

비용-효율적인 중앙선침범 예방시설물 설치기준 개발에 관한 연구

Development of Cost-Effective Criteria about Installing Facilities Median Encroachment

하태준* · 박제진**

Ha, Tae-Jun · Park, Je-Jin

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

2001년 경찰청 『2001년판 교통사고통계』 자료에 의하면 사고피해의 정도를 나타내는 치사율에 있어서 중앙선침범사고가 과속사고와 함께 가장 높은 수치를 보이고 있으며, 대형 교통사고의 39.5%가 중앙선침범에 의해 발생한 것으로 나타났다.¹⁾ 실제로 2000년 한 해 동안 총사고건수 290,481건 중 중앙선침범에 의해 18,931건(6.52%)의 교통사고가 발생하여 사망자 1,472명, 부상자 35,046명으로 전체 교통사고 사망자의 14.38%, 부상자의 8.21%를 점하고 있는 것으로 나타났다.⁴⁾ 이와 같이 전체 교통사고에서 중앙선침범사고가 차지하는 비중이 높아지고 있어 중앙선침범사고를 줄이기 위한 대책의 일환으로 중앙분리대·표지병·시선 유도봉 등과 같은 중앙선침범 예방시설물을 설치하고 있으나, 해당 시설물에 대한 세부적인 설치기준이 없는 실정이다. 이러한 점에 착안하여 중앙선침범사고 예측모델을 기반으로 중앙선침범과 관련된 제반 교통사고비용과 현재 적용하고 있는 중앙분리대 설치비용간의 편익-비용분석을 통해 얻어진 기준으로 중앙분리대 설치여부에 대한 보다 현실적이고 비용-효율적인 중앙분리대 설치여부 판단기준을 제시함으로써 교통사고 비용손실을 최소화하고, 중앙분리대의 효율적 설치방안의 도입을 통한 경제적 이익창출을 도모하고자 한다.²⁾

1.2 연구내용 및 방법

비용-효율적인 중앙분리대 설치여부 판단기준을 마련하기 위해 우선적으로 지방부 2차로 및 4차로 도로를 중심으로 도로의 기하구조 및 교통류 특성에 따라 직선부, 곡선부 좌로 굽은 도로와 우로 굽은 도로 각각에 대한 중앙선침범 예측건수와 침범차량의 대향차량과의 충돌확률을 구해 중앙선침범사고 예측모델을 개발하고자 한다. 이를 위해 도로변사고와 사고비용 산출연구 등 최근의 연구에서 많이 인용되어져 검증이 이루어진 Hutchinson과 Kennedy의 연구자료를 토대로 본 연구에서도 중앙선침범 예측건수 및 침범차량의 침범각과 침범속도의 제시에 활용하였다.¹⁴⁾ 침범차량의 침범속도와 침범각 분포를 알면 침범차량의 주행거리를 산정할 수 있으며 산정된 주행거리로부터 침범 차로 상에서의 주행시간을 산정할 수 있다. 주행시간을 산정한 후 해당 차도에 대한 주행차량의 출현에 대해 간격수락이론을 적용시켜 최종적으로 도로기하구조별 중앙선침범사고 예측모델을 제시할 수 있다.⁹⁾ 도로기하구조별로 제시된 중앙선침범사고 예측모델은 실제 발생한 중앙선침범사고건수와 교통량을 조사한 후, 모델에서 예측한 사고건수와 비교 분석하는 검증 단계를 필요로 한다. 모델의 검증을 위해서는 실제 중앙선침범사고 자료를 도입해야 하나 자료의 취득이 어려운 관계로 본 연구에서는 사고를 내재한 상충(Conflict)개념을 도입하여 현장에서 취득한 상충수를 중앙선침범사고 예측건수와 비교하였다. 상충에 대한 현장조사자료는 먼저 자료의 취득이 가능한 구간을 선정 한 후, 해당 구간에서의 상충수를 조사하였다. 조사에 의해 확보된 상충수와 건설교통부에서 발간한 『도로교통량통계연보(2001)』에서 제시된 교통량을 토대로 회귀분석을 시행한 후 도출된 결정계수(R^2)로 중앙선침범사고 예측모델의 적합성을 판단하였다.¹⁾ 적합성이 검증된 중앙선침범사고 예측모델에서 산출된 중앙선침범사고 예측건수에 따른 교통사고비용을 산출하고, 중앙분리대 설치비

*정회원 · 전남대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 · 062-530-1658 (E-mail:tjha@chonnam.ac.kr)

**정회원 · 전남대학교 공업기술연구소 선임연구원 · 공학박사 · 062-530-0658 (E-mail:jjpark@chonnam.ac.kr)



용을 산출하여 두 비용간의 편익-비용분석을 통해 얻어진 기준으로 중앙선침범 예방시설물 설치의 가부 및 시설물의 종류에 대한 보다 현실적이고 비용-효율적인 중앙분리대 설치여부 판단기준을 제시하고자 한다.

2. 기존 연구문헌 고찰

2.1 중앙선침범 관련 연구

1) 중앙분리대 설치효과

Walton, Long, Gan과 Morrison 등의 연구에 의하면 기존의 도로에 실제로 중앙분리대를 설치할 경우 충돌과 교통지체도를 줄일 수 있다는 실험결과를 제시하고 있으나 사실상 중앙분리대의 긍정적, 부정적 효과에 따라 설치 및 폐쇄와 관련한 구체적인 기준을 제시하고 있지 못하는 실정이다.¹⁵⁾

2) 중앙선 침범각 분포

1966년 Hutchinson과 Kennedy가 미국의 Missouri 주의 고속도로에서 중앙선침범을 조사하여 침범각 분포를 표 1과 같이 제시하였으며 본 연구에서도 이를 활용하였다.¹³⁾

표 1. Hutchinson과 Kennedy의 침범각 분포

중앙선 침범각 (°)	확률 가중치
$\theta \leq 7.5$	0.48
$7.5 < \theta \leq 12.5$	0.20
$12.5 < \theta \leq 17.5$	0.12
$17.5 < \theta \leq 22.5$	0.08
$22.5 < \theta \leq 27.5$	0.05
$27.5 < \theta$	0.07

2.2 도로변사고 관련 연구

1) 도로변사고 예측모델의 기본구조

『TRB Special Report 214』에 제안되고 있는 도로변사고 예측모델의 기본구조는 식(1)과 같다.¹⁷⁾

$$Ex(A_h) = Ex(E) \cdot Pr(E_h | E) \cdot Pr(C_h | E_h) Pr(A_h | C_h) \quad (1)$$

2) 도로변사고 침범율

Glennon과 Wilton은 Hutchinson과 Kennedy의 자료를 이용하여 ADT의 선형함수로서 표 2와 같이 도로의 등급별 도로 양방향에 대한 침범율을 추정하였다.¹¹⁾

표 2. Glennon과 Wilton의 도로변사고 침범율

도로의 등급		침범율
지방부 도로	주간연결도로	0.0009
	분리형 다차로도로	0.00059
	넓은 2차로 도로(차로폭 ≥ 36ft)	0.000742
	좁은 2차로 도로(차로폭 < 36ft)	0.00121
도시부 도로	주간연결도로	0.0009
	분리형 다차로도로	0.0009
	주간선도로	0.00133

주) 침범율 단위 : no/mile/year

3. 중앙선침범사고 예측모델의 개발

3.1 예측모델의 기본가정과 구조

1) 예측모델의 기본가정

본 연구에서 중앙선침범사고 예측모델을 제시하기 위하여 차량의 크기, 운전자의 주행행태와 도로조건에 대하여 몇 가지를 표 3과 같이 가정하였다.⁷⁾

표 3. 예측모델의 기본가정

• 차량길이(L_v)와 차량폭(L_w) : 4.7 m × 1.7 m
• 차로폭과 중앙선폭 : 3.5 m , 0.5 m
• 침범차량과 대향차량을 포함한 모든 주행차량은 등속주행한다.
• 침범차량은 침범 시작 연후에 직선으로 주행한다.
• 침범차량은 침범 후 일체의 제어를 하지 않는다.
• 침범차량을 제외한 모든 차량은 해당 차로의 중앙으로 주행한다.
• 주행방향이 동일한 경우 1차로 주행차량은 2차로 침범차량에 대해 일체의 제어를 하지 않는다.
• 주행방향이 동일한 경우 1차로 주행차량의 차두간격분포는 음지수분포를 이룬다.
• 대향차량은 중앙선침범차량에 대해 일체의 제어를 하지 않는다.
• 대향차량의 차두간격분포는 음지수분포를 이룬다.

2) 예측모델의 기본구조

중앙선침범사고 예측모델의 기본구조는 해당 도로의 차로수에 따라 구분지어진다. 먼저 2차로 도로의 경



우 연간 중앙선침범 예측건수와 침범후 대향차량과의 충돌확률로 표현할 수 있는데 이는 식(2)와 같이 제시할 수 있다. 또한 4차로 도로의 경우에는 주행 2차로 차량이 침범차량일 경우와 주행 1차로 차량이 침범차량일 경우로 구분하여 각각 식(3),(4)와 같이 제시할 수 있다.

$$Ex(A_e) = Ex(E_m) \cdot P(A_o | E_o) \tag{2}$$

$$Ex(A_e) = Ex(E_m) \cdot P(A_{s(1)} | E_{s(1)}) \cdot P(A_{o(1)} | E_{o(1)}) \cdot P(A_{o(2)} | E_{o(2)}) \tag{3}$$

$$Ex(A_e) = Ex(E_m) \cdot P(A_{o(1)} | E_{o(1)}) \cdot P(A_{o(2)} | E_{o(2)}) \tag{4}$$

$Ex(A_e)$: 연간 중앙선침범사고 예측건수

$Ex(E_m)$: 연간 중앙선침범 예측건수

$P(A_o | E_o)$: 중앙선침범후 대향차량과의 충돌확률

$P(A_{s(1)} | E_{s(1)})$: 주행 1차로 침범 후 주행 1차로 차량과의 충돌확률

$P(A_{o(1)} | E_{o(1)})$: 대향 1차로 침범 후 대향 1차로 차량과의 충돌확률

$P(A_{o(2)} | E_{o(2)})$: 대향 2차로 침범 후 대향 2차로 차량과의 충돌확률

3.2 연간 중앙선침범 예측건수

본 연구에서는 도로기하구조 형태별로 구분지어 침범을 적용이 가능하도록 Glennon과 Wilton의 침범율에 기하구조 형태에 따른 보정계수를 적용하였다.¹¹⁾ 표 2에서 제시되는 지방부 좁은 2차로 도로 및 분리형 다차로도로의 침범율은 도로변 양방향 침범에 관한 것이므로 도로의 한쪽 방향에 해당하는 중앙선침범에 사용하기 위해서는 도로변 양방향 침범율을 2로 나누고 mile 단위를 km 단위로 환산토록 하고, 직선부와 좌로 굽은 곡선부 및 우로 굽은 곡선부의 침범비율을 구분짓기 위해 보정계수 r_{se} 와 r_{ce} 및 $r_{ce(l)}$ 과 $r_{ce(r)}$ 을 적용하여 도로의 기하구조 형태별 연간 중앙선침범 예측건수를 식(5)~(10)과 같이 각각 구할 수 있다.¹²⁾

1) 직선부 도로 중앙선침범 예측건수

$$\textcircled{1} \text{ 직선부 2차로 도로 : } Ex(E_m) = 3.75939 \times 10^{-4} \cdot r_{se} \cdot ADT \tag{5}$$

$$\textcircled{2} \text{ 직선부 4차로 도로 : } Ex(E_m) = 1.83309 \times 10^{-4} \cdot r_{se} \cdot ADT \tag{6}$$

2) 좌로 굽은 곡선부 도로 중앙선침범 예측건수

$$\textcircled{1} \text{ 곡선부 2차로 도로 : } Ex(E_m) = 3.75939 \times 10^{-4} \cdot r_{ce(l)} \cdot ADT \tag{7}$$

$$\textcircled{2} \text{ 곡선부 4차로 도로 : } Ex(E_m) = 1.83309 \times 10^{-4} \cdot r_{ce(l)} \cdot ADT \tag{8}$$

3) 우로 굽은 곡선부 도로 중앙선침범 예측건수

$$\textcircled{1} \text{ 곡선부 2차로 도로 : } Ex(E_m) = 3.75939 \times 10^{-4} \cdot r_{ce(r)} \cdot ADT \tag{9}$$

$$\textcircled{2} \text{ 곡선부 4차로 도로 : } Ex(E_m) = 1.83309 \times 10^{-4} \cdot r_{ce(r)} \cdot ADT \tag{10}$$

r_{se} : 직선부 침범비율

r_{ce} : 곡선부 침범비율

$r_{ce(l)}$: 좌로 굽은 곡선부 침범비율

$r_{ce(r)}$: 우로 굽은 곡선부 침범비율

3.3 침범차량과 대향차량의 충돌확률

중앙선침범사고 예측모델에서 대향차량에 대한 침범확률은 간격수락이론을 적용하였으며 차량의 침범각과 침범속도에 따라 침범 후 주행거리가 달라지기 때문에 침범각분포를 고려하였다. 본 연구에서는 임의 도착차량 사이의 간격을 설명하는데 유용한 분포식인 음이수분포식을 사용하여 임계시간 t_{ci} 보다 차두간격이 작을 충돌확률을 일반화시켜 식(11)과 같이 구하였다.¹⁰⁾ 여기서, i 는 $s(1)$, $o(1)$, $o(2)$ 를 의미한다.

$$P(h \leq t_{ci}) = 1 - \exp\left(-\frac{r_{ti} \cdot ADT}{86,400} \cdot t_{ci}\right) \tag{11}$$



- s(1) : 주행 1차로 (Subjective Lane(1))
- o(1) : 대향 1차로 (Opposite Lane(1)= o)
- o(2) : 대향 2차로 (Opposite Lane(2))

1) 침범차량의 충돌내재구간 상에서의 주행거리

침범차량이 충돌내재구간을 주행한 거리를 산정하는 방법으로 표 4와 같은 조건을 토대로 (x, y) 좌표체계를 이용한 수식계산 방법을 제시한다. 여기서 충돌내재구간이라 함은 차로폭 3.5m에 대해 침범차량을 제외한 모든 주행차량이 해당 차로의 중앙으로 주행한다고 가정하였을 때, 주행하는 각 차량의 폭 1.7m의 구간을 침범차량이 주행함으로써 해당 차로를 주행하는 차량과의 충돌 가능성을 내재하고 있는 구간을 의미한다.⁹⁾

i) 직선부 도로 충돌내재구간 주행거리

① 직선부 2차로 도로

직선부 2차로 도로에 있어서 중앙선침범차량이 대향차로 상의 충돌내재구간을 주행한 거리는 그림 1을 토대로 식(12)와 같이 구할 수 있다.

$$L_e = L_a + L_b + L_v = L_w \cdot \cot \frac{\theta}{2} + L_v \quad (12)$$

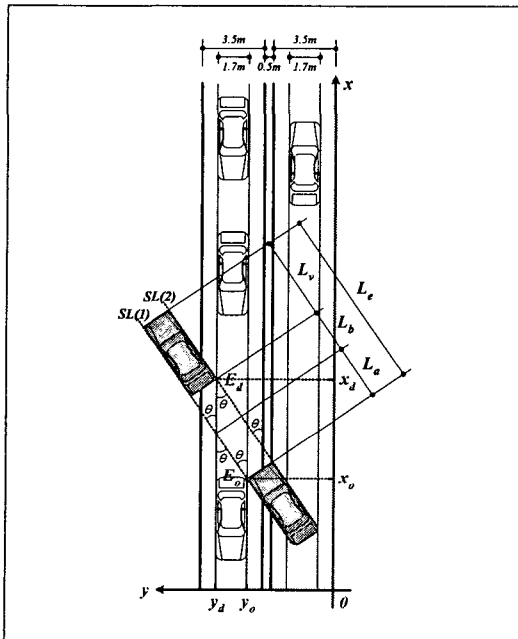


그림 1. 직선부 2차로 도로 충돌내재구간 주행거리

표 4. 침범차량에 대한 주행거리 산정규약

주행 1차로	최초충돌내재구간 시점의 좌 표 : $E_{os(1)}$
	최종충돌내재구간 종점의 좌 표 : $E_{ds(1)}$
	최초충돌내재구간 시점의 곡선반경 : $R_{os(1)}$
	최종충돌내재구간 종점의 곡선반경 : $R_{ds(1)}$
대향 1차로	최초충돌내재구간 시점의 좌 표 : $E_{oo(1)} = E_o$
	최종충돌내재구간 종점의 좌 표 : $E_{do(1)} = E_d$
	최초충돌내재구간 시점의 곡선반경 : $R_{oo(1)} = R_{Es}$
	최종충돌내재구간 종점의 곡선반경 : $R_{do(1)} = R_{Ed}$
대향 2차로	최초충돌내재구간 시점의 좌 표 : $E_{oo(2)}$
	최종충돌내재구간 종점의 좌 표 : $E_{do(2)}$
	최초충돌내재구간 시점의 곡선반경 : $R_{oo(2)}$
	최종충돌내재구간 종점의 곡선반경 : $R_{do(2)}$
침범 차량	좌 측 궤적 : $Straight Line(1)=SL(1)$
	우 측 궤적 : $Straight Line(2)=SL(2)$
	침 범 각 : $5^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$

• 도로의 곡선반경을 R_m 이라 하고, R_m 은 원의 중심에서 중앙분리대의 중심까지를 의미한다($x^2 + y^2 = R_m^2$).

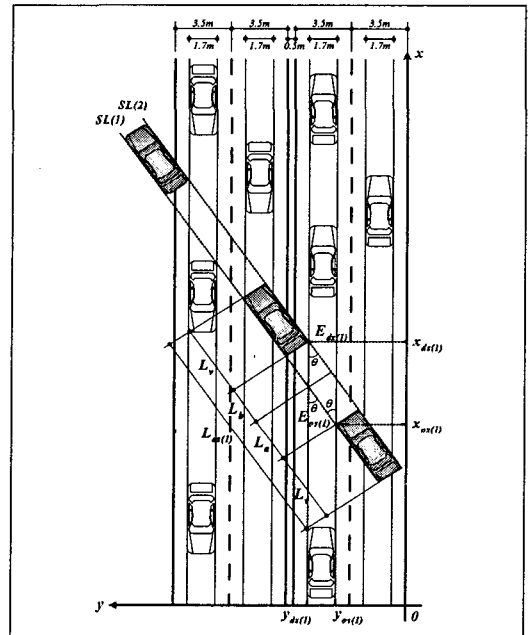


그림 2. 직선부 4차로 도로 주행 1차로 상의 충돌내재구간 주행거리

② 직선부 4차로 도로

직선부 4차로 도로의 경우 주행 2차로 차량이 침범차량인 경우와 주행 1차로 차량이 침범차량인 경우로 구분지어 생각해야 한다. 본 논문에서는 주행 2차로 차량이 침범차량인 경우만을 제시한 그림 2~4를 토대로



식(13),(14)와 같이 주행거리를 산정하였으며, 주행 1차로 차량이 침범차량인 경우는 주행 2차로 차량이 침범 차량일 경우의 충돌내재구간 주행거리에서 대향 1차로 상의 충돌내재구간 시점좌표 이전의 주행거리인 그림 2와 식(13)의 경우만을 제외시켜 해당 주행거리를 구할 수 있다.

$$L_{es(1)} = L_w \cdot \cot \frac{\theta}{2} + 2L_v \tag{13}$$

$$L_{eo(1)} = L_{eo(2)} = L_w \cdot \cot \frac{\theta}{2} + L_v \tag{14}$$

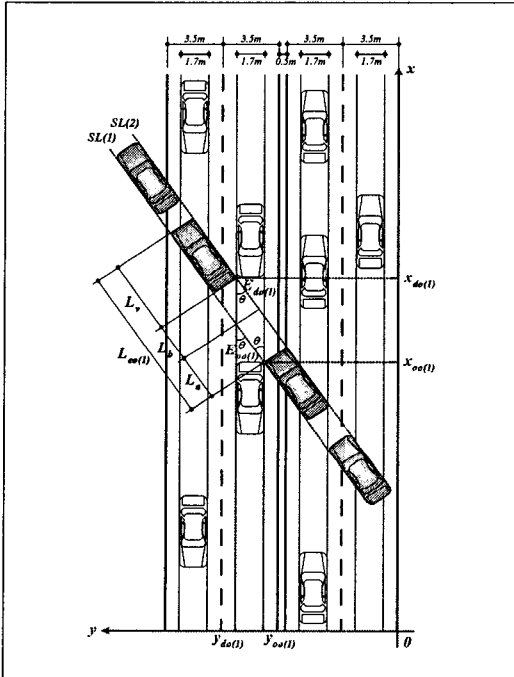


그림 3. 직선부 4차로 도로 대향 1차로 상의 충돌 내재구간 주행거리

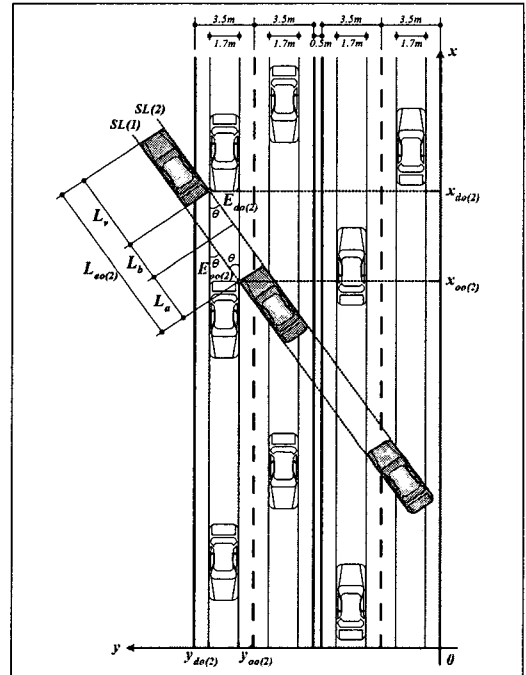


그림 4. 직선부 4차로 도로 대향 2차로 상의 충돌 내재구간 주행거리

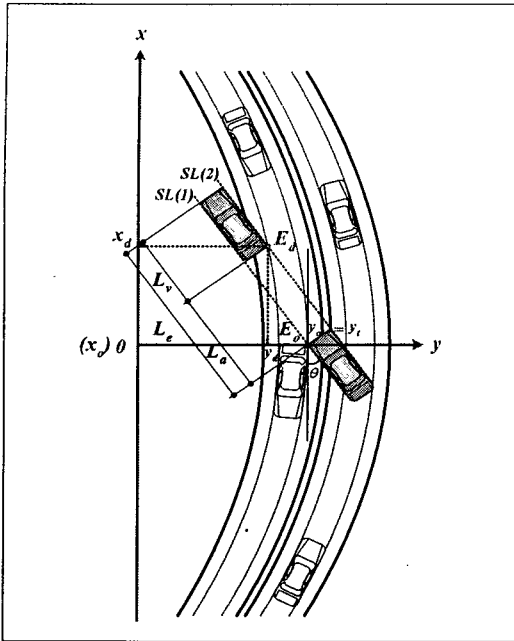


그림 5. 곡선부 2차로 좌로 굽은 도로 충돌내재구간 주행거리

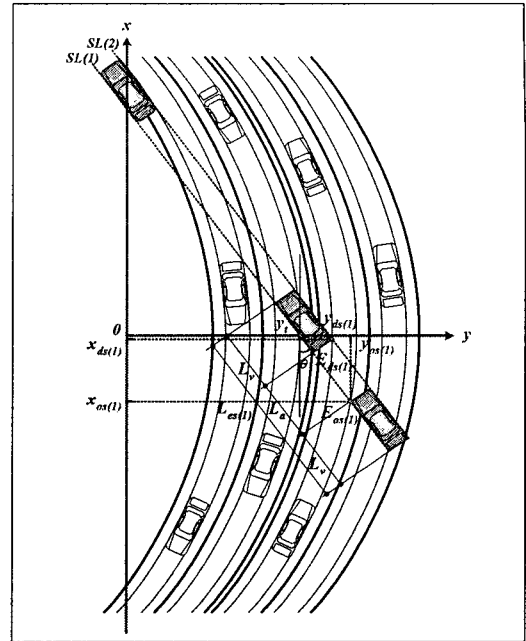


그림 6. 곡선부 4차로 좌로 굽은 도로 주행 1차로 상의 충돌내재구간 주행거리

ii) 곡선부 좌로 굽은 도로 충돌내재구간 주행거리

① 곡선부 2차로 좌로 굽은 도로

곡선부 2차로 좌로 굽은 도로에 있어서 중앙선침범차량이 대향차로 상의 충돌내재구간을 주행한 거리는 그림 5를 토대로 식(15)와 같이 구할 수 있다.

$$L_e = R_{E_v} \cdot \sin \theta - \frac{\sqrt{R_{E_v}^2 \cdot \sec^2 \theta - (R_{E_v} + L_w \cdot \sec \theta)^2}}{\sec \theta} + L_v \quad (15)$$

② 곡선부 4차로 좌로 굽은 도로

곡선부 4차로 좌로 굽은 도로의 경우에 있어서도 직선부 4차로 도로와 마찬가지로 주행 2차로 차량이 침범차량인 경우와 주행 1차로 차량이 침범차량인 경우로 구분지어 생각해야만 한다. 본 논문에서는 주행 2차로 차량이 침범차량인 경우만을 제시한 그림 6~8을 토대로 식(16)~(18)과 같이 주행거리를 산정하였으며, 주행 1차로 차량이 침범차량인 경우는 주행 2차로 차량이 침범차량일 경우의 충돌내재구간 주행거리에서 대향 1차로 상의 충돌내재구간 시점좌표 이전의 주행거리인 그림 6의 식(16)의 경우만을 제외시켜 해당 주행거리를 구할 수 있다.

$$L_{es(1)} = \frac{\sqrt{R_{os(1)}^2 \sec^2 \theta - R_{oo(1)}^2}}{\sec \theta} - \frac{\sqrt{R_{ds(1)}^2 \sec^2 \theta - (R_{oo(1)} + L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} + 2L_v \quad (16)$$

$$L_{eo(1)} = R_{oo(1)} \sin \theta - \frac{\sqrt{R_{do(1)}^2 \sec^2 \theta - (R_{oo(1)} + L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} + L_v \quad (17)$$

$$L_{eo(2)} = \frac{\sqrt{R_{oo(2)}^2 \sec^2 \theta - R_{oo(1)}^2}}{\sec \theta} - \frac{\sqrt{R_{do(2)}^2 \sec^2 \theta - (R_{oo(1)} + L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} + L_v \quad (18)$$

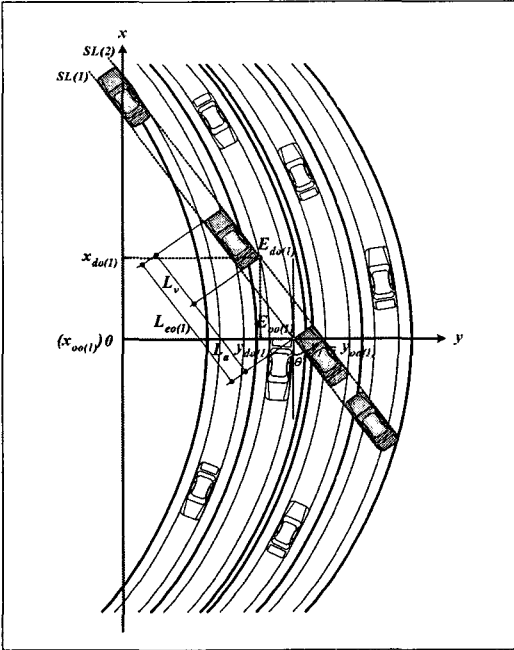


그림 7. 곡선부 4차로 좌로 굽은 도로 대향 1차로 상의 충돌내재구간 주행거리

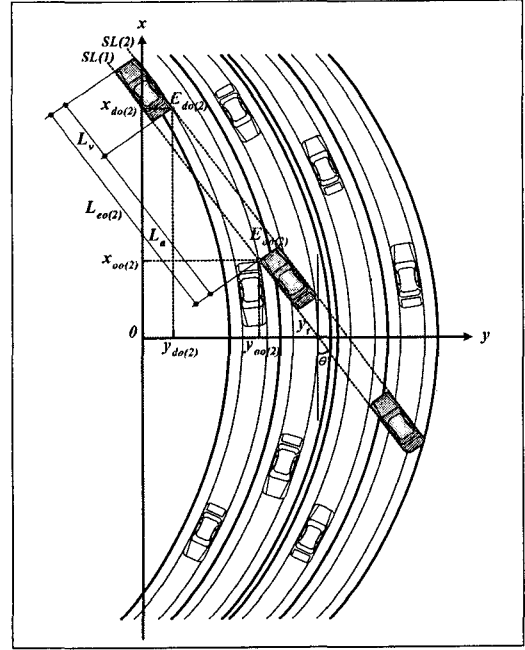


그림 8. 곡선부 4차로 좌로 굽은 도로 대향 2차로 상의 충돌내재구간 주행거리

iii) 곡선부 우로 굽은 도로 충돌내재구간 주행거리

① 곡선부 2차로 우로 굽은 도로

곡선부 2차로 우로 굽은 도로에 있어서 중앙선침범차량이 대향차로 상의 충돌내재구간을 주행한 거리는 그림 9를 토대로 식(19)와 같이 구할 수 있다.

$$L_e = \frac{\sqrt{R_{E_d}^2 \cdot \sec^2 \theta - (R_{E_o} - L_w \cdot \sec \theta)^2}}{\sec \theta} - R_{E_o} \cdot \sin \theta + L_v \quad (19)$$

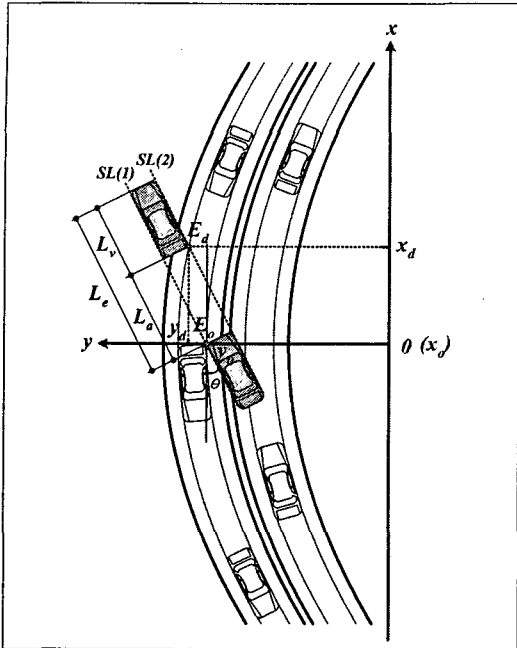


그림 9. 곡선부 2차로 우로 굽은 도로 충돌내재구간 주행거리

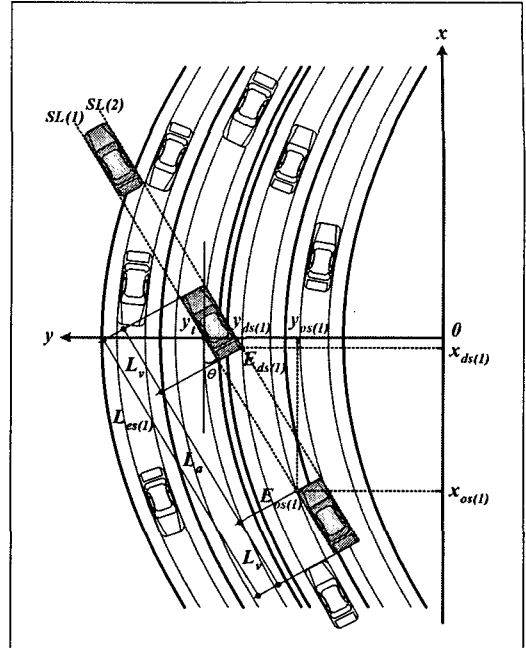


그림 10. 곡선부 4차로 우로 굽은 도로 주행 1차로 상의 충돌내재구간 주행거리

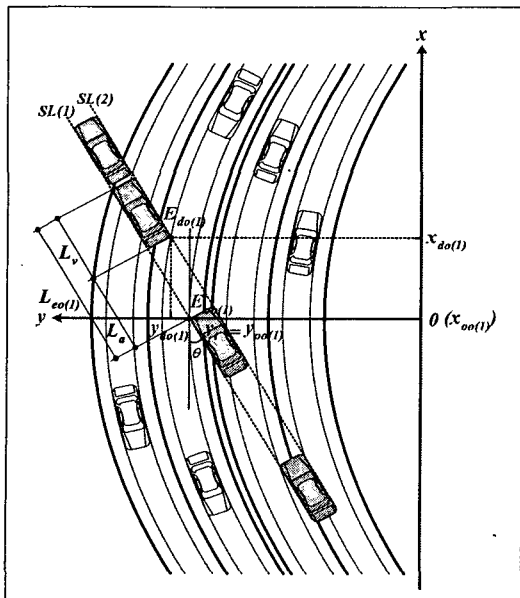


그림 11. 곡선부 4차로 우로 굽은 도로 대향 1차로 상의 충돌내재구간 주행거리

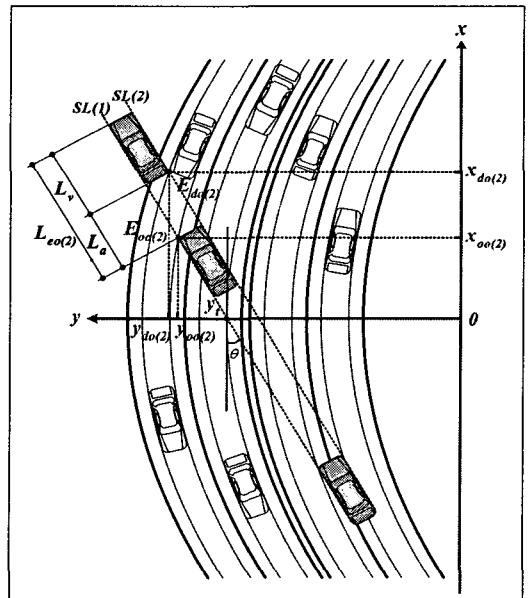


그림 12. 곡선부 4차로 우로 굽은 도로 대향 2차로 상의 충돌내재구간 주행거리

② 곡선부 4차로 우로 굽은 도로

곡선부 4차로 우로 굽은 도로의 경우에 있어서도 직선부 4차로 도로 및 곡선부 4차로 좌로 굽은 도로와



마찬가지로 주행 2차로 차량이 침범차량인 경우와 주행 1차로 차량이 침범차량인 경우로 구분지어 생각해야만 한다. 본 논문에서는 주행 2차로 차량이 침범차량인 경우만을 제시한 그림 10~12를 토대로 식(20)~(22)와 같이 주행거리를 산정하였으며, 주행 1차로 차량이 침범차량인 경우는 주행 2차로 차량이 침범차량일 경우의 충돌내재구간 주행거리에서 대항 1차로 상의 충돌내재구간 시점좌표 이전의 주행거리인 그림 10과 식(20)의 경우만을 제외시켜 해당 주행거리를 구할 수 있다.

$$L_{es(1)} = \frac{\sqrt{R_{ds(1)}^2 \sec^2 \theta - (R_{oo(1)} - L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} - \frac{\sqrt{R_{os(1)}^2 \sec^2 \theta - R_{oo(1)}^2}}{\sec \theta} + 2L_v \quad (20)$$

$$L_{eo(1)} = \frac{\sqrt{R_{do(1)}^2 \sec^2 \theta - (R_{oo(1)} - L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} - R_{oo(1)} \sin \theta + L_v \quad (21)$$

$$L_{eo(2)} = \frac{\sqrt{R_{do(2)}^2 \sec^2 \theta - (R_{oo(1)} - L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} - \frac{\sqrt{R_{oo(2)}^2 \sec^2 \theta - R_{oo(1)}^2}}{\sec \theta} + L_v \quad (22)$$

2) 침범차량의 충돌내재구간 상에서의 주행시간

침범차량의 충돌내재구간을 통과하는데 소요되는 시간을 산정하는 것으로, 도로 기하구조별로 각각 구분지어 해당 차로상에서의 주행거리를 도로조건에 적용한 특정속도로 나누어 충돌내재구간에서의 주행시간을 주행차로 및 대항차로 상에서의 일반식으로 식(23),(24)와 같이 제시하였다.

여기서 제시된 식(23),(24)는 4차로 도로를 대상으로 하는 차량의 분포행태에 대하여 충돌여부를 판단하는 임계시간을 의미하는 것으로서 식(23)은 주행 2차로 차량이 침범차량일 경우 주행 1차로 주행차량과의 충돌내재구간 상에서의 임계시간을 의미하고, 식(24)는 해당 침범차량이 대항 1,2차로를 주행하는 동안 대항차량도 침범차량을 향해 주행하기 때문에 침범차량이 대항차로의 충돌내재구간을 주행하는 시간동안 대항차량이 충돌내재구간을 향해 주행하게 될 시간도 고려한 것이다. 2차로 도로의 경우에는 대항 1차로 차량과의 충돌내재구간상에서의 임계시간만을 고려하면 된다.

$$t_{ci} = \frac{L_{ei}}{V(km/h)} = \frac{3.6 L_{ei}}{V(m/sec)} \quad (23)$$

$$t_{cj} = \frac{L_{ej}}{V(km/h)} = \frac{7.2 L_{ej}}{V(m/sec)} \quad (24)$$

$i : s(1) \quad j : o(1) = o, o(2)$

3) 침범차량의 충돌내재구간 상에서의 충돌확률

4차로 도로를 기준으로 할 때 침범차량의 충돌내재구간 상에서의 충돌확률은 주행 1차로 주행차량 및 대항 1,2차로 주행차량과의 차두간격분포에서 충돌확률을 구하고, 이 확률값에 침범차량의 각분포에 가중치를 두어 이들에 대한 값을 합산함으로써 전체 침범차량군에 대한 충돌확률을 구할 수 있다. 침범각 분포는 침범율과 동일하게 Hutchinson과 Kennedy의 자료를 이용하였다.¹³⁾ 각분포는 표 1에 나타나 있으며 6개의 영역으로 구분되어 있다. 이 6개 영역을 하나의 대표각으로 나타내어 이에 따른 임계시간을 구하여 확률분포함수에서 확률을 구하고 이 대표각에 해당하는 분포확률을 곱하여 식(25)와 같이 일반화된 식으로 나타낼 수 있다.¹⁰⁾

$$P(A_i | E_i) = \prod_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[- \frac{r_{ii} \cdot ADT}{86,400} \cdot t_{ci} \right] \right) \cdot p_k \right] \quad (25)$$

$i : s(1), o(1) = o, o(2) \quad p_k : 침범확률$

3.4 중앙선침범사고 예측모델의 제시

교통사고의 주요한 요소인 교통량과 속도를 토대로 지방부 도로의 중앙선침범사고 예측모델은 연간 중앙선침범 예측건수와 침범차량의 충돌내재구간 상에서의 충돌확률로 구성되므로 식(2)~(4)의 기본 구조에 식(5)~(10)과 식(25)를 대입하여 표 5와 같이 정리할 수 있다.



표 5. 도로기하구조별 중앙선침범사고 예측모델

직선부 2차로 도로 중앙선침범사고 예측모델
$Ex(A_s) = 3.75939 \times 10^{-4} \cdot r_{ie} \cdot ADT \cdot \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ie} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} (L_w \cdot \cot \frac{\theta}{2} + L_v) \right] \right) \cdot p_k \right]$
직선부 4차로 도로 중앙선침범사고 예측모델 (주행 2차로 차량이 침범차량일 경우)
$Ex(A_s) = 1.83309 \times 10^{-4} \cdot r_{ie} \cdot ADT \cdot \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ie(1)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{3.6}{V} (L_w \cdot \cot \frac{\theta}{2} + 2L_v) \right] \right) \cdot p_k \right] \\ + \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ie(1)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} (L_w \cdot \cot \frac{\theta}{2} + L_v) \right] \right) \cdot p_k \right] \\ + \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ie(2)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} (L_w \cdot \cot \frac{\theta}{2} + L_v) \right] \right) \cdot p_k \right]$
직선부 4차로 도로 중앙선침범사고 예측모델 (주행 1차로 차량이 침범차량일 경우)
$Ex(A_s) = 1.83309 \times 10^{-4} \cdot r_{ie} \cdot ADT \cdot \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ie(1)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} (L_w \cdot \cot \frac{\theta}{2} + L_v) \right] \right) \cdot p_k \right] \\ + \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ie(2)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} (L_w \cdot \cot \frac{\theta}{2} + L_v) \right] \right) \cdot p_k \right]$
곡선부 2차로 좌로 굽은 도로 중앙선침범사고 예측모델
$Ex(A_s) = 3.75939 \times 10^{-4} \cdot r_{ce(1)} \cdot ADT \\ \cdot \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ce} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} (R_E \cdot \sin \theta - \frac{\sqrt{R_E^2 \cdot \sec^2 \theta - (R_E + L_w \cdot \sec \theta)^2}}{\sec \theta} + L_v) \right] \right) \cdot p_k \right]$
곡선부 2차로 우로 굽은 도로 중앙선침범사고 예측모델
$Ex(A_s) = 3.75939 \times 10^{-4} \cdot r_{ce(r)} \cdot ADT \\ \cdot \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ce} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} \left(\frac{\sqrt{R_E^2 \sec^2 \theta - (R_E - L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} - R_E \cdot \sin \theta + L_v \right) \right] \right) \cdot p_k \right]$
곡선부 4차로 좌로 굽은 도로 중앙선침범사고 예측모델 (주행 2차로 차량이 침범차량일 경우)
$Ex(A_s) = 1.83309 \times 10^{-4} \cdot r_{ce} \cdot ADT \\ \cdot \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ce(1)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{3.6}{V} \left(\frac{\sqrt{R_{ce(1)}^2 \sec^2 \theta - R_{ce(1)}^2}}{\sec \theta} - \frac{\sqrt{R_{ce(1)}^2 \sec^2 \theta - (R_{ce(1)} + L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} + 2L_v \right) \right] \right) \cdot p_k \right] \\ + \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ce(1)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} (R_{ce(1)} \sin \theta - \frac{\sqrt{R_{ce(1)}^2 \sec^2 \theta - (R_{ce(1)} + L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} + L_v) \right] \right) \cdot p_k \right] \\ + \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ce(2)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} \left(\frac{\sqrt{R_{ce(2)}^2 \sec^2 \theta - R_{ce(1)}^2}}{\sec \theta} - \frac{\sqrt{R_{ce(2)}^2 \sec^2 \theta - (R_{ce(1)} + L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} + L_v \right) \right] \right) \cdot p_k \right]$
곡선부 4차로 좌로 굽은 도로 중앙선침범사고 예측모델 (주행 1차로 차량이 침범차량일 경우)
$Ex(A_s) = 1.83309 \times 10^{-4} \cdot r_{ce} \cdot ADT \\ \cdot \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ce(1)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} (R_{ce(1)} \sin \theta - \frac{\sqrt{R_{ce(1)}^2 \sec^2 \theta - (R_{ce(1)} + L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} + L_v) \right] \right) \cdot p_k \right] \\ + \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ce(2)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} \left(\frac{\sqrt{R_{ce(2)}^2 \sec^2 \theta - R_{ce(1)}^2}}{\sec \theta} - \frac{\sqrt{R_{ce(2)}^2 \sec^2 \theta - (R_{ce(1)} + L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} + L_v \right) \right] \right) \cdot p_k \right]$
곡선부 4차로 우로 굽은 도로 중앙선침범사고 예측모델 (주행 2차로 차량이 침범차량일 경우)
$Ex(A_s) = 1.83309 \times 10^{-4} \cdot r_{ce(r)} \cdot ADT \\ \cdot \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ce(1)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{3.6}{V} \left(\frac{\sqrt{R_{ce(1)}^2 \sec^2 \theta - (R_{ce(1)} - L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} - \frac{\sqrt{R_{ce(1)}^2 \sec^2 \theta - R_{ce(1)}^2}}{\sec \theta} + 2L_v \right) \right] \right) \cdot p_k \right] \\ + \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ce(1)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} \left(\frac{\sqrt{R_{ce(1)}^2 \sec^2 \theta - (R_{ce(1)} - L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} - R_{ce(1)} \sin \theta + L_v \right) \right] \right) \cdot p_k \right] \\ + \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ce(2)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} \left(\frac{\sqrt{R_{ce(2)}^2 \sec^2 \theta - (R_{ce(1)} - L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} - \frac{\sqrt{R_{ce(2)}^2 \sec^2 \theta - R_{ce(1)}^2}}{\sec \theta} + L_v \right) \right] \right) \cdot p_k \right]$
곡선부 4차로 우로 굽은 도로 중앙선침범사고 예측모델 (주행 1차로 차량이 침범차량일 경우)
$Ex(A_s) = 1.83309 \times 10^{-4} \cdot r_{ce(r)} \cdot ADT \\ \cdot \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ce(1)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} \left(\frac{\sqrt{R_{ce(1)}^2 \sec^2 \theta - (R_{ce(1)} - L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} - R_{ce(1)} \sin \theta + L_v \right) \right] \right) \cdot p_k \right] \\ + \sum_{k=1}^6 \left[\left(1 - \exp \left[-\frac{r_{ce(2)} \cdot ADT}{86,400} \cdot \frac{1.2}{V} \left(\frac{\sqrt{R_{ce(2)}^2 \sec^2 \theta - (R_{ce(1)} - L_w \sec \theta)^2}}{\sec \theta} - \frac{\sqrt{R_{ce(2)}^2 \sec^2 \theta - R_{ce(1)}^2}}{\sec \theta} + L_v \right) \right] \right) \cdot p_k \right]$

4. 중앙선침범사고 예측모델의 평가

제시된 지방부 도로의 기하구조별 중앙선침범사고 예측모델을 평가하기 위해서는 실제 발생한 중앙선침범 사고건수와 교통량을 조사한 후, 제시된 중앙선침범사고 예측모델에 교통량을 대입하여 산출되어진 중앙선침범 예측건수와 중앙선침범사고 발생건수를 비교·분석하여야 한다. 그러나, 사고자료의 부족으로 본 연구에서는 중앙선침범사고 예측모델의 평가를 위해 중앙선침범 사고건수 대신 사고를 내제한 상충(conflict)수를 조사하여 검증에 활용하였다.



4.1 자료의 수집

1) 자료수집구간의 설정

- 전라남도 지방부 도로로 제한시킴
- 직선부 2차로 30개소 4차로 31개소
곡선부 2차로 (좌)30개소 (우)30개소, 곡선부 4차로 (좌)30개소 (우)30개소

2) 설정된 구간의 교통량

교통량 자료는 건설교통부에서 발간한 『도로교통량통계연보(2001)』에서 제시된 교통량을 사용하였다.¹⁾

3) 설정된 구간의 상충수

상충이라 함은 중앙선침범사고를 내재한 중앙선침범을 의미한다. 그러므로 중앙선 침범 후 중앙선으로부터 사고위험지역까지의 여유폭 0.9 m를 넘어서는 차량에 대해서만 교통상충을 유발하는 것으로 판단하였다. 그림 13에서는 본 연구에서 적용한 교통상충을 도시화한 것이다.²⁾

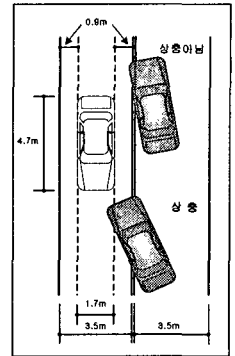


그림 13. 교통상충

4.2 모델의 적용과 비교

중앙선침범사고 예측모델에서 산출한 사고건수와 조사구간 상의 한시간 상충수를 비교하여 모델을 평가하기 위해 중앙선침범사고 예측건수를 독립변수로 하고 조사된 상충수를 종속변수로 하여 회귀분석을 실시하였다. 그 결과 결정계수의 값이 직선부 2차로 및 4차로 도로의 경우 각각 0.3824, 0.2936을 얻었고, 곡선부 2차로 좌로 굽은 도로 및 우로 굽은 도로의 경우 각각 0.5011, 0.4910 값을 얻었으며, 곡선부 4차로 좌로 굽은 도로 및 우로 굽은 도로의 경우 각각 0.3548, 0.3688 값을 얻을 수 있었다. 실제로 중앙선침범 예측건수와 관측상충수의 비교를 통한 결정계수가 낮게 나오는 것은 우리나라 중앙선침범사고건수에 대한 자료확보가 어려워 실제사고건수 대신 관측상충수를 이용해 모델을 검증한 것이기에 상대적으로 결정계수가 낮게 제시된 것임을 알 수 있다. 이러한 상황을 고려해 볼 때 본 연구에서 개발한 중앙선침범사고 예측모델은 유효하다 할 수 있을 것이다.

5. 중앙분리대 설치여부 판단기준 제시

적합성이 검증된 중앙선침범사고 예측모델에서 산출된 중앙선침범사고 예측건수에 따른 교통사고비용을 산출하고, 중앙분리대 설치비용을 산출하여 두 비용간의 편익-비용분석을 통해 얻어진 기준으로 중앙분리대 설치의 가부에 대한 보다 현실적이고 비용-효율적인 중앙분리대 설치여부 판단기준을 제시할 수 있다.

표 6 지방부 도로의 중앙선침범사고 사회적비용

5.1 중앙선침범사고에 대한 사회적비용 추계

중앙선침범사고 사회적비용 추계를 위한 기본적인 자료는 2001년 도로교통안전관리공단에서 편찬한 『교통사고 사회적비용의 추계와 평가』를 활용하여 지방부 도로의 중앙선침범사고에 따른 사회적비용을 표 6에 집계하였다.⁴⁾ 표 6에서 제시하고 있는 각종 집계비용을 토대로 최종적으로 중앙선침범사고 1건당 사회적비용은 42,979,627원으로 산정할 수 있다.³⁾

구 분	중침사고 발생건수	인적피해비용 (천원)		물적피해 비용(천원)
		사 망	부 상	
일반국도	7,024	230,477,023	77,921,775	7,543,776
지방도	2,642	73,842,153	26,888,225	2,837,508
군 도	723	18,540,454	7,687,925	776,502
소 계	10,389	322,859,630	112,497,925	11,157,786
		435,357,555		
총 계	10,389	446,515,341		

5.2 중앙분리대 설치비용 산출

중앙분리대 설치비용은 그림 14와 같이 구분지를 수 있다. 이를 토대로 중앙분리대 총설치비용은 지방부 도로에서 가장 많이 설치되어지는 연속형 방호울타리를 대상으로 하여 식(26)과 같이 산정할 수 있다.²⁾

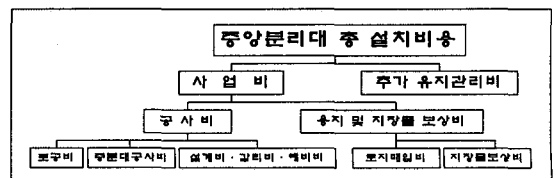


그림 14. 중앙분리대 총설치비용



$$C_t = (C_e + C_m + C_d + C_l) + C_{\Delta m} = 6.47 + 1.03 + 0.37 + 6.21 + 0 = 14.08 \text{ (억원/km)} \text{ (26)}$$

- C_t : 중앙분리대 총 설치비용(억원/km) C_e : 토공비
- C_m : 중앙분리대 공사비 C_d : 설계비·감리비·예비비
- C_l : 용지·지장물 보상비 $C_{\Delta m}$: 추가 유지관리비

5.3 중앙분리대 설치여부 판단기준

본 연구에서 개발된 중앙선침범사고 예측모델에 의해 단위 구간길이(km)당 산출된 중앙선침범사고의 사회적비용과 중앙분리대 설치비용 간의 편익-비용 분석을 통해 중앙분리대 설치여부 판단기준을 제시할 수 있을 것이다. 만약 평가년도 기준으로 중앙선침범사고 사회적비용이 중앙분리대 설치비용보다 더 높게 산정되어질 경우 중앙분리대 설치가 필요하다는 결론을 도출해 낼 수 있으며 이와 달리 편익-비용이 1보다 낮게 나타날 경우에 대해서도 중앙분리대 설치에 따른 정성적 기준 제시에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다.

6. 결론 및 향후 연구과제

6.1 결론

- 지방부 도로를 대상으로 중앙선침범사고 예방에 있어서 중앙선침범사고 사회적비용과 중앙분리대 설치비용을 토대로 경제성 분석을 실시하여 비용-효율적인 중앙분리대 설치여부 판단기준을 마련할 것을 제안하고자 교통량과 속도의 함수로 나타나는 도로기하구조별 중앙선침범사고 예측모델을 개발하였다.
- 개발된 중앙선침범사고 예측모델에 의해 중앙선침범사고 사회적비용과 중앙분리대 설치비용을 산출하였으며 이들 간의 편익-비용분석을 통해 중앙분리대 설치여부 판단기준을 제시하였다.
- 각기 다른 조건을 가지는 도로의 위험도에 대한 수치화가 가능하므로 도로안전시설사업의 경제성 분석과 안전시설사업의 효율성에도 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

6.2 향후 연구과제

- 연구의 진행에 앞서 도로, 도로시설물, 교통상황, 사고 등에 대한 자료의 DB화로 활발한 연구가 이루어질 수 있는 환경조성을 하는 기초작업이 선행되어야 한다.
- 우리나라의 실정과 교통상황에 적합한 중앙선 침범율의 연구로 모델의 수정이 필요하며, 교통특성이 다른 교통류(도시부 또는 자동차전용도로)에 대한 연구도 필요하다.
- 중앙선침범사고와 관련이 많은 도로조건 중 특히 곡선반경, 종단구배, 차로폭, 차로수 등과의 관련 연구를 수행함으로써 중앙선침범사고 예측모델에 대한 보완이 필요하다.

참고문헌

1. 건설교통부, 도로교통량통계연보, 2001
2. 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리 지침, 1998
3. 경찰청, 교통사고통계, 2001
4. 도로교통안전관리공단, 교통사고 사회적비용의 추계와 평가, 2001
5. 대한토목학회, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000
6. 도로교통안전관리공단, 중앙선 침범사고 예방대책, 1999
7. 하태준·박제진, 중앙선침범사고 예측모델의 개발에 관한 연구, 대한교통학회지, 제19권 제5호, 대한교통학회, pp 109~118, 2001
8. AASHTO, *Guide for Selecting, Locating, and Desinging Traffic Barriers*, 1997
9. AASHTO, *Roadside Design Guide*, 1996
10. ENO Foundation for Transportation, *Poisson and Other Distributions in Traffic*, 1971
11. J. C. Glennon and C. J. Wilton, *Methodology for Determining the Safety Effectiveness of*



- Improvements on All Classes of Highways*, FHWA-RRD-75-23, 1974
12. J. H. Kim, *Development of Safety-Based Guidelines for Cost-Effective Utility Pole Treatment along Highway Rights-of-way*, Univ. of Wisconsin, 1996
 13. J. W. Hutchinson and T.W.Kennedy, *Median of Divided Highways-Frequency and Nature of Vehicle Encroachments*. Univ. of Illinois, Urbana-Champaign, 1966
 14. K. W. Ogden, *Safer Roads*, Cambridge, 1996
 15. Oregon Department of Transportation, *Medians*, TRI Oregon State Univ. Corvallis, 1996
 16. Shaw-Pin Miaou, *Estimating Vehicle Roadside Encroachment Frequencies by Using Accident Prediction Models*, TRB 1599, pp 64~71, 1997
 17. TRB Special Report 214, *Designing Safer Roads, Practices for Resurfacing, Restoration, and Rehabilitation*, National Research Council, Washington A.C., 1987