

■ 論 文 ■

# 평면곡선부 확폭량 재설정에 관한 연구

Reevaluation of Lane Width Widening on Horizontal Curve Sections

**최재성**

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

**백종대**

(서울시립대학교 교통공학과 석사과정)

## 목 차

- |   |  |
|---|--|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경 및 목적</p> <p>2. 연구의 범위 및 방법</p> <p>II. offtracking에 대한 기존 이론들</p> <p>1. 저속 offtracking의 개념</p> <p>2. offtracking 산출기법들</p> <p>3. WHI모형의 세부고찰</p> | <p>III. 한국과 외국의 확폭량 산정방법 비교</p> <p>1. 설계차량의 구분</p> <p>2. 확폭량의 산정방법</p> <p>3. 확폭량 계산결과의 비교</p> <p>IV. 평면곡선부 확폭량의 개정안</p> <p>V. 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|---|--|

## 요 약

본 연구는 평면곡선부에서 나타나는 저속 offtracking현상에 대한 이해를 바탕으로 현 한국 확폭량 산정방법 및 확폭 기준량의 문제점을 살펴보고 이를 보완하기 위한 새로운 확폭량 산정방법 및 확폭 기준량을 제시하고자 하였다. 이를 위해 저속 offtracking현상에 대한 기존 연구들을 검토하였으며, 유도과정 없이 결과만 제시되어 있는 외국의 확폭량 산정식에 대해서는 명확한 유도 작업을 수행하였다. 현 한국의 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침(이하 도로시설기준령)에서 제시하고 있는 확폭량 산정방법과 외국의 확폭량 산정방법을 비교하였으며, 그 결과 현재 한국 도로시설기준령에서 제시하고 있는 확폭량 산정방법은 해당 도로의 차로폭과 설계속도를 고려치 않는 일률적인 산정방법이라는 문제점이 있음을 발견하였다.

이런 문제점을 보완하기 위해 본 연구에서는 확폭에 대한 새로운 개념을 도입하였다. 즉, 기존의 차량 기하와 곡선반경의 관계만에 의한 확폭개념이 아니라 곡선부에서 필요로 하는 폭과 직선부 도로폭과의 차이를 확폭량으로 하는 개념이다. 곡선부에서의 필요폭은 차량의 주행폭과 측면 여유폭, 그리고 곡선부에서의 주행관란성을 감안한 추가 여유폭으로 이뤄지며, 직선부에서의 필요폭은 직선부 차로폭에 차로수를 곱한 값이 된다. 새로운 개념의 도입결과, 같은 곡선반경값을 갖는 곡선부에 대해 전반적으로 현재 한국 도로시설기준령에서 제시하는 기준값을 상회하는 값이 도출되었다.

본 연구는 저속 offtracking을 기준으로 수행되었으며, 보다 정밀한 확폭량의 산정을 위해 평면곡선부의 편경사와 고속 offtracking현상에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

도로는 직선과 곡선으로 이루어진다. 곡선부의 기하구조적 특징 때문에 여러 가지 설계상의 문제점이 대두된다. 확폭 문제가 그 중 하나이다. 확폭은 차량이 어느 정도의 길이를 갖고 있으므로 곡선부를 저속으로 회전할 때 뒷바퀴가 앞바퀴의 궤적을 따라 주행하지 못하고 곡선의 안쪽으로 들어오게 되는 offtracking현상 때문에 필요하다. 확폭은 offtracking 외에도 곡선부에서 운전자가 느끼는 주행의 곤란함도 함께 고려하여 설치하여야 한다.

offtracking현상은 고속일 때와 저속일 때 서로 다른 특징을 보인다. 저속 offtracking은 특히 대형차량의 경우 두드러지게 일어나는데, 저속 offtracking의 크기는 차량의 길이에 비례하며 회전하는 곡선의 반경에 반비례한다.

최근 트럭들이 점차 대형화되고 있기 때문에 도로의 설계 시 offtracking현상에 대한 충분한 고려가 중요시되고 있다. 현재 한국 도로시설기준령에서는 확폭을 하도록 하고 있으며 기준 확폭량을 제시하고 있다. 그러나 확폭량 산정 시 차로폭에 대한 고려가 이루어지지 않는 등의 문제점이 있다.

본 연구에서는 세미트레일러를 비롯한 대형 차량에 대한 저속 offtracking 현상의 이해를 바탕으로 현 한국 확폭량 산정기준을 재조명하고자 한다.

### 2. 연구의 범위 및 방법

#### 1) 연구의 범위

본 연구에서는 주로 왕복 2차로 도로의 평면곡선부에서 저속 offtracking을 기준으로 하여 확폭량을 재 산정하였다.

#### 2) 연구 방법

현 한국 확폭량 산정 기준의 개정안을 마련하기 위하여 본 연구에서는 다음의 연구방법을 따랐다.

- 기존 연구의 검토

저속 offtracking 현상에 대한 이해를 위해 시대별로 선행된 연구들로부터 도출된 연구결과들을 살펴보고 그 핵심내용을 기술하였다.

- 확폭량 산정방법의 비교

현재 한국 도로시설기준령에서 제시하고 있는 확폭량 산정방법과 외국의 확폭량 산정방법을 비교하여 그 차이점을 살펴보았다.

- 확폭량의 개정안 제시

현재 한국 확폭량 산정기준의 문제점을 도출하고 그 개정안을 제시하였다.

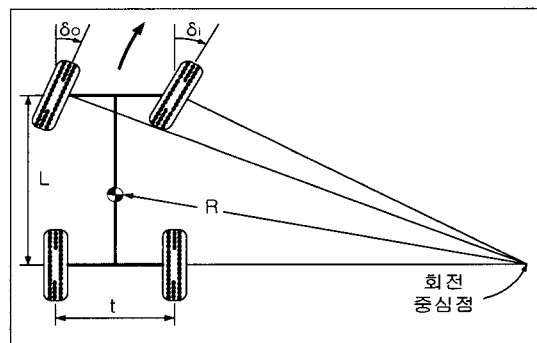
## II. offtracking에 대한 기존 이론들

### 1. 저속 offtracking의 개념

저속 offtracking 현상에 대해 살펴보기에 앞서 먼저 차량이 곡선부를 주행할 때 나타나는 회전특성을 살펴보자.

차량이 주차를 위해 천천히 움직이면서 조향할 때와 같이 저속으로 회전할 때에는 횡방향 힘을 받지 않으므로 타이어는 미끌림각(slip angle)의 발생이 없이 구를 수 있으며 차량은 <그림 1>에서 보여진 것과 같이 회전하게 된다.<sup>1)</sup>

뒷바퀴가 미끌림각을 갖지 않는다면 회전 중심은 뒷바퀴축의 연장선상에 존재하게 된다. 마찬가지로 두 앞바퀴의 수직선은 한 점에서 만나게 되며 이 점이 회전 중심점이 된다. 이 성질은 저속 offtracking 현상을 해석하는데 있어 출발점이 된다.



<그림 1> 차량의 회전

차량이 회전을 함으로써 일어나는 현상 중 또 다른 하나는 offtracking 현상이다. 이는 차량이 회전할 때 뒷바퀴가 앞바퀴의 궤적을 따라 들지 못하고 곡선의 안쪽으로 들어오게 됨으로써 발생한다. offtracking은 차량의 속도에 따라 저속에서 나타나는 offtracking과 고속에서 나타나는 offtracking으로 나누어진다. 저속 offtracking은 차량이 곡선부 안쪽으로 들어오게 되는 현상인 반면 고속 offtracking은 오히려 차량이 회전의 바깥쪽으로 이탈되는 현상이다.

본 연구에서는 저속 offtracking에 대하여 살펴보고자 한다. 전형적인 저속 offtracking값을 구하는 식으로는 WHI(Western Highway Institute)에서 제시한 공식이 있으며 일반적인 형태는 다음과 같다.<sup>2)</sup>

$$OT_{max} = R - \sqrt{R^2 - \sum L^2} \quad (1)$$

여기서,

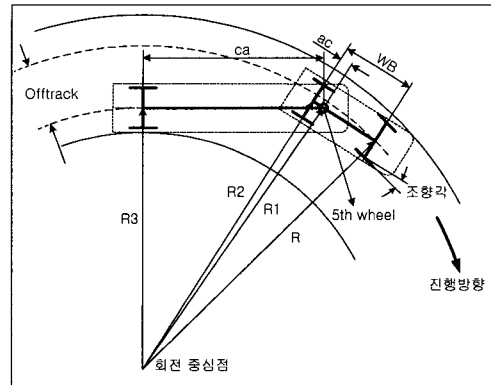
R : 앞바퀴축의 중심이 그리는 곡선의 반경

L : 축거(차량의 길이요소들의 조합)

식(1)의 산출과정에 대해서는 다음에 설명한다. 식(1)에서 계산되는 offtracking 값은 최대 또는 안정 상태(steady state)값의 추정치이다. <그림 2>는 세미트레일러의 전형적인 offtracking 상황과 용어를 나타내고 있다.

## 2. offtracking 산출기법들

저속 offtracking에 대한 연구는 1960년대부터 시작되어 현재에 이르고 있으며, offtracking에 대한 정의는 수행된 연구에서 마다 약간씩 차이를 보인다. 초기 연구에서는 차량의 폭에 의한 영향은 무시하고 차축의 길이요소만 고려한 1차원적인 것, 이른바 자전거 모델(bicycle model)이었다. offtracking에 대한 연구방법들에는 실물-테스트(full-scale tests), 축소모형 테스트(scale-model tests), 수학과 그래픽에 의한 방법, 그리고 최근의 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 모델 등이 있다. 수학과 그래픽에 의한 방법은 offtracking에서 나타나는 기하학적인 관계들을 이용하는 방법이며, 미국의 SAE(the Society of Automotive Engineers)에서는 이 방법을 이용하여 '64년 SAE



<그림 2> offtracking의 개념도

Handbook에 직각삼각형에 대한 피타고라스 정리에 근거를 둔 offtracking 공식을 게재하였다.

다음은 이 보고서에 실려있는 offtracking에 대한 정의이며 본 연구에서는 이 정의를 사용한다.<sup>3)</sup>

“offtracking은 차량이나 트레일러 조합차량의 최전방 바퀴축과 최후방 바퀴축의 중심선이 그리는 두 원의 반경차이다.”

이것은 <그림 2>에서 offtrack이라고 표시된 부분을 말한다.

## 3. WHI(Western Highway Institute)모형의 세부고찰

WHI 모형은 offtracking 산출에 있어 각별히 중요하다. 우선 WHI 모형을 이해함으로써 차량과 도로조건간의 관계성을 명확히 이해할 수 있고, 그 외에도 WHI 모형을 기초로 하여 미국의 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials) 도로설계기준이 정립되었기 때문이다.

WHI 공식을 적절히 사용하기 위해서는 이 공식의  $L^2$ 의 합( $\sum L^2$ ) 부분을 반드시 이해해야만 한다. L들은 회전능력(turnability)에 직접적으로 영향을 미치거나 관련된 점들 사이의 거리이다. <그림 2>에서 세미트레일러의 길이요소들을 보면 바퀴축과 관련된 길이는 축거(WB)이고, 바퀴축(a)에서 연결점(5th wheel, c)까지의 선을 ac라고 표현하며 항상 반-offtrack 행동(negative offtracking)을 보인다.  $L^2$ 의 합에서 ac들의 제곱은 항상 음의 값으로 취급된다. 반대로 ca라고 표현

되는 연결점에서 바퀴축까지의 선은 축거(WB)와 같은 식으로 반응, 즉 offtrack을 증가시키는 요인이 된다.

〈그림 2〉의 기하구조로부터 직각삼각형에 대한 피타고라스정리를 이용하여 offtracking의 크기를 계산하는 식을 다음과 같이 유도할 수 있다.

R, R<sub>2</sub>, 그리고 WB로 이루어진 삼각형에서

$$R_2^2 = R^2 - WB^2 \tag{2}$$

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, 그리고 ac로 이루어진 삼각형에서

$$\begin{aligned} R_1^2 &= R_2^2 + ac^2 \\ &= R^2 - WB^2 + ac^2 \end{aligned} \tag{3}$$

R<sub>1</sub>, R<sub>3</sub>, 그리고 ca로 이루어진 삼각형에서

$$\begin{aligned} R_3^2 &= R_1^2 - ca^2 \\ &= R^2 - WB^2 + ac^2 - ca^2 \end{aligned} \tag{4}$$

offtracking의 크기는 〈그림 2〉와 offtracking의 정의에 따라 R과 R<sub>3</sub>의 차이가 된다. 따라서 R<sub>3</sub>에 대한 값으로 식(4)의 결과를 대입하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} OT_{max} &= R - R_3 \\ &= R - \sqrt{R^2 - (WB^2 - ac^2 + ca^2)} \end{aligned} \tag{5}$$

윗 식에서 우변 근호안의 (WB<sup>2</sup> - ac<sup>2</sup> + ca<sup>2</sup>)부분을 ∑L<sup>2</sup>로 대체하면 저속 offtracking식인 다음 식이된다.

$$OT_{max} = R - \sqrt{R^2 - \sum L^2}$$

〈표 1〉 설계기준차량의 제원(한국)

제원(단위:미터) 자동차별	길이	폭	높이	축거	앞내민 길이	뒷내민 길이	최소 회전반경
소형 자동차	4.7	1.7	2.0	2.7	0.8	1.2	6.0
대형 자동차	13.0	2.5	4.0	6.5	2.5	4.0	12.0
세미트레일러 연결차	16.7	2.5	4.0	전 4.2 후 9.0	1.3	2.2	12.0

여기서,

R : 앞바퀴축의 중심이 그리는 곡선의 반경

$$\sum L^2 : WB^2 - ac^2 + ca^2$$

WB : 트랙터의 축거

ac : 연결점과 트랙터 뒷바퀴축간의 거리

ca : 연결점과 세미트레일러 뒷바퀴축간의 거리

### III. 한국과 외국의 확폭량 산정방법 비교

#### 1. 설계기준 자동차의 구분

곡선부에서 일어나는 offtracking과 그에 따른 확폭량을 결정하기 위해 중요한 요소는 설계기준 자동차의 제원과 도로의 기하구조이다. 다음은 한국 도로 시설기준령과 미국의 AASHTO에서 제시하고 있는 설계기준 자동차의 형태 및 제원이다.

##### 1) 한국 도로시설기준령

한국 도로시설기준령에서는 설계기준차량을 소형자동차, 대형 자동차, 세미트레일러 등 세 가지로 분류하여 제시하고 있다. 확폭의 문제가 되는 것은 대형 자동차와 세미트레일러이므로 이들의 제원을 살펴보면 〈표 1〉과 같다.<sup>4)</sup>

〈표 1〉에서 세미트레일러와 트랙터를 연결하는 킥핀에서 트랙터 후차축까지의 거리는 그 크기가 비교적 작으므로 도로시설기준령에는 제시되어 있지 않지만 뒤에 offtracking과 확폭량을 계산할 때에는 포함된다.

##### 2) AASHTO

미국 AASHTO의 A Policy on Geometric Design of Highways and Streets(이하 Green Book)에 제시되어 있는 설계기준 자동차와 그 제원은 〈표 2〉와

<표 2> 설계기준차량의 제원(미국)

Design Vehicle Type	Symbol	Dimension(m)										
		Overall			Overhang							
		Height	Width	Length	Front	Rear	WB <sub>1</sub>	WB <sub>2</sub>	S	T	WB <sub>3</sub>	WB <sub>4</sub>
Passenger Car	P	1.3	2.1	5.8	0.9	1.5	3.4					
Single Unit Truck	SU	4.1	2.6	9.1	1.2	1.8	6.1					
Single Unit Bus	BUS	4.1	2.6	12.1	2.1	2.4	7.6					
Articulated Bus Combination Trucks	A-BUS	3.2	2.6	18.3	2.6	2.9	5.5		1.2 <sup>a</sup>	6.1 <sup>a</sup>		
Intermediate semitrailer	WB-12	4.1	2.6	15.2	1.2	1.8	4.0	8.2				
Large semitrailer	WB-15	4.1	2.6	16.7	0.9	0.6	6.1	9.1				
Double Bottom semitrailer- full trailer	WB-18	4.1	2.6	19.9	0.6	0.9	3.0	6.1	1.2 <sup>b</sup>	1.6 <sup>b</sup>	6.4	
Interstate semitrailer	WB-19*	4.1	2.6	21.0	.2	0.9	6.1	12.8				
Interstate semitrailer	WB-20**	4.1	2.6	22.5	1.2	0.9	6.1	14.3				
Triple Semitrailer	WB-29	4.1	2.6	31.0	0.8	1.0	4.1	6.3	1.0 <sup>d</sup>	1.8 <sup>d</sup>	6.6	6.6
Tumpike Double Semitrailer	WB-35	4.1	2.6	35.9	0.6	0.6	6.7	12.2	0.6 <sup>c</sup>	1.8 <sup>c</sup>	13.4	
Recreation vehicle Motor Home	MH		2.4	9.1	1.2	1.8	6.1					
Car and Camper Trailer	P/T		2.4	14.9	0.9	3.0	3.4	6.1	1.5			
Car and Boat Trailer	P/B		2.4	12.8	0.9	2.4	3.4	4.6	1.5			
Motor Home and Boat Trailer	MH/B		2.4	16.1	1.2	2.4	6.1	4.6	1.8			

\* : Design Vehicle with 14.6m trailer as adopted in 1982 STAA(Surface Transportation Assistance Act)  
 \*\* : Design Vehicle with 16.2m trailer as grandfathered in 1982 STAA(Surface Transportation Assistance Act)  
 a : Combined dimension 7.3, split is estimated  
 b : Combined dimension 2.9, split is estimated  
 c : Combined dimension 2.4, split is estimated  
 d : Combined dimension 2.8, split is estimated  
 WB<sub>1</sub>, WB<sub>2</sub>, WB<sub>3</sub>, are effective vehicle wheelbases  
 S is the distance from the rear effective axle to the hitch point  
 T is the distance from the hitch point to the lead effective axle of the following unit

같다.<sup>5)</sup> 여기에서 WB-15 차량의 전체 길이가 16.7m  
 로서 한국의 세미트레일러와 전체 길이가 같다.

b<sub>2</sub> : 트레일러의 폭  
 U<sub>f</sub> : 앞내민 길이

2. 확폭량의 산정방법

이라 할 때 B는

1) 한국 도로시설기준령

$$B = R_w - R_i$$

(1) 확폭량의 산정이론

여기서는 세미트레일러의 경우에 대해 설명한다.  
 <그림 3>에서

이며, 직각삼각형에 대한 피타고라스정리로부터

$$(X_1 + \frac{b}{2})^2 = R_w^2 - (a + U_f)^2 \tag{6}$$

B : 차량의 주행폭

$$X_2^2 = a_s^2 + X_1^2 \tag{7}$$

R<sub>c</sub> : 차로중심선의 반경

R<sub>w</sub> : 바깥쪽 곡선반경

R<sub>i</sub> : 안쪽 곡선반경

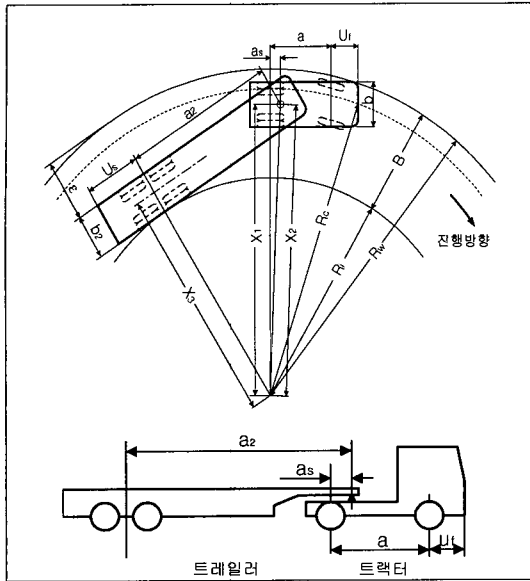
$$X_3^2 = X_2^2 - a_2^2 = X_1^2 + a_s^2 - a_2^2 \tag{8}$$

a : 트랙터의 축간거리

a<sub>2</sub> : 트레일러의 축간거리

a<sub>s</sub> : 트레일러의 연결판에서 뒤축까지의 거리

$$B = R_w - X_3 + \frac{b_2}{2} \tag{9}$$



〈그림 3〉 세미트레일러의 확폭량

그런데 식 (6), (8), (9)에서

$$B = R_w + \frac{b_2}{2} - \sqrt{(\sqrt{R_w^2 - (a + U_f)^2} - \frac{b}{2})^2 - a_2^2 + a_s^2} \quad (10)$$

가 된다. 또한 〈그림 3〉에서 트랙터부분을 보면 다음 식이 성립한다.

$$X_1^2 + (a + U_f)^2 = R_c^2 \quad (11)$$

$$R_w = \sqrt{(\sqrt{R_c^2 - (a + U_f)^2} + \frac{b}{2})^2 + (a + U_f)^2} \quad (12)$$

식 (6), (10), (11), (12)에서

$$B = \sqrt{(\sqrt{R_c^2 - (a + U_f)^2} + \frac{b}{2})^2 + (a + U_f)^2} + \frac{b_2}{2} - \sqrt{R_c^2 - (a + U_f)^2 - a_2^2 + a_s^2} \quad (13)$$

로 된다. 1차로당 확폭량은  $\epsilon = B - b$  이며, 세미트레일러의 제원을 대입하면,  $a = 4.2$ ,  $b = b_2 = 2.5$ ,  $U_f = 1.3$ ,  $a_2 = 9.0$ ,  $a_s = 0$ 이므로 주행폭 B는 다음의 식과 같다.

$$B = \sqrt{(\sqrt{R_c^2 - 30.25} + 1.25)^2 + 30.25} + 1.25 - \sqrt{R_c^2 - 111.25}$$

(2) 설계 기준 자동차에 대한 확폭량의 산정

도로시설기준령에서는 설계 기준 자동차의 폭과 평면곡선 반경에 따른 주행폭을 고려하여 확폭량을 산정하도록 하고 있다.

또 확폭을 필요로 하는 최소 평면곡선 반경은 계산으로 구한 확폭량이 0.20m 이하가 되는 비교적 완만한 평면곡선반경의 경우에는 확폭하지 않는 것으로 하고 있다.

차로 당 최소 확폭량은 설계 및 시공상의 편의를 고려하여 0.25m 단위로 확폭량을 정하였다. 또한 설계속도 40km/h 미만의 도로에서는 자동차가 어느 정도까지는 차로의 좌측으로 이동하여 운전이 가능하다는 점을 고려하여 확폭량을 산정하였다. 〈표 3〉은 한국 도로시설기준령에서 제시하고 있는 평면곡선반경에 따른 확폭량을 나타내고 있다.

〈표 3〉 평면곡선반경에 따른 확폭량(한국)

(단위:m)

설계 기준 자동차					
세미트레일러 연결차			대형 자동차		
평면곡선반경	계산값	차로당 최소 확폭량	평면곡선반경	계산값	차로당 최소 확폭량
150이상 280미만	0.20~0.37	0.25	110이상 200미만	0.20~0.36	0.25
90이상 150미만	0.37~0.62	0.50	65이상 110미만	0.36~0.61	0.50
65이상 90미만	0.62~0.86	0.75	45이상 65미만	0.61~0.88	0.75
50이상 65미만	0.86~1.12	1.00	35이상 45미만	0.88~1.14	1.00
40이상 50미만	1.12~1.40	1.25	25이상 35미만	1.14~1.60	1.25
35이상 40미만	1.40~1.61	1.50	20이상 25미만	1.60~2.01	1.50
30이상 35미만	1.61~1.89	1.75	18이상 20미만	2.01~2.25	1.75
20이상 30미만	1.89~2.96	2.00	15이상 18미만	2.25~2.77	2.00

2) 미국의 도로설계기준

(1) 확폭량의 산정이론

미국 AASHTO Green Book에 제시된 곡선부의 확폭량 산정방법은 다음과 같다.<sup>5)</sup>

곡선부에서 필요한 확폭은 곡선부에서 요구되는 폭  $W_c$ 와 직선부에서 필요한 폭  $W_n$ 의 차이로서 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$w = W_c - W_n \tag{14}$$

$$W_c = N(U + C) + (N - 1)F_A + Z \tag{15}$$

여기서,

$N$  : 차로수

$w$  : 곡선부의 확폭(m)

$W_c$  : 곡선부에서의 요구폭(m)

윗 식에서  $U$ ,  $F_A$ ,  $Z$ 는 다음과 같다.

$$U = u + (R - \sqrt{R^2 - L^2}) \tag{16}$$

$$F_A = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R \tag{17}$$

$$Z = (0.104)(V/\sqrt{R}) \tag{18}$$

여기서,

$W_n$  : 직선부에서의 요구폭(m)

$U$  : track width(m)

$C$  : lateral clearance. 6.0, 6.6, 7.2m의  $W_n$ 에 대해 각각 0.6, 0.75, 0.9m로 가정

$F_A$  : 앞내민 부분이 차지하는 폭(m)

$Z$  : 곡선부 주행의 어려움을 감안한

Extra width allowance(m)

$u$  : 직선부에서의 track width, 2.6m

$R$  : 2차로 도로 중심선의 반경(m)

$L$  : 축거

$A$  : 앞내민부분

$V$  : 설계속도(km/h)

식(16)~(18)은 다음 과정을 통해 도출되었다.

(2) U의 유도

곡선부에서의 차량의 track width인  $U$ 는 <그림 4>에서 보는 바와 같이 차량의 바깥쪽 앞바퀴의 궤적과 안쪽 뒷바퀴의 궤적사이의 넓이(타이어 바깥쪽 면 기준)를 말한다.

따라서  $U$ 는 식(16)에 나타낸 바와 같이 직선부에서의 차량의 track width인  $u$ 에 곡선부에서 나타나는 offtracking의 크기를 더한 값이 된다. 즉, 식(16)의 두 번째 항이 바로 offtracking의 크기를 나타낸다. 이것은 II-3절에서 설명한 바 있는 offtracking에 대한 WHI 기본식인 식(1)과 같다.

(3) FA의 유도

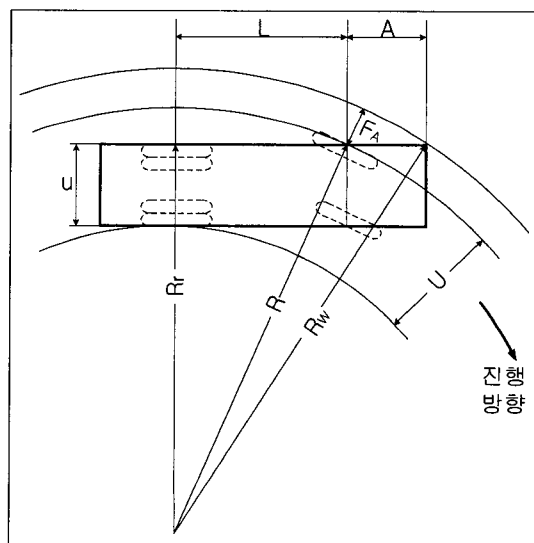
<그림 4>에서 차량의 앞내민부분에 의한  $F_A$ 는 차체의 바깥쪽 앞부분이 그리는 곡선궤적반경  $R_w$ 와 바깥쪽 앞바퀴의 바깥부분이 그리는 곡선궤적반경  $R$ 의 차이이다. 즉, 다음식이 성립한다.

$$F_A = R_w - R \tag{19}$$

$R_w$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$R_w^2 = R^2 - L^2 \tag{20}$$

$$R_w^2 = R^2 + (L + A)^2 \tag{21}$$



<그림 4> U 및 FA의 크기

식(21)에 식(20)을 대입하여 정리하면,

$$\begin{aligned} R_w^2 &= R^2 - L^2 + (L + A)^2 \\ &= R^2 - L^2 + L^2 + 2LA + A^2 \\ &= R^2 + A(2L + A) \\ \therefore R_w &= \sqrt{R^2 + A(2L + A)} \end{aligned} \quad (22)$$

식(22)를 식(19)에 대입하면 다음과 같은 결과식을 얻을 수 있다.

$$F_A = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R$$

**(4) Z(Extra width allowance)**

Z는 곡선부에서의 차량조작의 어려움과 운전자마다의 특성차이를 감안하기 위하여 추가된 값이다. 이 식은 차량의 속도와 곡선반경을 변수로 하는 경험식으로서 미국 BPR(Bureau of Public Roads)의 Voshell이 제안한 확폭식에 등장하고 있다. 다음은 Voshell에 의해 제안된 평면곡선부에서의 확폭량 결정식으로서 편도 2차로 도로에 대한 식이다.<sup>6)</sup>

$$f = 2(R - \sqrt{R^2 - B^2}) + \frac{V}{\sqrt{R}} \quad (23)$$

여기서, R은 곡선반경, B는 축거, V는 설계속도이다.

**3. 확폭량 계산결과와의 비교**

한국 도로시설기준령과 AASHTO에서의 확폭 산정방법에 의한 계산결과를 대형 자동차와 세미트레일러로 구분하여 비교하였다.

**1) 대형 자동차**

확폭량계산결과와의 비교를 위해 같은 설계기준 자동차를 적용하였다. 적용 설계기준 자동차는 한국 도로시설기준령에서 제시하고 있는 대형 자동차이며 제원은 <표 1>에 제시된 바와 같다.

**(1) 한국 도로시설기준령**

한국 도로시설기준령에서 제시하고 있는 대형 자동차의 확폭량 산정식은 다음과 같다.

$$\epsilon = B - b \quad (24)$$

$$\begin{aligned} B &= \sqrt{(\sqrt{R_c^2 - (a + U_f)^2} + \frac{b}{2})^2 + (a + U_f)^2} \\ &\quad + \frac{b}{2} - \sqrt{R_c^2 - (a + U_f)^2} \end{aligned} \quad (25)$$

여기서,

- $\epsilon$  : 확폭량
- B : 자동차의 주행폭
- $R_c$  : 차로중심선의 반경
- a : 축거
- b : 자동차의 폭
- $U_f$  : 앞내민 길이

대형 자동차의 제원을 식(25)에 대입하면 다음과 같다.

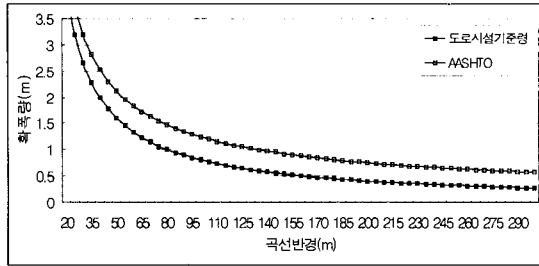
$$\begin{aligned} B &= \sqrt{(\sqrt{R_c^2 - 81} + 1.25)^2 + 81} \\ &\quad + 1.25 - \sqrt{R_c^2 - 81} \end{aligned} \quad (26)$$

윗 식 (26)을 이용하여 곡선반경별 확폭량을 계산한 결과는 <표 4>와 같으며, 이를 그래프로 나타내면 <그림 5>와 같다. <표 4>는 확폭량 산정식에 의해 계산된 값이며, 이를 토대로 한 곡선반경 계급별 확폭량 기준값은 <표 3>과 같다.

<표 4> 곡선반경별 확폭량 계산결과(도로시설기준령, 대형 자동차) (단위:m)

Rc	Rw	B	b	B-b (한차로)	확폭량 (2차로)
20	21.12	4.51	2.5	2.01	4.03
40	41.22	3.49	2.5	0.99	1.99
60	61.24	3.16	2.5	0.66	1.33
80	81.24	3.00	2.5	0.50	1.00
100	101.24	2.90	2.5	0.40	0.80
120	121.25	2.83	2.5	0.33	0.67
140	141.25	2.79	2.5	0.29	0.57
160	161.25	2.75	2.5	0.25	0.50
180	181.25	2.72	2.5	0.22	0.45
200	201.25	2.70	2.5	0.20	0.40
220	221.25	2.68	2.5	0.18	0.37
240	241.25	2.67	2.5	0.17	0.34
260	261.25	2.66	2.5	0.16	0.31
280	281.25	2.64	2.5	0.14	0.29
300	301.25	2.63	2.5	0.13	0.27





〈그림 5〉 곡선반경에 따른 확폭량 - 대형 자동차

〈표 4〉에서 2차로에 대한 확폭량은 한 차로에 대한 확폭량 계산값을 두 배한 값이다. 또한 〈그림 5〉에서도 볼 수 있듯이 확폭량은 곡선반경이 커짐에 따라 감소하며 감소량도 작아진다.

(2) 미국의 도로설계기준(AASHTO)

식(14)~(18)까지를 이용하여 곡선반경별 확폭량을 계산한 결과는 〈표 5〉와 같으며, 이를 그래프로 나타내면 〈그림 5〉와 같다.

〈표 5〉와 〈그림 5〉에 제시된 확폭량은 설계속도 60km/h이며 왕복 2차로, 차로폭 3.25m를 기준으로 하고 있으며, 현재 한국 도로시설기준령에서는 설계속도 60km/h일 때의 최소곡선반경을 140m로 규정하고 있으므로 140m 이상의 값을 참고하면 될 것이다.

이상의 결과에서 곡선반경이 140m일 때를 놓고 보면, 도로시설기준령에 의한 확폭량 계산값은 0.57m이며 AASHTO에 의한 값은 0.97m로 0.4m 정도의

〈표 5〉 곡선반경별 확폭량 계산결과 (AASHTO, 대형 자동차) (단위:m)

R	U	F <sub>A</sub>	Z	W <sub>c</sub>	W <sub>n</sub>	w
20	3.59	0.95	1.40	11.01	6.5	4.51
40	3.03	0.48	0.99	9.03	6.5	2.53
60	2.85	0.32	0.81	8.33	6.5	1.83
80	2.76	0.24	0.70	7.97	6.5	1.47
100	2.71	0.19	0.62	7.74	6.5	1.24
120	2.68	0.16	0.57	7.58	6.5	1.08
140	2.65	0.14	0.53	7.47	6.5	0.97
160	2.63	0.12	0.49	7.38	6.5	0.88
180	2.62	0.11	0.47	7.31	6.5	0.81
200	2.61	0.10	0.44	7.25	6.5	0.75
220	2.60	0.09	0.42	7.20	6.5	0.70
240	2.59	0.08	0.40	7.16	6.5	0.66
260	2.58	0.07	0.39	7.12	6.5	0.62
280	2.58	0.07	0.37	7.09	6.5	0.59
300	2.57	0.06	0.36	7.07	6.5	0.57

차이를 보이고 있다. 또한 도로시설기준령에서는 곡선반경이 200m를 넘어설 때부터는 한 차로당 확폭 계산값이 0.25m 이하로서 확폭을 설치하지 않는 것으로 하고 있으나 AASHTO에서는 곡선반경이 300m일 지라도 확폭계산값이 0.57m에 이르고 있어 0.6m의 확폭량을 적용해야 한다(AASHTO에서는 계산값이 0.6m 이하인 것은 무시함).

이러한 차이를 보이는 가장 큰 이유는 도로시설기준령에서는 여유치 및 안전치를 전혀 고려치 않지만 AASHTO에서는 Z값 및 C값을 통하여 이를 고려하고 있기 때문이다.

2) 세미트레일러

대형 자동차와 마찬가지로 방법으로 비교를 위해 같은 설계기준 자동차를 적용하였다. 적용차량은 한국 도로시설기준령에 제시된 세미트레일러이며 제원은 〈표 1〉과 같다.

(1) 한국 도로시설기준령

앞의 식(13)에 〈표 1〉의 세미트레일러의 제원을 대입하여 세미트레일러에 대한 곡선반경별 확폭량을 계산해보면 다음 〈표 6〉과 같다.

〈표 6〉은 한 차로에 대한 계산값과 이에 대한 기준값, 그리고 2차로 도로에 대한 기준값을 제시하고 있다. 2차로 도로에 대한 기준값은 한 차로에 대한 기준값에 두 배를 취한 값이다.

〈표 6〉 곡선반경별 확폭량(도로시설기준령, 세미트레일러) (단위:m)

R <sub>c</sub>	확폭량 (한차로, 계산값)	확폭량 (한차로, 기준값)	확폭량 (2차로, 기준값)
20	2.96	2.00	4.00
40	1.40	1.25	2.50
60	0.93	1.00	2.00
80	0.70	0.75	1.25
100	0.56	0.50	1.00
120	0.46	0.50	1.00
140	0.40	0.50	1.00
160	0.35	0.25	0.50
180	0.31	0.25	0.50
200	0.28	0.25	0.50
220	0.25	0.25	0.50
240	0.23	0.25	0.50
260	0.21	0.25	0.50
280	0.20	-	-
300	0.19	-	-

**(2) 미국의 도로설계기준(AASHTO)**

앞에서 살펴보았듯이 한국과 미국의 설계기준 자동차는 그 구분부터 상이하므로 정확한 비교는 이루어질 수 없다. 그렇지만 AASHTO의 설계기준 자동차인 WB15 차량이 한국의 세미트레일러와 전체 길이가 같으므로 이 차량을 적용하였다.

AASHTO에서는 설계기준 자동차들 중 SU(Single Unit)차량에 대한 확폭량 계산방법만을 제시하고 있으며 그 외 차량에 대한 확폭량 기준은 이 값에 보정값을 더한 값으로 하고 있다. WB15차량에 대한 확폭량 기준은 2차로 도로의 경우 SU차량에 대한 확폭량 기준에 곡선반경에 따른 보정값을 더해준 것인데, 곡선반경이 110에서 175m일 경우 0.2m를, 그리고 110m 미만인 곡선에 대하여는 0.3m를 더해주도록 하고 있다.

다음 <표 7>은 AASHTO의 확폭량 산정방법에 따른 WB15설계기준 자동차에 대한 확폭량 산정결과이다.

<표 7>은 차로폭이 3.3m인 2차로 도로에 대한 값이다. 이 표에서 보면, AASHTO에서는 설계속도에 따라 설치되는 최소곡선반경값이 결정되므로 그 이하

의 곡선반경에 대한 값은 제시되지 않고 있다.

왕복 2차로 도로일 경우에 대해서 한국 도로시설기준령과 미국의 AASHTO 기준을 비교해보면, 먼저 도로시설기준령에서 제시하고 있는 값은 설계속도와는 무관한 값이며 AASHTO 기준값은 설계속도에 따른 값을 알 수 있다. 따라서 AASHTO기준 중 어떤 설계속도에 대한 값과 비교하는가에 따라 비교 결론이 달라질 수 있겠으나, 통상 한국의 2차로 도로의 제한속도가 60km/h인 점을 감안하여 설계속도 60km/h에 대한 값과 비교해보면 다음과 같다.

도로시설기준령에서는 곡선반경 280m 이상의 경우에 대해서는 확폭을 하지 않는 것으로 하고 있으나 AASHTO에서는 500m 곡선반경에 대해서도 0.6m의 확폭을 하도록 하고 있다.

또한 반경 140m인 곡선부에 대해 도로시설기준령은 1.0m, AASHTO에서는 1.3m를 확폭하도록 하고 있어 0.3m의 차이를 보이고 있다. 반경이 200m인 경우는 도로시설기준령 0.5m, AASHTO 1.0m로서 차이가 두 배까지 증가함을 볼 수 있다.

**IV. 평면곡선부 확폭량의 개정안**

현재 한국 도로시설기준령에 제시된 확폭량 산정방법과 그에 따른 기준값은 다음과 같은 문제점을 안고 있다.

1. 차로폭에 대한 고려가 되어있지 않다.
2. 설계속도에 따른 곡선부에서의 주행편란성에 대한 고려가 되어있지 않다.
3. 이외에도 확폭량에 대한 편경사의 영향 및 속도(고속)의 영향이 고려되어있지 않다.

도로시설기준령에 제시된 확폭량 산정모델은 차로폭에 상관없이 곡선부에서 차량이 자신의 폭외에 추가로 차지하게 되는 폭만을 계산하여 확폭량으로 하고 있다. 그러나 같은 반경값을 갖는 곡선부라 할지라도 차로폭이 넓은 도로에 대해서는 그보다 좁은 도로보다 확폭을 더 적게 설치하여도 될 것이다.

따라서 평면곡선부에서의 확폭량은 곡선부에서 요구되는 폭에서 직선부에서 요구되는 폭만큼을 뺀 값으로 하여 직선부에서의 차로폭의 크기를 반영할 수 있도록 해야 할 것이다.

<표 7> 곡선반경별 설계속도별 확폭량(AASHTO, WB15 차량) (단위:m)

곡선반경 (m)	직선부 도로폭 6.6m					
	설계속도(km/h)					
	50	60	70	80	90	100
1500	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4
1000	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
750	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5
500	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8
400	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8
300	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	
250	0.7	0.8	0.8	0.9		
200	0.9	1.0	1.1			
150	1.2	1.3				
140	1.2	1.3				
130	1.2	1.3				
120	1.2	1.3				
110	1.2					
100	1.4					
90	1.4					
80	1.6					
70	1.7					

또한 도로시설기준령에서는 직선부에서나 곡선부에서나 차량이 점유하게 되는 폭외에 여유로 주게 되는 폭을 동일하게 적용하고 있는 문제점이 있다. 즉, 운전자가 곡선부에서 느끼는 주행의 어려움을 전혀 고려치 않고 있다. 차량운전자는 직선부보다 곡선부를 주행할 때 심리적인 부담을 더 느낀다는 실험결과 이미 많이 나와 있으며, 이로 미루어 곡선부에서는 차량과 도로의 기하구조에 의한 offtracking값 외에도 운전자의 부담감 및 운전자마다의 주행특성 차이를 고려한 여유치를 반영해야 할 것이다.

따라서 위에 기술된 문제점을 보완하기 위해서는 차로폭과 추가 여유폭이 변수로 삽입되어야 한다. 본 연구에서는 차로폭을 고려하기 위해서 확폭의 개념을 현재의  $\epsilon$ (〈그림 3〉 참조)이 아닌 새로운 개념을 도입하였다. 그것은 차량이 곡선부에서 필요로 하는 폭에서 직선부에서 필요로 하는 폭을 뺀 값이다. 즉, 곡선부에서의 차량 주행폭 B에 측면 여유폭(차체와 차도부 끝단사이의 여유거리)을 더한 값에서 직선부 차로폭을 뺀 값으로 하고 여기에 설계속도에 따라 결정되는 추가 여유폭(곡선부 주행의 어려움을 고려한 값)을 더하여 최종 확폭량으로 하였다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$w = W_c - W_n = N(B + C) + Z - W_n \quad (27)$$

여기서,

- w : 곡선부의 확폭
- $W_c$  : 곡선부에서의 필요폭
- $W_n$  : 직선부에서의 필요폭(차도폭)
- B : 차량의 주행폭
- N : 차로수
- C : 측면 여유폭(3.0m, 3.25m, 3.5m 도로에 대해 각각 0.6m, 0.7m, 0.8m로 가정)
- Z : 곡선부 주행의 어려움을 감안한 추가 여유폭

윗 식에서 차량의 주행폭 B는 현재 도로시설기준령에서 제시하고 있는 대형 자동차와 세미트레일러의 주행폭 계산방법에 따르며, 추가 여유폭 Z는 AASHTO에서 제시한 다음식으로 한다.

$$Z = (0.104) (V/\sqrt{R})$$

여기서, R : 2차로 도로 중심선의 반경(m)  
V : 설계속도(km/h)

결론적으로 본 연구에서 제시하는 새로운 확폭량 산정식은 직선부 차로폭과 설계속도의 변화를 고려하였으며, 추가 여유폭을 더해줌으로써 보다 안전한 곡선부 주행을 꾀할 수 있다.

새로운 확폭량 산정식의 적용 예로써 차로폭이 3.25m인 양방향 2차로 도로에 대한 확폭량 계산결과와 그에 따른 확폭량 기준값은 다음 〈표 8〉 및 〈표 9〉와 같다. 여기에서 확폭량 기준값은 0.1m 단위로 제시하였다. 또한 계산값이 0.5m 미만인 곡선부에 대해서는 확폭하지 않는 것으로 하였다. 이것은 〈표 8〉 및 〈표 9〉에서 음영처리된 부분의 아랫부분에 해당하며, 표의 우측부분 역시 설계속도에 따른 최소곡선반경 기준을 벗어나는 영역이다. 따라서 의미가 있는 부분은 음영처리된 부분이다.

설계기준 자동차가 대형 자동차이고 곡선반경이 140m인 왕복 2차로 도로의 설계속도가 60km/h인 경우, 현 도로시설기준령에 제시된 값과 개정안을 비교해보면(〈표 3〉 및 〈표 8〉 참조), 0.5m와 1.0m로서 두 배의 차이를 보인다. AASHTO 방법에 의한 계산값과 비교하면(〈표 5〉 참조) 0.97m와 1.0m로서 근사하다.

같은 조건에 대해 세미트레일러일 경우, 한국 도로

〈표 8〉 곡선반경별 확폭량 개정안(차로폭 3.25m, 대형 자동차) (단위:m)

곡선 반경	설계속도(km/h)									
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
60	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	
80	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	
100	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	
120	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	
140	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	
160	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	
180	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	
200	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	
220	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	
240	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	
260	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	
280	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	
300	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	
500	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	
800	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	
1000	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	

〈표 9〉 곡선반경별 확폭량 개정안(차로폭 3.25m, 세미트레일러) (단위:m)

곡선 반경	설계속도(km/h)									
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
60	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	3.0	3.1	3.2	3.4	
80	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.5	2.6	2.7	
100	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	
120	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	
140	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.7	
160	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	
180	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	
200	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	
220	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	
240	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2	
260	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	
280	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	
300	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	
500	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	
800	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	
1000	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	

시설기준령, AASHTO, 그리고 개정안에 대해서도 비교해보면(〈표 3〉, 〈표 7〉, 〈표 9〉 참조), 각각 1.0m, 1.3m, 1.2m로서 비교적 큰 차이를 보이지 않는다.

## V. 결론

본 연구에서는 한국 도로시설기준령에서 제시하고 있는 평면곡선부 확폭량을 재검토하였다. 검토결과 다음과 같은 문제점을 발견하였다.

1. 차로폭에 대한 고려가 되어있지 않다.
2. 설계속도에 따른 곡선부에서의 주행관성성에 대한 고려가 되어있지 않다.
3. 이외에도 확폭량에 대한 편경사의 영향 및 속도(고속)의 영향이 고려되어있지 않다.

앞의 두 문제점을 해결하기 위해 확폭량 산정에 있어 새로운 개념을 도입하였다. 즉, 기존의 차량 기하와 곡선반경만의 관계에 의한 확폭개념이 아니라 곡선부에서 필요로 하는 폭에서 직선부에서의 필요폭을 뺀 값을 확폭량으로 하는 개념을 도입하였다. 곡

선부에서의 필요폭은 offtracking현상에 의한 차량의 주행폭과 측면 여유치, 그리고 곡선부에서 운전자가 갖는 주행의 곤란성을 감안한 추가 여유치를 모두 고려한 값이 되며, 직선부에서의 필요폭은 직선부 차로폭에 차로수를 곱한 값이 된다.

왕복 2차로 도로일 경우에 대해 새로운 개념을 도입하여 계산한 결과 두 설계기준 자동차(대형 자동차와 세미트레일러) 모두에서 정도의 차이는 있으나 전반적으로 현재의 확폭량 기준값보다 상회하는 값이 도출되었다.

향후 확폭량에 미치는 편경사와 속도(고속 시)의 영향을 고려한 보다 정밀한 확폭량 산정방법의 개발이 이루어져야 할 것이다. 아울러 설계기준 자동차의 재설정에 대한 연구도 진행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. Thomas D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA., 1992.
2. Heald, KL., Use of the WHI Offtracking Formula, Transportation Research Record 1052, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1986.
3. Turning Ability and Offtracking. In 1964 SAE Handbook, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa., 1964.
4. 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 건설교통부, 2000. 3.
5. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, Washington, D.C., 1994.
6. Thomas F. Hickerson, Route Location and Design, 5th ed., McGraw-Hill, 1964.
7. Micael W. Sayers, Vehicle Offtracking Models, Transportation Research Record 1052, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1986.