행속도를 유출, 유입으로 구분하여 평균주행속도를 계산해보면 유입연결로에서는 58.4km/h, 유출연결로에서는 66.9km/h로 계산되며, 유출입 구분없이 평균주행속도는 63.2km/h로 계산되었다.

### 5.1.3. 준직결연결로 주행속도 산정

준직결연결로의 평균주행속도는 앞서 언급한 연결로와 마찬가지로 자동차가 최소곡선구간을 통과하는 구간에서 25m 간격으로 주행속도를 측정하여 85 Percentile 속도를 산정하였다. 준직결연결로는 Loop 및 우직결연결로와 달리 배향곡선을 이루고 있으며, 일반적으로 Loop와 접속된 곡선에서 최소곡선반지름을 취하게 된다. Table 7은 북대구나들목 외 4개소에서 최소곡선구간에서의 주행속도를 산정한 도표이다. 준직결연결로의 평균주행속도를 유출, 유입으로 구분하여 계산해보면 유입연결로에서는 59.7km/h, 유출연결로에서는 57.4km/h로 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 유출입 구분없이 평균주행속도는 58.3km/h로 계산되었다.

Table 7. 85 Percentile Running Speed of Semidirect Ramp

| Interchange name  | Running speed (km/h) | Type     | Interchange name | Running speed (km/h) | Type     |
|-------------------|----------------------|----------|------------------|----------------------|----------|
| North. Daegu IC   | 59.0                 | Exit     | Wonju IC         | 65.4                 | Entrance |
|                   | 59.0                 |          |                  | 63.1                 |          |
|                   | 58.7                 |          |                  | 63.1                 |          |
|                   | 59.4                 |          | Gyeryong IC      | 62.3                 | Exit     |
|                   | 59.0                 |          |                  | 58.3                 |          |
| West. Gwangsan IC | 50.5                 | Entrance | Gyeryong IC      | 58.3                 | Exit     |
|                   | 55.3                 |          |                  | 58.3                 |          |
|                   | 59.2                 |          |                  | 58.3                 |          |
|                   | 59.2                 |          | Waegwan IC       | 54.0                 | Exit     |
|                   | 58.1                 |          |                  | 53.4                 |          |
|                   |                      |          | 52.4             |                      |          |

### 5.1.4. 설계속도에 따른 평균주행속도(V85)

앞서 설명한 바와 같이 설계속도 40km/h로 계획된 고속도로 Loop연결로에서는 설계속도보다 11.1km/h 이상 높은 속도로 주행하는 것으로 조사되었으며, 설계

속도 50km/h로 계획되는 우직결, 준직결 연결로는 설계속도보다 각각 13.2km/h, 8.3km/h 이상 높은 속도로 주행하는 것으로 조사되었다. 특히 우직결 유출연결로는 본선에서 유출하는 운전자가 속도를 충분히 감속하지 않는 경향이 있어 설계속도보다 16.9km/h 이상 높은 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서의 연결로 평균주행속도(V85)를 위 조사결과를 토대로 설계속도 40km/h일 때 50km/h, 설계속도 50km/h일 때는 주행속도가 가장 높은 우직결 유출연결로의 주행속도를 고려하여 65km/h로 추정하였다. 그러나 설계속도에 따른 평균주행속도는 편경사와 횡방향마찰계수 배분을 위해 위 조사결과를 토대로 추정된 속도로서 향후 추가연구를 통해 보다 신뢰성 있는 평균주행속도 산정이 필요하다.

## 5.2. 편경사와 횡방향마찰계수의 배분

현재 사용하고 있는 곡선반지름별 편경사는 '3.2 편경사 계산방법'에 따라 주행속도와 설계속도가 동일하다는 가정 아래 결정된 것이다. 그러나 실제 주행속도는 설계속도와 동일하지 않으므로 본 절에서는 횡방향마찰계수 및 편경사 계산 시 앞서 가정한 연결로의 평균주행속도(V85)를 적용하였다.

Table 8. Distribution of Superelevation and Side Friction ( $e_{max} = 8.0\%$ )

| R (m) | $V_D = 40\text{km/h}, V_R = 40\text{km/h}$ |        | $V_D = 40\text{km/h}, V_R = 50\text{km/h}$ |        |
|-------|--|--------|--|--------|
|       | $e$ (%)                                    | $f$    | $e$ (%)                                    | $f$    |
| 50    | 9.20                                       | 0.1600 | 9.20                                       | 0.1600 |
| 60    | 8.70                                       | 0.1225 | 8.80                                       | 0.1219 |
| 70    | 8.20                                       | 0.0975 | 8.40                                       | 0.0963 |
| 80    | 7.80                                       | 0.0798 | 7.90                                       | 0.0780 |
| 90    | 7.30                                       | 0.0667 | 7.60                                       | 0.0643 |
| 100   | 6.90                                       | 0.0565 | 7.20                                       | 0.0537 |
| 110   | 6.60                                       | 0.0484 | 6.90                                       | 0.0452 |
| 120   | 6.30                                       | 0.0419 | 6.70                                       | 0.0388 |
| 130   | 6.00                                       | 0.0365 | 6.40                                       | 0.0325 |
| 140   | 5.80                                       | 0.0319 | 6.20                                       | 0.0277 |
| 150   | 5.60                                       | 0.0280 | 6.00                                       | 0.0236 |
| 160   | 5.40                                       | 0.0247 | 5.90                                       | 0.0200 |
| 170   | 5.20                                       | 0.0219 | 5.70                                       | 0.0169 |
| 180   | 5.10                                       | 0.0195 | 5.60                                       | 0.0141 |
| 190   | 4.90                                       | 0.0175 | 5.50                                       | 0.0117 |
| 200   | 4.70                                       | 0.0158 | 5.30                                       | 0.0095 |
| 210   | 4.60                                       | 0.0143 | 5.20                                       | 0.0076 |
| 220   | 4.40                                       | 0.0131 | 5.10                                       | 0.0058 |
| 230   | 4.30                                       | 0.0119 | 5.10                                       | 0.0042 |
| 240   | 4.20                                       | 0.0110 | 5.00                                       | 0.0027 |

Table 9. Distribution of Superelevation and Side Friction ( $e_{max} = 8\%$ )

| R (m) | $V_D = 50\text{km/h}, V_R = 50\text{km/h}$ |        | $V_D = 50\text{km/h}, V_R = 65\text{km/h}$ |        |
|-------|--|--------|--|--------|
|       | $e$ (%)                                    | $f$    | $e$ (%)                                    | $f$    |
| 80    | 8.60                                       | 0.1600 | 8.60                                       | 0.1600 |
| 90    | 8.40                                       | 0.1344 | 8.50                                       | 0.1341 |
| 100   | 8.20                                       | 0.1149 | 8.30                                       | 0.1143 |
| 110   | 7.90                                       | 0.0997 | 8.00                                       | 0.0986 |
| 120   | 7.70                                       | 0.0874 | 7.80                                       | 0.0859 |
| 130   | 7.40                                       | 0.0774 | 7.60                                       | 0.0755 |
| 140   | 7.20                                       | 0.0690 | 7.40                                       | 0.0667 |
| 150   | 6.90                                       | 0.0619 | 7.20                                       | 0.0593 |
| 160   | 6.70                                       | 0.0558 | 6.90                                       | 0.0529 |
| 170   | 6.50                                       | 0.0506 | 6.80                                       | 0.0474 |
| 180   | 6.30                                       | 0.0460 | 6.70                                       | 0.0425 |
| 190   | 6.20                                       | 0.0420 | 6.50                                       | 0.0382 |
| 200   | 6.00                                       | 0.0384 | 6.40                                       | 0.0344 |
| 210   | 5.90                                       | 0.0352 | 6.30                                       | 0.0310 |
| 220   | 5.70                                       | 0.0323 | 6.20                                       | 0.0279 |
| 230   | 5.60                                       | 0.0298 | 6.00                                       | 0.0252 |
| 240   | 5.50                                       | 0.0274 | 5.90                                       | 0.0226 |
| 250   | 5.30                                       | 0.0253 | 5.80                                       | 0.0203 |
| 260   | 5.20                                       | 0.0234 | 5.80                                       | 0.0182 |
| 270   | 5.10                                       | 0.0217 | 5.70                                       | 0.0163 |
| 280   | 5.00                                       | 0.0202 | 5.60                                       | 0.0145 |
| 290   | 4.90                                       | 0.0188 | 5.50                                       | 0.0128 |
| 300   | 4.80                                       | 0.0176 | 5.40                                       | 0.0113 |
| 310   | 4.70                                       | 0.0164 | 5.40                                       | 0.0098 |
| 320   | 4.60                                       | 0.0154 | 5.30                                       | 0.0085 |
| 330   | 4.50                                       | 0.0145 | 5.20                                       | 0.0072 |
| 340   | 4.40                                       | 0.0137 | 5.20                                       | 0.0061 |
| 350   | 4.30                                       | 0.0129 | 5.10                                       | 0.0050 |
| 360   | 4.20                                       | 0.0122 | 5.10                                       | 0.0039 |
| 370   | 4.20                                       | 0.0115 | 5.00                                       | 0.0030 |
| 380   | 4.10                                       | 0.0109 | 5.00                                       | 0.0020 |
| 390   | 4.00                                       | 0.0104 | 4.90                                       | 0.0012 |
| 400   | 3.90                                       | 0.0099 | 4.90                                       | 0.0003 |

Table 8과 Table 9는 설계속도와 평균주행속도를 적용하여 편경사와 횡방향마찰계수를 계산한 것이며, Fig. 4, Fig. 5는 Table 8과 Table 9를 도식화 한 것이다.

Fig. 4, Fig. 5에서 볼 수 있듯이 주행속가 설계속도보다 높은 경우 횡방향마찰계수 값이 더 작게 계산되므로 상대적으로 편경사는 더 큰 값이 된다. 따라서, 설계속도보다 더 큰 속도로 주행하는 경우에는 도로의 주행 안전성 확보를 위해 편경사를 크게 하는 것이 이론적으로 타당하다고 할 수 있다.



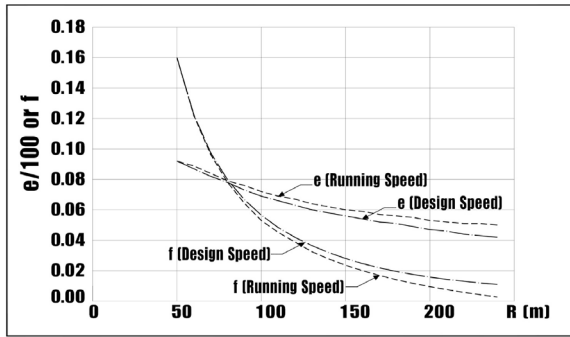


Fig. 4 Redistribution of Superelevation and Side Friction ( $e_{max} = 8\%$ )

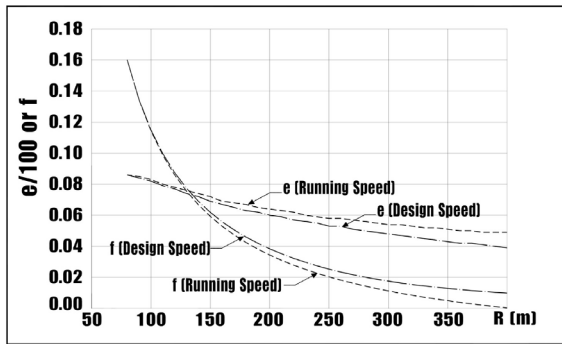


Fig. 5 Redistribution of Superelevation and Side Friction ( $e_{max} = 8\%$ )

더 필요하게 되어 운전자에게 불쾌감을 유발하고 노면 이상(빗길, 적설 및 결빙)시 잠재적 도로이탈사고 발생 가능성이 높아진다고 볼 수 있다.

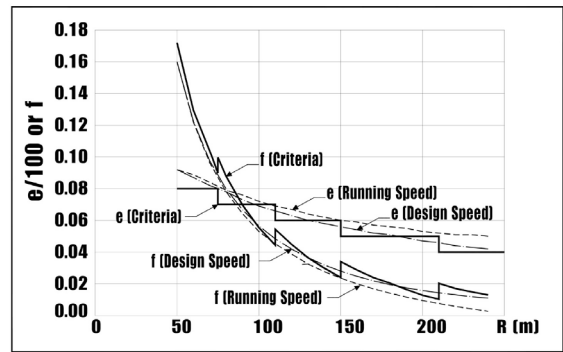


Fig. 6 Superelevation and Side Friction Criteria ( $V_D = 40\text{km/h}$ )

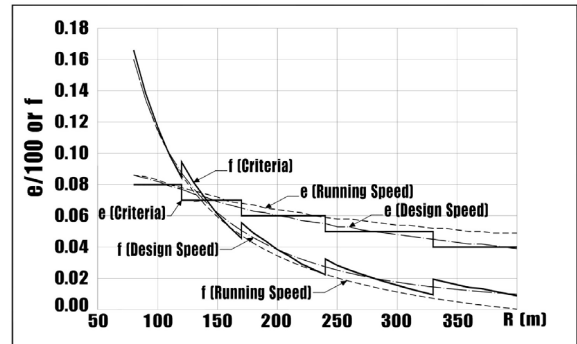


Fig. 7 Superelevation and Side Friction Criteria ( $V_D = 50\text{km/h}$ )

## 6. 문제점 및 개선방향

### 6.1. 문제점

Table 10은 현재 적용되고 있는 설계속도에 따른 편경사 적용기준이다. 위 기준값을 앞서 도출된 Fig. 4, Fig. 5에 도시해 보면 Fig. 6, Fig. 7을 얻을 수 있다.

즉, 현재 적용되고 있는 최대편경사 8.0%는 최소곡선 반지름에서 원심력에 저항하기 위해 필요한 최대편경사보다도 작은 값이며, 주행속도가 설계속도보다 초과할 경우 대부분의 곡선구간에서 원심력에 저항할 수 없다. 따라서 부족한 편경사만큼 횡방향마찰력이 상대적으로

Table 10. Values for Design Elements Related to Design Speed and Horizontal Curvature ( $e_{max} = 8\%$ )

(unit : m)

| $V_D$<br>(km/h) | NC            | 2%                | 3%              | 4%              | 5%              | 6%              | 7%              | 8%             |
|-----------------|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 50              | 1,200<br>over | 1,200<br>~<br>700 | 700<br>~<br>470 | 470<br>~<br>330 | 330<br>~<br>240 | 240<br>~<br>170 | 170<br>~<br>120 | 120<br>~<br>80 |
| 40              | 800<br>over   | 800<br>~<br>450   | 450<br>~<br>300 | 300<br>~<br>210 | 210<br>~<br>150 | 150<br>~<br>110 | 110<br>~<br>75  | 75<br>~<br>50  |

### 6.2. 개선방향

현재 적용되고 있는 편경사는 설계속도를 기본으로 하여 곡선반지름에 따라 결정된 값으로서 자동차가 설계속도 이상으로 주행할 경우 원심력에 저항하기 위해서는 횡방향마찰력이 증가하게 된다. 그러나 횡방향마찰력은 포장상태, 타이어의 마모정도 및 기상상황에 따라 다양한 값을 갖게 되어 도로의 안전측면에서는 불확실성이 높은 요소라 할 수 있다. 따라서 주행속도를 고려하여 원심력에 안정적으로 저항할 수 있도록 편경사 적용범위를 조정하여 자동차의 주행 안전성을 향상시키는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 편경사 범위를 조정하기 위해 현재 사용되고 있는 편경사와 횡방향마찰계수 배분방법을 동일하게 사용하는 것으로 하였다. 다만 기존 편경사 범위는 최대편경사를 8.0%로 하고 계산값을 반올림하여 정수값의 편경사를 적용하도록 하였으나, 개선방향에서는 계산값을 소수점에서 올림하여 최대편경사 및 편경사

범위를 적용하도록 하였다. 이와 같은 방법에 따라 최대 편경사는 설계속도 50km/h, 40km/h일 경우 각각 9.0%와 10.0%로 계산되었으며 주행속도를 적용한 편경사 범위는 Table 11과 같이 계산되었다.

Table 11. Values for Design Elements Related to Running Speed and Horizontal Curvature

(unit : m)

| $V_D$<br>(km/h) | NC            | 2%                | 3%              | 4%              | 5%              | 6%              | 7%              | 8%              | 9%             | 10%           |
|-----------------|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|
| 50              | 1,200<br>over | 1,200<br>~<br>700 | 700<br>~<br>470 | 470<br>~<br>380 | 380<br>~<br>270 | 270<br>~<br>190 | 190<br>~<br>140 | 140<br>~<br>105 | 105<br>~<br>80 |               |
| 40              | 800<br>over   | 800<br>~<br>450   | 450<br>~<br>300 | 300<br>~<br>240 | 240<br>~<br>180 | 180<br>~<br>125 | 125<br>~<br>95  | 95<br>~<br>75   | 75<br>~<br>55  | 55<br>~<br>50 |

Table 11의 편경사 범위를 Fig. 4, Fig. 5에 도시해 보면 Fig. 8, Fig. 9를 얻을 수 있다. 즉, 개선된 편경사 범위는 설계속도로 주행할 경우 필요한 편경사를 모두 만족하고, 주행속도를 적용할 경우에도 대부분 범위 내에 위치하고 있음을 알 수 있다. 따라서 횡방향마찰계수는 기존보다 하향 조정되어 운전자에게 보다 안전하고 쾌적한 주행환경을 제공할 것으로 판단된다.

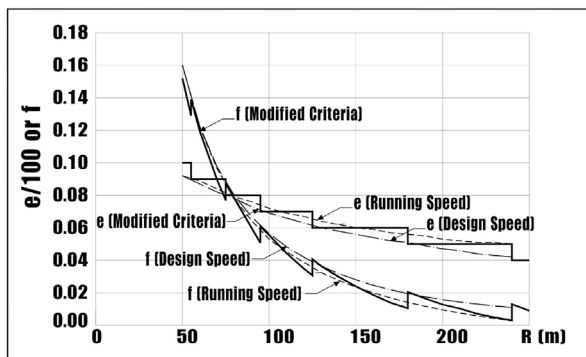


Fig. 8 Modified Superelevation and Side Friction Criteria ( $V_D = 40\text{km/h}$ )

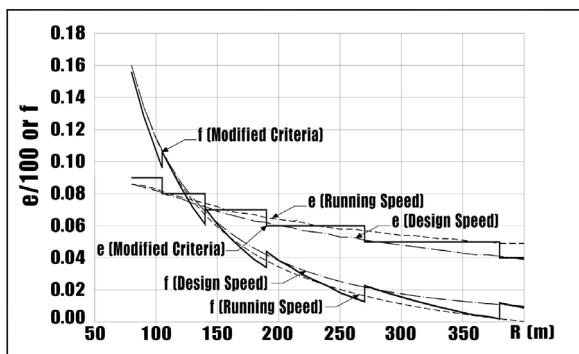


Fig. 9 Modified Superelevation and Side Friction Criteria ( $V_D = 50\text{km/h}$ )

### 6.3. 편경사 조정에 따른 안전성 검증

편경사 조정에 대한 안전성 검증은 앞서 설명한 Joseph Craus의 방정식을 이용하였다. Eq. (13)을 이용하여 안전도(Degree of Safety)를 계산해 보면 Table 12와 Table 13과 같이 계산되며, 개선된 편경사는 같은 곡선반지름에서 최소 11.1%에서 최대 20.0%까지 안전도(Degree of Safety)가 증가되는 것을 알 수 있다. 따라서 주행속도가 설계속도보다 높은 경우 편경사 상향조정을 통해 안전한 도로환경을 제공할 것으로 판단된다.

Table 12. Degree of Safety ( $V_D = 40\text{km/h}$ )

| R<br>(m) | Origin superelevation |       |       |           | Modified superelevation |       |       |           | $\gamma$ |
|----------|-----------------------|-------|-------|-----------|-------------------------|-------|-------|-----------|----------|
|          | $e$                   | $a_c$ | $a_e$ | $\beta^2$ | $e$                     | $a_c$ | $a_e$ | $\beta^2$ |          |
| 50       | 0.08                  | 32.0  | 0.78  | 0.025     | 0.10                    | 32.0  | 0.98  | 0.031     | 20.0     |
| 60       | 0.08                  | 26.7  | 0.78  | 0.029     | 0.09                    | 26.7  | 0.88  | 0.033     | 11.1     |
| 70       | 0.08                  | 22.9  | 0.78  | 0.034     | 0.09                    | 22.9  | 0.88  | 0.039     | 11.1     |
| 80       | 0.07                  | 20.0  | 0.69  | 0.034     | 0.08                    | 20.0  | 0.78  | 0.039     | 12.5     |
| 90       | 0.07                  | 17.8  | 0.69  | 0.039     | 0.08                    | 17.8  | 0.78  | 0.044     | 12.5     |
| 100      | 0.07                  | 16.0  | 0.69  | 0.043     | 0.07                    | 16.0  | 0.69  | 0.043     | -        |
| 110      | 0.07                  | 14.5  | 0.69  | 0.047     | 0.07                    | 14.5  | 0.69  | 0.047     | -        |
| 120      | 0.06                  | 13.3  | 0.59  | 0.044     | 0.07                    | 13.3  | 0.69  | 0.051     | 14.3     |
| 130      | 0.06                  | 12.3  | 0.59  | 0.048     | 0.06                    | 12.3  | 0.59  | 0.048     | -        |
| 140      | 0.06                  | 11.4  | 0.59  | 0.051     | 0.06                    | 11.4  | 0.59  | 0.051     | -        |
| 150      | 0.06                  | 10.7  | 0.59  | 0.055     | 0.06                    | 10.7  | 0.59  | 0.055     | -        |

Table 13. Degree of Safety ( $V_D = 50\text{km/h}$ )

| R<br>(m) | Origin superelevation |       |       |           | Modified superelevation |       |       |           | $\gamma$ |
|----------|-----------------------|-------|-------|-----------|-------------------------|-------|-------|-----------|----------|
|          | $e$                   | $a_c$ | $a_e$ | $\beta^2$ | $e$                     | $a_c$ | $a_e$ | $\beta^2$ |          |
| 80       | 0.08                  | 31.3  | 0.78  | 0.025     | 0.09                    | 31.3  | 0.88  | 0.028     | 11.1     |
| 90       | 0.08                  | 27.8  | 0.78  | 0.028     | 0.09                    | 27.8  | 0.88  | 0.032     | 11.1     |
| 100      | 0.08                  | 25.0  | 0.78  | 0.031     | 0.09                    | 25.0  | 0.88  | 0.035     | 11.1     |
| 110      | 0.08                  | 22.7  | 0.78  | 0.034     | 0.08                    | 22.7  | 0.78  | 0.034     | -        |
| 120      | 0.08                  | 20.8  | 0.78  | 0.038     | 0.08                    | 20.8  | 0.78  | 0.038     | -        |
| 130      | 0.07                  | 19.2  | 0.69  | 0.036     | 0.08                    | 19.2  | 0.78  | 0.041     | 12.5     |
| 140      | 0.07                  | 17.9  | 0.69  | 0.038     | 0.08                    | 17.9  | 0.78  | 0.044     | 12.5     |
| 150      | 0.07                  | 16.7  | 0.69  | 0.041     | 0.07                    | 16.7  | 0.69  | 0.041     | -        |
| 160      | 0.07                  | 15.6  | 0.69  | 0.044     | 0.07                    | 15.6  | 0.69  | 0.044     | -        |
| 170      | 0.07                  | 14.7  | 0.69  | 0.047     | 0.07                    | 14.7  | 0.69  | 0.047     | -        |
| 180      | 0.06                  | 13.9  | 0.59  | 0.042     | 0.07                    | 13.9  | 0.69  | 0.049     | 14.3     |
| 190      | 0.06                  | 13.2  | 0.59  | 0.045     | 0.07                    | 13.2  | 0.69  | 0.052     | 14.3     |
| 200      | 0.06                  | 12.5  | 0.59  | 0.047     | 0.06                    | 12.5  | 0.59  | 0.047     | -        |

여기서,  $\gamma$ 는 Eq. (14)와 같이 계산된다.

$$\gamma = \frac{\beta^2_{Modified}}{\beta^2_{Origine}} \times 100 \quad (14)$$

## 7. 결론

국내 도로설계기준에서 곡선반지름별 편경사는 도로를 주행하는 자동차가 설계속도로 주행한다는 전제하에 AASHTO에서 제시한 계산식을 이용하여 산정한 값이다. 그러나 최근 고속도로 나들목을 이용하는 자동차는 연결로 설계속도 이상으로 주행하여 도로이탈사고가 빈번하게 발생하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 현재 공용중인 고속도로 나들목에서 연결로 형식별 최소곡선구간에서 자동차 주행속도를 측정하고 평균주행속도(V85)를 추정하였다. 또한 평균주행속도를 적용하여 편경사와 횡방향마찰계수를 재배분하고 Joseph Craus가 제시한 원심가속도의 비(ratio)를 이용하여 편경사 변화에 따른 안전도(Degree of Safety)를 분석하였다.

분석결과 연결로의 평균주행속도(V85)는 설계속도 40km/h일 때는 50km/h, 설계속도 50km/h일 때는 연결로의 주행속도가 가장 높은 우직결 유출연결로의 주행속도를 고려하여 65km/h로 추정하였다. 평균주행속도(V85)를 이용하여 편경사 및 횡방향마찰계수를 재배분해 보면 최대편경사는 설계속도 50km/h, 40km/h일 때 각각 9.0%와 10.0%으로 계산되었고, 곡선반지름에 따른 편경사 범위는 설계속도 및 평균주행속도에 필요한 편경사 범위를 대부분 만족하였다. 또한 그에 따른 안전도(Degree of Safety)는 기존 편경사 범위보다 약 10%~20% 이상 증가되는 것으로 나타났다.

본 연구에서 제안한 최대편경사 상향조정 및 편경사 범위 조정은 국내 도로시설기준에서 규정하고 있는 적설 한랭지역의 최대편경사 8.0% 기준 때문에 지금 당장 적용은 곤란하다. 그러나 편경사의 상향 조정은 운전자에게 쾌적한 주행환경을 제공하고 도로이탈사고를 예방

하는 등 도로의 주행안전성 측면에서 유리할 것으로 예상되는 바 향후 추가연구를 통해 평균주행속도(V85)를 고려한 최대편경사 개선방안이 마련되어야 할 것이다.

## REFERENCES

- AASHTO(2001), A Policy on Geometric Design of Highways and Street Forth Edition, 146, 151-154.
- Choi J. S., Kim S. Y., Lee J. H., Hwang K. S. (2008), Development of a Vehicle Operating Speed Model and its Application for Designing Consistent Horizontal Alignment, Journal of the Korean Society of Road Engineers 10(2), 57-67.
- Choi S. K., Lee S. G., Lee J. K. (2006), Determination of Proper Design Speed at Inter-Change Ramp in the Highway, The Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 24(5), 425-431.
- Jeong S. W., Choi J. S., Kim S. Y. (2011), A Study for New Distribution Methods Between Superelevation and Side friction factor, Journal of the Korean Society of Road Engineers, 433-436.
- Jeong S. W., Kim S. Y., Choi J. S., Kim H. G., Jang T. Y. (2013), A Study for Distribution Methods Between Superelevation and Side Friction Factor Reflecting Ergonomic Characteristics by Increasing Design Speed, Journal of the Korean Society of Road Engineers, 15(3), 105-115.
- Joseph Craus, Moshe Livneh (1978), Superelevation and Curvature of Horizontal Curves, Transportation Research Record
- Kim D. N., Jang M. K. (2004), The Operating Speed Analysis and Modeling at the Entrance Terminal of Ramps, JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS D 24(1D), 51-58.
- Kim Y. S., Cho W. B., Jeong S. Y. (2005), A Survey on the Drivers' Speed Behaviour on the Combined Alignments for the Road Design Consistency, JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, 4713-4716.
- Ok J. K., Kim K. S., Sohn J. H., Yoo W. S., Kim Y. S. (2006), Evaluation of Running Stability of Vehicle According to Superelevation and friction Coefficient, Journal of the Korean Society of Road Engineers, 8, 275-282.