



2차로도로 평면선형 구간의 기하구조 개선대책별 효과평가

An Analysis of Effectiveness of Geometric Improvement on Horizontal Curves in Two-Lane Highway

심 관 보* 최 재 성**
 Shim, Kywan Bho Choi, Jai Sung

Abstract

A two-lane highway has a high rate of head-on collisions, sideswipe collisions, crashes with an fixed object. This study was to analyze the weakness of a cross section and a horizontal curve in a two-lane highway and find countermeasures to improve the traffic operations and safety. This study evaluated the effectiveness of widening, curve flattening and superelevation, verified it with a case study and assessed the economical efficiency. This study selected the difference between tangent section operating speeds and curve section operating speeds as an evaluation index of horizontal curve section in a two-lane highway. The results indicated that curve flattening is the best way to improve the traffic safety in a two-lane highway. This study has implication that it provides the quantitative effects of curve flattening. Also directions for future study were discussed.

keywords : horizontal curve, curve flattening, widening, superelevation, evaluate index

요 지

국도와 지방도의 2차로도로에서 정면충돌사고, 교행시 측면접촉, 고정물체 충돌 사고 비율이 매우 높게 나타나고 있다. 따라서 본 연구에서는 2차로도로의 횡단면과 평면선형에 대한 문제점과 개선점을 찾아내 2차로도로의 교통소통과 안전성을 개선하는 방향을 찾고자 하였다. 이를 위해 평면곡선 구간에 대한 안전성 평가지표를 선정하여, 선형개량, 확폭, 편경사의 효과를 평가하고, 사례연구를 통해 이를 검증하고 경제성을 분석하였다. 연구 결과, 2차로도로 평면선형구간의 안전성 평가지표로 “직선부 평균주행속도- 곡선부 평균주행속도 차이($\geq 10\text{km/h}$)”를 선정하였으며, 선형이 취약한 구간의 안전성 향상을 위해서는 선형개량이 가장 큰 효과를 거둘 수 있으며, 그 후에 편경사 개선과 확폭이 병행되어야 운영적 측면과 안전성 측면에서 큰 효과를 거둘 수 있음을 밝혀냈다. 또한 본 연구는 선형개량이 막연히 시설 및 간단한 개선보다 얼마나 좋은지를 정량적으로 제시하였다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있다.

핵심용어 : 평면곡선, 선형개량, 확폭, 편경사, 평가지표

1. 서 론

2차로도로는 전체 도로 총연장의 76.6%를 차지하고 있으며, 일반국도의 2차로 비율이 60.6%, 지방도는 94.0%이다. 2차로의 국도와 지방도는 지역간 이동을 목

적으로 하는 간선 및 보조간선도로의 기능을 갖고 있으며, 설계속도는 지역적 특성에 따라 60km/h이고 제한속도는 대체로 설계속도와 같은 수준으로 운영되고 있다.

교통운영 측면에서 2차로도로는 회전교통류 처리와 오르막차로, 양보차로, 교차로, 추월구간 등의 교통시설

* 정회원 · 도로교통공단 교통과학연구원 책임연구원 공학박사 02-2230-6344(E-mail : shimkb4@paran.com)

** 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 02-2210-2522 (E-mail : traffic@uoscc.uos.ac.kr)



이 미흡하여 도로의 용량에 비해 교통운영상의 소통저해 요인이 많다. 도로 기하구조 측면에서도 길어깨 폭이 협소하고, 접속도로의 가·감속 차로가 미흡하거나 평면 및 종단선형 등이 취약한 지점이 많아 선형개량과 부분 확폭 등을 통한 도로의 용량 및 안전성 개선이 필요하다.

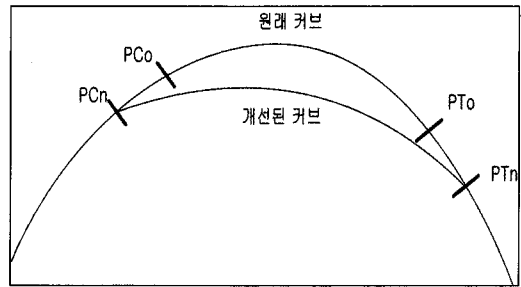
실제로 국도와 지방도의 2차로도로에서 정면충돌사고와 교행시 측면접촉, 고정물체(장애물)충돌 사고 비율이 매우 높게 나타나고 있다. 정면충돌사고는 선형불량, 차로폭 협소, 시거미확보, 무리한 추월이 원인이며, 교행시 측면접촉도 선형불량과 차로폭 협소가 주요요인이다. 도로주변 고정물체 충돌사고의 경우도 선형이나 편경사 불량이 대부분이다. 따라서 이러한 사고유형에 대한 대책으로는 선형개량, 확폭, 편경사 개선 등이 필요하다.

본 연구에서는 2차로도로의 평면곡선 구간에 적용되는 개선대책별 각각의 사고감소 효과를 안전성 지표를 통해 평가해 보는데 그 목적이 있다. 연구방법은 선형개량 및 편경사확폭 등을 문헌조사를 통해 개선대책으로 선정하고 이들에 대한 안전성 평가지표를 개발하여 Twopass를 통해 각각의 효과를 평가하고, 사례연구를 통해 이를 검증하고 경제성을 분석하는 순으로 연구를 진행하였다.

Zegeer는 개발된 사고예측 모형을 토대로 사고감소 인자 (선형개량(Curve flattening), 확장(widening), 완화구간의 추가, 편경사의 개선)가 사고에 미치는 영향을 수치화하고, 효과를 평가하였다. 선형개선 후에 사고건수는 다음의 모델 식(2)에 의해 계산된다.

$$An = [1.55(Ln)(V) + 0.014(Dn)(V) - 0.012(Sn)(V)](0.978)^{Wn} \quad (2)$$

- 여기서 An : 개선된 선형에서의 사고건수
- Dn : 개선된 곡률
- Ln : 개선된 커브의 길이
- Sn : 개선된 완화곡선 조건
- Wn : 개선된 도로폭



〈그림 1〉 개선 전후의 커브

2. 기존연구 검토

2.1 2차로도로의 평면선형

1) C. V. Zegeer등(1991)은 지방부 2차로 도로에서의 사고에 영향을 미치는 평면선형의 형태를 결정하고, 커브의 변화에 따른 사고빈도의 정도를 연구하기 위해 D. Solomon (1964)의 모형을 개선하였다. 다중회귀분석을 통해 모형 내에서 사고에 대한 곡률 및 곡선길이의 상대적 효과뿐 아니라 곡선구간의 도로폭과 완화곡선의 상대적 효과까지 밝혔다.

$$A = [1.55(L)(V) + 0.014(D)(V) - 0.012(S)(V)](0.978)^{W} \quad (1)$$

- A = 5년 동안 커브구간에서 발생한 총 사고건수
- L = 커브의 길이
- V = 5년간 커브를 통과한 차량 대수(백만차량)/양방향
- D = 커브의 각(곡률)
- S = 0 일 때 완화곡선 없음, 1 일 때 완화곡선 존재
- W = 커브구간 도로의 폭

〈표 1〉 커브 개선에 따른 총 교통사고 감소율

곡률	중심각										
	10°		20°		30°		40°		50°		
개선 전	개선 후	비독립커브	독립커브	비독립커브	독립커브	비독립커브	독립커브	비독립커브	독립커브	비독립커브	
30	25	16	17	16	17	16	17	15	16	15	16
	20	33	33	32	33	31	33	31	33	30	33
	15	49	50	48	50	47	50	46	50	46	50
	12	59	60	57	60	56	60	55	60	55	60
	10	65	67	64	66	63	66	62	66	61	66
	8	72	73	70	73	69	73	68	73	68	73
25	5	82	83	80	80	79	83	78	83	78	83
	20	20	19	19	20	18	20	18	20	17	20
	15	15	39	38	40	36	40	36	40	35	40
	12	12	50	49	52	48	52	46	52	46	51
	10	10	58	56	60	55	60	54	59	53	59
	8	8	66	64	68	62	68	61	67	60	67
5	5	77	75	80	74	79	72	79	72	79	

자료 : Safety Effects of Geometric Improvements on Horizontal Curves, CHARLES V. ZEGEER



〈표1〉에 따르면 중심각 40도에서 커브의 곡률을 30에서 10으로 감소시키면, 단곡선에서는 66%, 단곡선이 아닌 경우는 62%의 사고 감소효과를 나타낸다. 선형개선을 통해 최대 80%까지 사고 감소효과가 있었다.

2) 도로확폭 개량 효과 (차로폭이나 길어깨의 확장)
 차로폭의 확장(1.2m 확장)은 21%정도의 사고 감소효과를 보았으며, 포장된 길어깨의 확장(3.0m 확장)은 33%, 비포장 길어깨(3.0m 확장)의 추가로 인해 29%정도 사고감소 효과를 보았다. 도로확폭 개량에 대한 전체 사고감소율 예측은 다음의 식에 따른다.

$$AR = 1 - (1 - AR1)(1 - AR2)(1 - AR3)(1 - AR4) \dots \quad (3)$$

여기서 AR1 = 처음 개선 후에 사고감소 인자

〈표 2〉 차로 폭 및 길어깨 확장에 따른 사고 감소율

차로 또는 길어깨 폭의 확장(ft) 양		사고 감소율(%)		
양측	편측	차로폭 확장	포장길 어깨 확장	비포장길 어깨 확장
2(0.6m)	1(0.3m)	5	4	3
4(1.2m)	2(0.6m)	12	8	7
6(1.8m)	3(0.9m)	17	12	10
8(2.4m)	4(1.2m)	21	15	13
10(3.0m)	5(1.5m)	*	19	16
12(3.6m)	6(1.8m)	*	21	18
14(4.2m)	7(2.1m)	*	25	21
16(4.8m)	8(2.4m)	*	28	24
18(5.4m)	9(2.7m)	*	31	26
20(6.0m)	10(3.0m)	*	33	29

주) 차로폭 확장은 편측 4피트로 제한

기타 spiral(완화곡선)의 추가는 약 5%정도의 사고 감소효과를 보았고, 편경사 개선은 AASHTO에서 제시된 최적값 보다 적게 설계된 곳에서 아주 큰 효과를 보았다. 즉 0.02정도의 편경사의 개선으로 10%~11%의 사고감소 효과가 있었다.

3) 최재성(2000)*은 설계기준 자동차가 대형자동차

이고, 곡선반경이 140m인 왕복2차로 도로의 설계속도가 60km/h 인 경우 현 도로시설기준에서 제시된 확폭값과 최재성 값은 각각 0.5m와 1.0m로 두 배의 차이를 보였다. 제시된 값은 AASHTO의 계산값 0.97m와 유사하였다.

2.2 설계일관성 및 주행속도 평가

Ruediger Lamn(2002)은 새로운 도로설계를 평가하기 위해 운전자 행태와 안전수칙을 고려하는 실질적인 절차의 필요성이 대두함에 따라 양방향 2차로도로의 안전성을 증진시키기 위한 평가지침 3가지를 다음과 같이 개발하였다.

- 설계 일관성
- 주행속도(operating speed)의 일관성
- 운전의 동적 일관성(driving dynamic consistency)

Ruediger Lamn은 설계 일관성 및 주행속도 평가지표 개발을 위해 안전기준(Safety Criterion(SC))을 고려하여 설계속도와 85% 주행속도, 커브변화율(CCR) 등을 이용해 안전성 평가의 기준을 제시하였다.

- SC I : $V_d - V_{85}$ (설계속도 - 85% 주행속도)
- SC II : $V_{85i} - V_{85i+1}$ (두 연속적인 설계에 있어서 주행속도의 일관성)
- SC III : 운전의 동적인 패턴과 관련된 부분(fRA와 fRD 즉, 가정한 마찰력과 실제 마찰력)

안전기준의 적용범위와 적용사례는〈표3〉과 〈표4〉와 같다.

〈표 3〉 안전기준 SC I - SC III의 적용범위 값

Safety Criterion	곡률 변화율 등급		
	GOOD(+)	FAIR(o)	POOR(-)
	허용범위 $ CCR_{si} - CCR_{s_{i+1}} \leq 180 \text{gon/km}$	한계범위 $180 \text{gon/km} < CCR_{si} - CCR_{s_{i+1}} \leq 360 \text{gon/km}$	비허용 범위 $ CCR_{si} - CCR_{s_{i+1}} > 360 \text{gon/km}$
I a	$ V_{85i} - V_d \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} < V_{85i} - V_d \leq 20 \text{ km/h}$	$ V_{85i} - V_d > 20 \text{ km/h}$
II b	$ V_{85i} - v_{85_{i+1}} \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} < V_{85i} - v_{85_{i+1}} \leq 20 \text{ km/h}$	$ V_{85i} - v_{85_{i+1}} > 20 \text{ km/h}$
III c	$+0.01 \leq fRA - fRD \leq +0.01$	$-0.04 \leq fRA - fRD < +0.01$	$fRA - fRD < -0.04$

주) 여기서 a는 독립된 커브구간 혹은 직선구간, b는 직선과 커브 혹은 커브와 커브 구간, c는 독립커브

* 최재성, 평면곡선부 확폭량 재설정에 관한 연구, 대한교통학회지 18권 제4호, 2000.8



〈표 4〉 Ruediger Lamn의 제시 방법을 사용한 case study의 사례

요소	곡선 반경	곡선 길이	커브 변화율	e	vd	v85i	SC I V85i-V d	SC II V85i- V85i+1	SC III fRA- fRD
no	(m)	(m)	(gon/ km)	(%)	(km/ h)	(km/ h)	(km/h)	(km/h)	(-)
1	R=245	155	260	3.5	90	81	9 (good)		-0.02 (fair)
2	R=∞	510	0	2.0	90	98	8 (good)	17 (fair)	
3	R=-425	195	149	2.5	90	88	2 (good)	10 (good)	+0.03 (good)
4	R=∞	555	0	2.0	90	98	8 (good)	10 (good)	
5	R=145	100	439	4.5	90	72	18 (fair)	26 (poor)	-0.08 (poor)

주) SC I : 직선 및 독립곡선, SC II : 연속선형(직선과곡선, 곡선과 곡선)

2.3 설계기준 검토

1) 평면곡선 반경과 마찰계수 및 편경사의 관계

최소평면곡선 반경의 크기는 평면곡선부를 주행할 때 발생하는 원심력으로 인하여 곡선부의 바깥쪽으로 미끄러지거나 전도할 위험을 방지할 수 있도록 타이어와 포장면 사이의 횡방향 마찰력이 원심력 보다 크도록 최소 평면곡선반경의 크기를 산정해야 한다. 통상의 경우 원심력에 의한 자동차의 전도보다는 횡방향 미끄럼의 영향을 먼저 받게 되므로 횡방향 미끄럼에 안전할 수 있는 한계치의 평면곡선반경을 최소 평면곡선반경으로 결정하게 되며 식(4)에 의해 구할 수 있고, 〈표 5〉와 같다.

$$R = \frac{V^2}{127(e + f)} \quad (4)$$

여기서 e : 편경사, f : 마찰계수

〈표 5〉 최소 평면곡선반경의 값

설계 속도 (km/h)	횡방향 미끄럼 마찰 계수 ¹⁾	최소 평면곡선반경(m)					
		최대 편경사 6%		최대 편경사 7%		최대 편경사 8%	
		계산값	규정값	계산값	규정값	계산값	규정값
70	0.13	203	200	193	190	184	180
60	0.14	142	140	135	135	129	130

주 1) 미끄럼 마찰계수는 AASHTO의 연구결과를 그대로 사용
자료 : 도로시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침

설계 시 평면곡선 반경의 크기가 결정되면 그 도로의 설계속도와 평면곡선 반경에 따른 적절한 편경사를 결정한다. 설계속도와 평면곡선 반경에 대하여 자동차가 안전하게 주행할 수 있는 편경사와 미끄럼 마찰계수의 크기는 식(5)와 같다.

$$e + f = \frac{V^2}{127R} \quad (5)$$

위의 식에서 편경사와 횡방향 마찰력이 각각 어느 정도의 원심력을 분담하도록 할 것인가에 따라 e 와 f의 값이 상관관계를 갖게 되며 어떤 비율로 취하는 것이 타당한 것인가를 판단하여야 한다. 평면곡선 반경이 작은 경우에는 약간의 속도 증가로도 쾌적성에 큰 영향이 있게 되며 평면곡선반경이 큰 경우에는 쾌적성을 저해하지 않는 속도 범위가 넓어진다.

〈표 6〉 평면곡선 반경에 따른 편경사(최대 편경사 6%)

설계 속도 (km/h)	평면곡선반경에 따른 편경사					
	NC	2%	3%	4%	5%	6%
60	1,700 이상	1,700~ 940	940~ 580	580~ 350	350~ 220	220~ 140
70	2,300 이상	2,300~ 1,280	1,280~ 800	800~ 490	490~ 310	310~ 200

〈표 6〉과 〈표 7〉은 최대편경사 6%와 8%일때 평면곡선반경에 따른 편경사를 나타낸다.

〈표 7〉 평면곡선 반경에 따른 편경사(최대 편경사 8%)

설계 속도 (km/h)	평면곡선반경에 따른 편경사							
	NC	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
60	1,800 이상	1,800~ 1,010	1,010~ 680	680~ 490	490~ 350	350~ 260	260~ 180	180~ 130
70	2,400 이상	2,400~ 1,380	1,380~ 930	930~ 670	670~ 490	490~ 360	360~ 260	260~ 180



2) 평면곡선부의 확폭량 산정 기준

우리나라의 “도로시설기준에 관한 규칙”에서 적용하였던 확폭량은 평면곡선 반경 및 도로의 구분에 따라 일정한 폭을 확폭하도록 하였는데 그 도로에 적용하는 설계기준 자동차에 따라 확폭량을 산정하도록 하였다. 평면곡선 반경에 따른 확폭량은 <표 8>과 같다.

<표 8> 평면곡선 반경에 따른 확폭량

설계기준자동차					
세미트레일러 연결차			대형 자동차		
평면곡선 반경	계산값	차로당 최소 확폭량	평면곡선 반경	계산값	차로당 최소 확폭량
150~280	0.20~0.37	0.25	110~200	0.20~0.36	0.25
90~150	0.37~0.62	0.50	65~110	0.36~0.61	0.50
65~90	0.62~0.86	0.75	45~65	0.61~0.88	0.75
50~65	0.86~1.12	1.00	35~45	0.88~1.14	1.00

3) 확폭량 산정의 새로운 기준

「도로의 구조 시설 기준에 관한규칙 해설 및 지침」에서는 직선부에서나 곡선부에서나 차량이 점유하게 되는 폭 외에 여유로 주게 되는 폭을 동일하게 적용하고 있는 문제점이 있다. 즉 운전자가 곡선부에서 느끼는 주행의 어려움을 고려치 않고 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위해서 차로폭과 추가 여유폭이 변수로 삽입되었다. 최재성(2000)*의 새로운 확폭 개념은 차량이 곡선부에서 필요로 하는 폭에서 직선부에서 필요로 하는 폭을 뺀 값을 이용하였다.

이를 식으로 나타내면 식(6)과 같다.

$$\begin{aligned}
 W &= W_C - W_n \\
 &= N(B + C) + Z - W_n
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

여기서, W : 곡선부의 확폭

W_C : 곡선부에서의 필요폭

W_n : 직선부에서 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

새로운 확폭량 산정식은 직선부 차로폭과 설계속도의 변화를 고려하였으며, 추가 여유폭을 더해줌으로써 보다 안전한 곡선부 주행을 꾀할 수 있도록 하였다. 따라서 본 연구에서의 확폭기준은 최재성의 기준을 이용하였다.

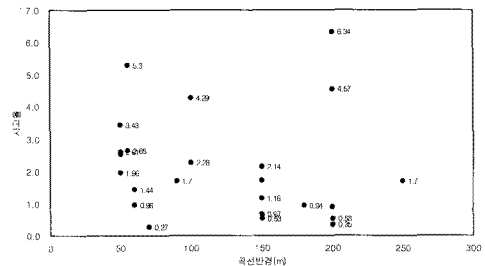
3. Twopass 모의실험 및 결과분석

3.1 평가지표 선정

우리나라의 평지·구릉지·산지의 특성을 골고루 반영하기 위해 충남, 충북, 전북, 강원지역을 연구대상 지역으로 선정하고, 2차로도로의 사고 잦은 지점을 대상으로 도로 기하구조, 교통량, 통행속도, 교통사고 등의 자료를 수집하여 관련 변수 간의 상관 및 회귀분석을 시도하였다.

1) 평면곡선부 곡선반경별 사고율

정준화(1999) 등 이전의 연구들은 곡선반경과 사고율에 밀접한 관계가 있다고 하였으며 이는 정립된 이론이기도 하다. 본 연구의 2차로도로 조사자료에서는 유감스럽게도 <그림 2>와 같이 곡선반경별 사고율에 일관된 경향을 나타내지 않았다. 즉 곡선반경별 사고율에 차이를 보이지 않았다.



<그림 2> 2차로도로 평면선형별 사고율 분포

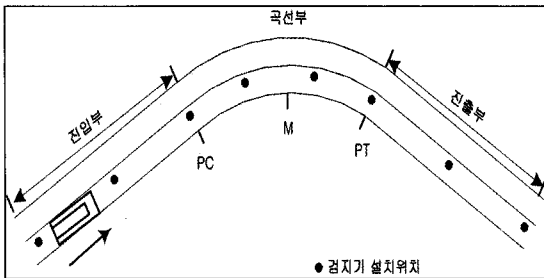
* 최재성(2000), 평면곡선부 확폭량 재설정에 관한 연구, 대한교통학회지



2차로도로는 곡선반경 뿐만 아니라 전후 도로선형, 횡단면의 폭, 편경사 등의 도로기하구조에 따라 다양한 경향을 보이고 있다. 따라서 평면곡선 구간의 안전성 평가를 사고율에 따라서 결정하는 것은 바람직하지 못한 것으로 판단된다. 한편 Zegeer는 사고예측모형을 통해 선형개선 사업의 안전성을 평가하였다. 그러나 본 연구에서는 자료의 제약과 Macro한 예측모형이 실제 도로현장에 잘 맞지 않는다는 전문가의 지적을 참고하여 모형은 고려하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 새로운 평가 방안을 강구해 보기로 하였다.

2) 평면곡선상의 구간별 평균주행속도 산출

속도조사는 평면곡선을 접근부와 곡선부, 진출부로 나누고 검지기 설치하는 곡선의 시작지점(PC)과 끝나는 지점(PT)을 기준으로 설치하고 진입부에는 PC점을 기준으로 50m 간격으로 2개소, 곡선 내에는 등간격으로 2개소, 진출부도 진입부와 같은 방법으로 설치하였다. 속도조사를 위한 NC-97을 이용하였고 자세한 설치내용은 <그림 3>과 같다.



(그림 3) 각 구간별 NC 97 설치의 예

조사지점을 곡선반경별로 곡선 진입부, 직선과 곡선의 접점인 PC점, 곡선 내 최저속도를 나타내는 지점, 진출부 등으로 나누어 평균주행속도를 산출하여 보았다 (<표 9>참조).

분석결과 희망속도로 직선부 도로를 주행한 운전자들은 곡선부에 접근하기 전에 어느 정도 속도를 줄이게 되고, 곡선 내에서 최저속도까지 감속하였다가, 다시 가속하여 희망속도를 회복하는 것으로 나타났다.

<표 9> 곡선상의 주요 위치별 평균주행속도

곡선반경	필터링자료수 ¹⁾	평균 주행속도			
		유입부	PC	최저속도	유출부
50	206	67.6	55.5	45.1	49
100	177	77.2	67.7	67.7	68.2
150	179	74.0	64.2	61.3	69
180	206	69.2	59.7	59.7	71
220	214	67.6	63.1	62.6	64.9
250	199	82.6	69.3	69	72.5

주 1) 평균 headway가 10초 이상인 차량들만을 필터링

3) 평면곡선의 기하구조속도변화와 안전성검토

평면곡선에서 위치별 개별차량의 속도변화를 분석한 결과 실제 진입부의 평균주행속도와 곡선내의 최저주행속도 간의 차이는 평균(10.3~20.5)km/h의 속도가 변화하고 있었다.

대상 지점들의 교통사고특성을 분석한 결과 총 60건의 교통사고가 발생하였고, 이중 곡선부내에서 발생한 사고는 총사고의 86.7%인 52건이었으며 13.3%인 8건은 접근부나 유출부에서 발생한 것으로 분석된다.

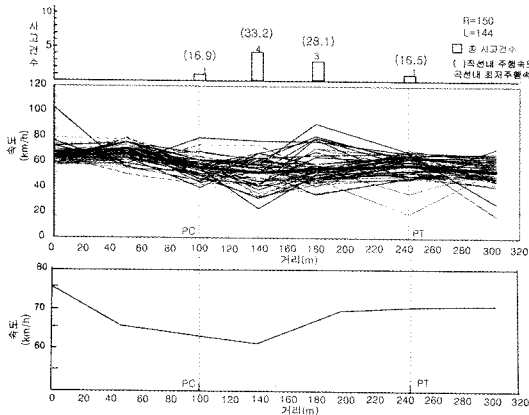
분석대상 곡선전체에 대한 속도변화와 교통사고 발생빈도는 속도변화폭이 큰 PC점 다음에서 가장 큰 폭의 평균속도 편차(20.5km/h)를 나타냈다. 즉 직선부 평균 접근속도와 곡선 내 최저주행속도 사이에 속도변화폭이 클수록 교통사고 건수는 증가하였다.

<표 10> 평면곡선의 속도변화와 교통사고

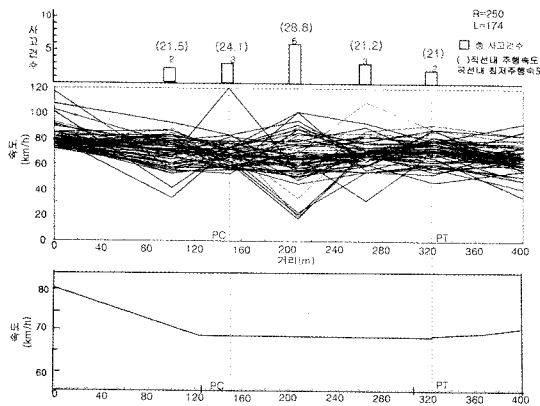
위 치	유입부	곡선부				유출부	
		1~2	1~3	1~4	1~5		1~6
평균 주행속도차	10.3	13.5	20.5	19.0	15.2	17.1	
총사고건수	5	6	20	18	8	3	
50	주행속도차	11.9	16.9	21	26.5	24.5	20.2
	발생건수	1	.	2	3	3	1
100	주행속도차	10.9	16.1	24.1	10.6	8.6	12.3
	발생건수	.	1	4	4	.	1
150	주행속도차	3.7	16.9	33.2	28.1	16.5	24.4
	발생건수	.	1	4	3	1	.
180	주행속도차	7.1	3.2	6.3	12.3	2.6	-1.3
	발생건수	.	1	1	3	1	1
220	주행속도차	12.4	1	12.3	18.6	9.3	17.3
	발생건수	2	.	3	2	1	.
250	주행속도차	21.5	24.1	28.8	21.2	21	25.3
	발생건수	2	3	6	3	2	.



4) 개별차량의 평균주행속도 궤적과 분산·교통사고
 <그림 4>와 <그림 5>는 6개의 조사지점 중 곡선반경이 150, 250인 평면곡선에 대해 평균주행속도 궤적과 분산, 사고와의 관계를 나타낸 것이다. 교통사고와 속도 변화 관계를 살펴 본 결과, 곡선 내의 속도감소 폭이 큰 곳에서 사고 발생빈도가 높은 것으로 나타났고, 속도의 분산폭도 넓게 나타났다.



<그림 4> 주행속도 분산과 교통사고의 관계 (R=150m)



<그림 5> 주행속도 분산과 교통사고의 관계(R=250m)

직선부 평균 접근주행속도와 곡선 내 최저주행속도 사이에 속도변화폭이 클수록 평균 교통사고 건수는 증가하였다. 따라서 본 연구에서 평면선형 구간의 평가지표는 다음과 같이 결정하였다.

- 평가지표 : 직선부 평균주행속도 - 곡선 내 최저주행속도 : $\geq 10\text{km/h}$: 위험구간

지금까지 2차로도로의 문제점을 토대로 평면선형 구간 등에 대한 개선점을 살펴보고, 이들에 대한 평가지표를 선정하기 위한 다양한 방법론을 모색하여 보았다. 이러한 과정에서 적절한 평가지표를 선정하게 되었는데 이를 요약하면 <표 11>과 같다.

<표 11> 개선방안 세부 분류와 평가척도

대분류	중분류	소분류	평가 지표
평면 곡선 개선	선형개량 확폭 편경사 조정	설계속도 60~70km/h시 최소곡선반경 최대 확폭 최대 편경사	직선부 평균주행속도와 곡선부의 최저주행 속도차 $\geq 10\text{km/h}$

본 연구에서는 Lamn의 방법과 유사한 평면선형 구간의 속도차 분석을 통한 안전성 평가를 하기로 하였다.

3.2 모의실험 설계

1) 곡선반경별 적용할 편경사와 확폭량

<표 12>는 우리나라의 도로시설기준에 관한 규칙에서 제시하는 최소 평면곡선반경이다. 본 연구에서도 아래 기준에 따라 곡선반경별로 최대 편경사 8%까지 늘려가며 속도를 분석하였다.

<표 12> 최소 평면곡선반경의 값

설계속도 (km/h)	황방향 미끄럼 마찰 계수	최소 평면곡선반경(m)					
		최대 편경사 6%		최대 편경사 7%		최대 편경사 8%	
		계산값	규정값	계산값	규정값	계산값	규정값
70	0.13	203	200	193	190	184	180
60	0.14	142	140	135	135	129	130

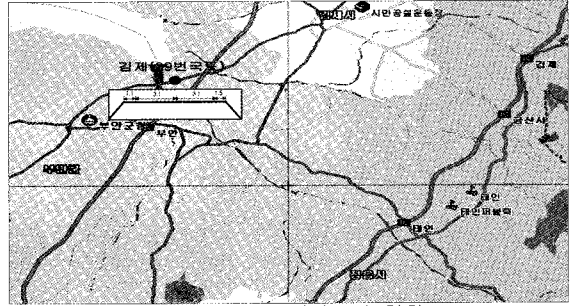
자료 : 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 건설교통부, 2000

본 연구에서는 새로운 확폭량 산정식을 근거로 새롭게 계산한 확폭 기준을 적용하였다. 확폭량 계산값은 두 개의 설계기준 자동차(대형자동차와 세미트레일러) 모두에서 정도의 차이는 있으나 전반적으로 현재의 확폭량 기준보다 상회하는 값이 도출되었다(<표 13>참조).



〈표 13〉 곡선반경별 확폭량 개정안(차로폭 3.25m 일때)

곡 선 반 경	설계속도 (대형 자동차)		설계속도 (세미트레일러)	
	60km/h	70km/h	60km/h	70km/h
60	2.0	2.2	2.6	2.7
80	1.6	1.7	2.0	2.1
100	1.3	1.4	1.6	1.7
120	1.1	1.2	1.4	1.5
140	1.0	1.1	1.2	1.3
160	0.9	1.0	1.1	1.2
180	0.8	0.9	1.0	1.1
200	0.7	0.8	0.9	1.0



〈그림 6〉 연구대상구간 현황

위의 값을 기본으로 Twopass 상에서 현재의 속도와 교통량에 따른 정산 작업을 시행한 후 선형개량 및 확폭, 편경사 개선을 시행하였다.

2) 안전성 평가방법

C V. Zegeer 등(1991)은 곡선구간에서 사고에 대한 곡률 및 곡선길이의 상대적 효과, 곡선구간의 도로폭과 완화곡선의 상대적 효과를 밝혔으며, 차로폭의 확장과 길어깨의 확장 그리고 편경사의 개선은 사고감소의 효과가 있다고 밝혔다.

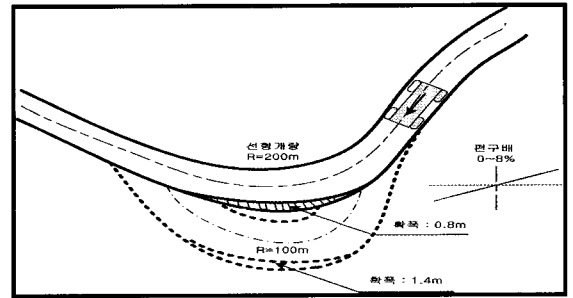
본 연구에서는 확폭 및 선형개량 그리고 편경사의 개선에 따른 효과를 평가하고자 하며 평가지표는 직선구간 평균 주행속도와 곡선구간 최저 주행속도의 차이, 즉 두 구간의 속도차이를 이용하여 안전성을 평가하였다.

효과평가를 위해 선정된 구간은 1번국도 구간 중에 곡선반경이 100m인 지점을 선정하였으며, 교통량에 따른 변화를 최소화하기 위하여 평균 headway가 10초 이상인 차량들만 필터링하여 사용하였다(〈그림 6〉참조).

곡선 접근 전 직선구간에서의 곡선반경별 평균주행속도와 곡선상의 최저 평균주행속도는 〈표 14〉과 같으며 현재 편경사는 4%로 되어 있고 설계속도 60~70km/h일 때 최소평면곡선반경에 못 미치고 있음을 알 수 있다.

〈표 14〉 대상지점 평균 주행속도 조사결과

지 점	곡선반경 (m)	직선구간 평균주행속도 (km/h)	곡선구간 최저주행속도 (km/h)
신태인 (신흥교회)	100	77.2	67.7



〈그림 7〉 기존도로의 확폭-편경사-선형개량 방법 현황도

〈표 15〉는 정산 후 편경사에 따른 속도 및 속도차를 분석한 결과이다. 편경사가 증가할수록 구간별 속도는 대체적으로 증가하고 있으나 곡선구간에서는 그리 큰 효과가 나타나지 않고 있다.

〈표 15〉 곡선반경 100m 일 때 편경사 별 속도

편경사	직선구간속도 (km/h)	곡선구간속도 (km/h)	속도차 (km/h)
0%	77.97	67.47	10.5
2%	77.97	67.54	10.43
3%	77.98	67.55	10.45
4%	77.99	67.56	10.46
5%	78.13	67.67	10.46
6%	78.15	67.65	10.5
7%	78	67.83	10.17
8%	78.08	67.97	10.11

주) 음영처리는 현재 경사와 각 구간별 속도를 나타냄



3.3 효과평가

1) 편경사와 선형개선

〈그림 8〉은 곡선구간의 속도변화를 나타내고 있다. 선형개량 전에는 편경사의 개선에 따라 속도가 그리 큰 상승을 보이지 않고 있으나, 곡선반경을 200m로 선형개량 후에는 편경사 개선에 따라 속도가 증가하고 있다. 즉 곡선반경이 커질수록 편경사 개선에 따른 효과가 더 커짐을 알 수 있다.

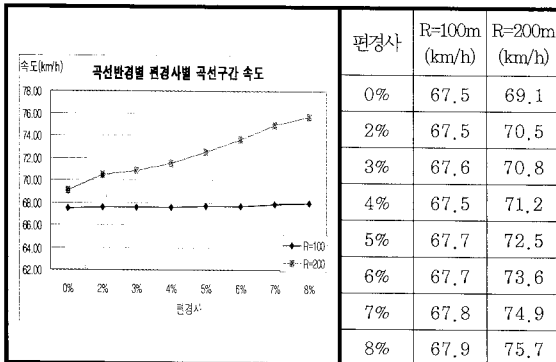
〈그림 9〉는 선형개량과 편경사 개선 후에 속도차를 조사한 것이다. 곡선반경이 100m일 때 즉, 선형개량 전에는 편경사 개선에 따른 효과가 그리 크지 않았으나 200m로 선형개량 후에는 편경사 개선에 따라 속도감소 폭이 크게 나타나고 있다.

선형개량 후에는 편경사 3%부터 속도차 감소가 크게 나타났다. 즉, 선형이 불량한 구간에서는 편경사 개선만으로는 안전성의 향상을 기대할 수 없음을 나타내고 있다. 따라서 반경 100m일 때 안전성 향상을 위해서는 편경사의 개선보다는 선형개량이 더 효과가 크다는 것을 나타낸다.

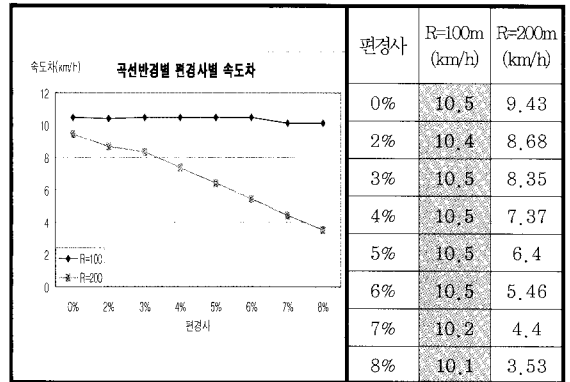
2) 확폭과 편경사 개선

〈그림 10〉은 선형개량 전에 확폭 후 편경사에 따른 곡선부에 속도를 나타낸 것이다. 확폭 후에 속도가 약 10km/h 정도가 증가함을 알 수 있다.

〈그림 11〉은 선형개량전 확폭 후의 편경사별 직선구간과 곡선구간의 속도차를 나타낸 것이다. 선형개량 전에는 확폭 후에도 속도차가 10km/h 이상이 나고 있어 안전상의 문제가 존재하고 있으며, 편경사 개선의 효과도 크게 보지 못하고 있다.



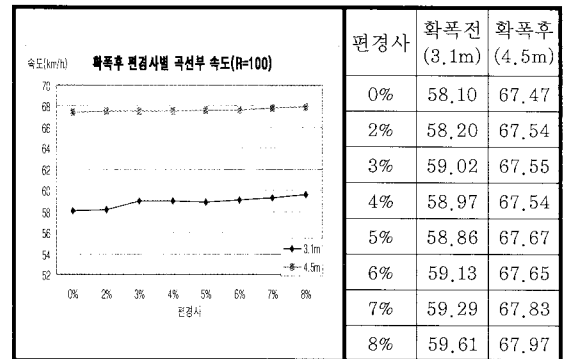
〈그림 8〉 곡선반경별 편경사별 평균속도



주 1) 도로구간에서 바람직한 커브의 속도 기준은 10km/h 이상 차이가 나지 않아야 함. 즉, 10km/h의 변화량을 커브의 설계기준에서 절대적인 속도 최대변화 폭으로 간주되어야 함. 「An Alternative to The Design Speed Concept for Low Speed Alinement Design, John McLean, ARRB」

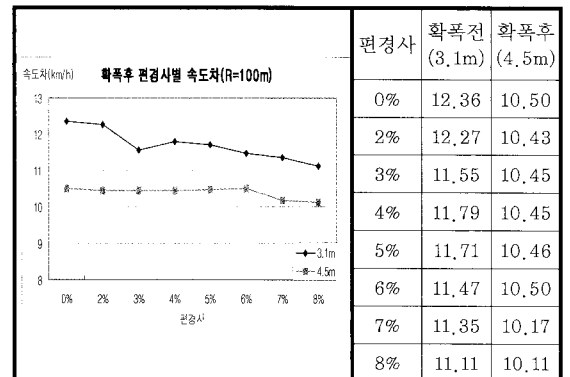
주 2) 음영처리 부분은 안전의 문제가 있는 부분을 나타냄.

〈그림 9〉 곡선반경별 편경사별 속도차이

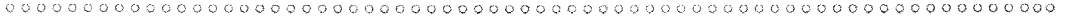


주) “최재성”의 연구에 의하면 곡선반경 100m일 때 최소 확폭량은 1.4m임.

〈그림 10〉 확폭 후 편경사별 곡선부 통행속도

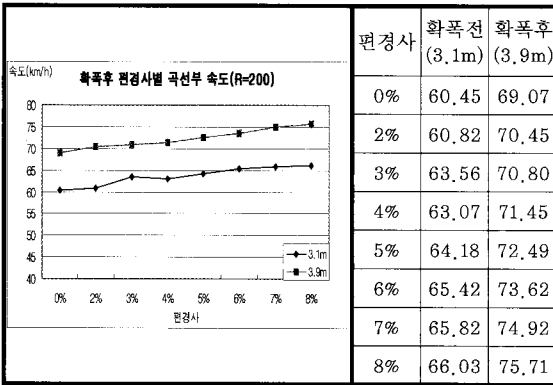


〈그림 11〉 확폭 후 편경사별 곡선부 통행속도 차이



3) 선형개량·확폭·편경사 개선

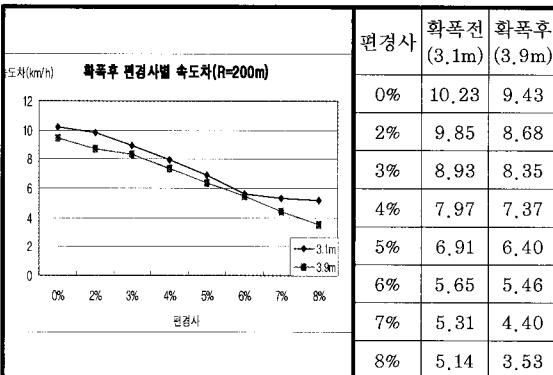
선형개량 후 확폭 후의 편경사별 곡선부의 속도를 나타내고 있다. 확폭 후에는 선형개량 전과 마찬가지로 속도의 증가를 보이고 있으며, 편경사 개선의 효과도 나타나고 있다. <그림 12>



주) “최재성”의 연구에 의하면 곡선반경 200m일 때 최소 확폭량은 0.8m임.

<그림 12> 선형개량과 확폭 후 편경사별 곡선부 통행속도

선형개량 후 확폭 전에는 전체적인 속도의 차이가 10km/h 이하로 나오고 있으나, 확폭 후에는 속도차가 더욱 작아졌다. 그러나 선형개량 만으로도 안전성의 향상에 효과가 있음을 나타내고 있다. 즉 개량 후에는 확폭의 효과가 크게 나타나고 있지 않음을 보여주고 있다. <그림 13>



<그림 13> 선형개량과 확폭 후 편경사별 곡선부 속도차이

3.4 평가결과

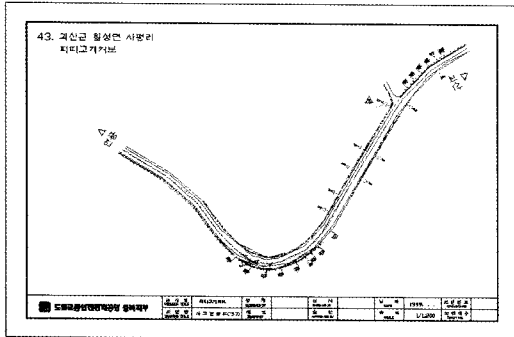
곡선반경 100m, 편경사 4%로 설계된 도로에 대해 선형개량 및 편경사 개선, 그리고 확폭에 따른 효과를 분석해 보았다. 본 구간은 곡선반경에 비해 편경사가 과소로 설계되어 있어 안전상의 문제가 내재되어 있는 구간이며 실제로 직선구간과 곡선구간의 속도차가 10km/h 이상 나타나고 있다.

우선 편경사만을 개선 시켜본 결과 곡선구간의 속도는 꾸준히 증가하는 경향을 보였으나, 증가폭이 크지 않아 안전성의 지표가 되는 속도차가 여전히 10km/h 이상으로 나이지지 않았다. 그러나 선형개량 후에는 편경사 개선에 따른 속도가 많은 상승을 보였으며, 속도차 또한 대부분 10km/h 이하로 떨어져 상당한 안전성을 보였다. 요약하면 곡선반경이 100m인 커브구간에 대해서는 편경사 개선만으로는 안전성의 향상을 기대하기 어렵고 선형개량을 하는 것이 더 큰 효과를 기대할 수 있다는 것을 나타낸다. 본 커브구간에 대해 1.4~0.8m의 확폭을 시행한 결과 속도 향상을 기대하기 어려웠다. 그러나 선형개량 후에는 곡선부 속도는 확폭과 편경사 개선에 따라 꾸준한 속도의 향상을 보였으며, 속도차 또한 감소함을 보였다. 결론적으로 취약구간의 안전성 향상을 위해서는 선형개량이 가장 큰 효과를 거둘 수 있으며, 그 후에 편경사 개선과 확폭이 병행되어야 운영적 측면과 안전성 측면에 큰 효과를 거둘 수 있음을 알 수 있었다.

4. 현장적용 및 경제성 분석

4.1 현장적용

지금까지 살펴보았던 선형개량과 편경사 개선 그리고 확폭에 의한 효과를 실제 개선된 지점을 선정하여 사례 연구를 하였다. 사례 연구를 위해 선정된 지점은 선형개량 전에 교통사고 건수가 많았던 “충북 괴산군 칠성면 사평리 띠띠고개 커브”를 선정하였다. 선형개량 전의 이 커브구간의 구체적인 내용은 <그림 14>와 같다.



〈그림 14〉 97년 개선공사 전의 띠띠고개 커브

곡선 반경	차로폭	길 어깨 폭	교통량	평균 사고 건수
R=50m	3.1m	0.5m	220~280 (대/시)	8건

본 커브구간이 개선 필요성이 있는지를 검토하기 위하여 “건설교통부 2001년 도로업무편람”에서 제시하는 위험도로 우선순위 결정기준을 살펴보았다. 편람에서 제시하고 있는 결정기준은 다음의 <표 16>과 같다.

〈표 16〉 위험도로 개선사업 우선순위 결정기준

평가 항목	평가요소	배점	본 구간 의 적용 시	
			적합	부적합
계	대상사업별 상대평가	100%	○	○
도로 기하 구조 (55%)	- 곡선반경(최소회전반경 140m 이하)	20%	○	
	- 전후 도로상황(곡선형태 등)	15%	○	
	- 시거(200m 이하)	5%	○	
	- 종단경사(7% 이하)	5%	○	
	- 차로폭(3.5m 이하)	5%	○	
도로 환경 (25%)	- 갓길 폭 및 상태(2m 이하, 포장 등)	5%	○	
	- 교통사고 건수(사망·부상·재산피해)	15%	○	
	- 교통량	10%	○	

자료 : 2001년 도로업무 편람, 건설교통부

검토결과 본 구간은 개선의 필요성이 충분히 있는 구간으로 나왔으며, 평가항목 중에 “기타”에 해당되는

항목은 여기서 고려하지 않았다. 개선공사 전의 선형은 곡선반경 50m로 아주 불량하였으며 시거도 충분히 확보되지 않은 상태로 운영되고 있었다. 실제로 1년 동안에 곡선구간의 사고건수는 8건이나 발생하였고 정면 및 측면 그리고 곡선구간에서의 이탈사고가 대부분을 차지하고 있었다.

〈표 17〉 1997년 띠띠고개 교통사고 조사표

발생 건수	사상자			사고유형
	사망	중상	경상	
8	-	5	1	측면직각충돌 4, 전복2, 고정물체1, 정면충돌1

〈표 17〉은 1년 동안 본 구간에서의 사고 조사 데이터를 정리한 표이다. 대부분의 사고는 선형 및 도로폭 등에 기인한 사고가 대부분이며, 이를 개선하기 위한 노력이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 “도로교통안전관리공단 충북지부”에서 발행한 보고서에서 제시한 개선방안을 통해 이에 대한 사례연구를 하고자 한다. 구체적인 내용은 <표 18>과 같다.

〈표 18〉 본 커브구간의 문제점 및 개선방안

주 사고요인 및 문제점	개선방안
1. 작은 곡선반경의 커브지점에 하향 종단경사가 형성되어 있고, 커브내측에 절개면이 돌출되어 있어 전방시계가 불량한 지역으로 중앙선 침범사고발생	1. 곡선반경(R)을 140m로 완화시켜 원활한 시거 확보 2. 곡선부전면 미끄럼포장을 연장 설치하여 횡미끄러짐을 방지
2. 차량속도 규제 교통안전표지 미설치	3. 차량속도규제 안전표지 및 노면표시 병행설치 감속유도

자료 : '97 충청북도 교통사고 잦은 곳 기본개선계획' 「도로교통안전관리공단, 충북지부」

개선방안에 대한 구체적인 물량과 사업비 산출은 <표 19>, <표 20>과 같다.

실제 현장조사 결과 본 커브구간은 약간의 확폭과 안전표지 등 부대시설이나 교통안전시설의 설치 위주로 개선되었을 뿐 선형개량은 하지 않았다. <표 21>은 개선 후의 2년간 사고데이터를 정리한 것이다.



〈표 19〉 개선안에 따른 물량

토목공		부대시설공			교통안전시설공단						용지보상
절토 (m ²)	L형 측구 설치 (m)	ASP 포장 (m ²)	가드레일 설치 (m ²)	방호벽 설치 (m)	안전표지	미끄럼방지포장 (m ²)	곡각표지판	표지병설치	차로제거 (m ²)	차로도색 (m ²)	
58,511	217	2,918	220	216	2	449	16	74	43	160	520

〈표 20〉 개선안에 따른 사업비(단위 : 천원)

총공사비	토공	배수공	구조물공	포장공	교통시설공	부대공	용지보상비
1,874,964	1,724,846	4,653	14,995	75,678	23,571	26,220	5,000

〈표 21〉 개선 후 2년간 띠띠교개 교통사고 조사표

발생건수	사상자			사고유형
	사망	중상	경상	
7건	-	3	1	추락, 고정물체, 정면충돌, 전복등

개선 후의 사고는 2년간 7건으로 많이 줄긴 했으나 선형의 문제에 기인한 전복 및 추락사고는 꾸준히 발생하고 있어 위의 개선만으로는 안전상의 문제가 해결이 되지 않는 것으로 보인다. 〈표 22〉은 실제로 띠띠교개 커브에 NC 97을 설치한 후 각 지점별 속도를 조사한 것이다.

〈표 22〉 띠띠교개 커브의 각 지점별 속도(단위:km/h)

유입부	PC	곡선부1	곡선부2	PT	유출부
55	51	48	43	45	54

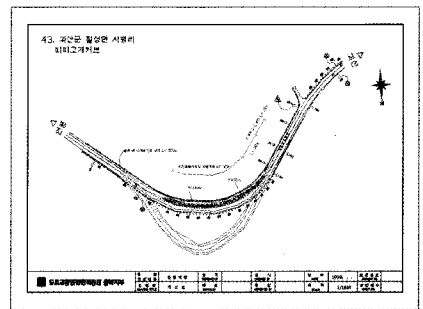
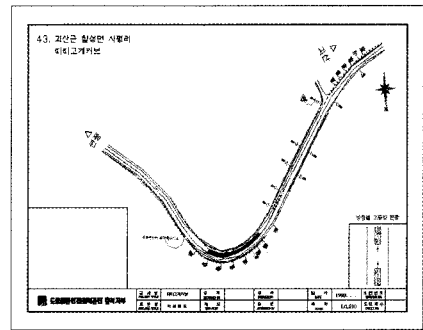
〈표 22〉에서 보면 직선구간의 속도와 곡선구간의 최저속도의 차이는 12km/h로서 안전상의 기준이 되는 속도차가 10km/h인 것을 감안하면 안전상에 위험이 있는 것을 알 수 있다.

4.2 커브개선에 대한 경제성 분석

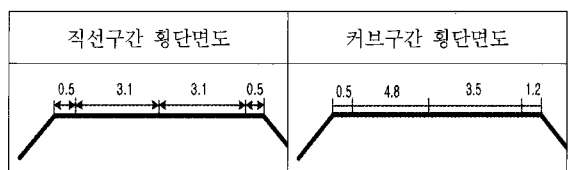
본 지점의 경제성 분석은 선형개량 및 시설개량에 의한 사고절감 편익만을 고려하였다. 비용 산출은 교통안전 개선사업을 위해 투자한 초기년도 사업비를 적용했고 편익은 교통사고로 인한 피해액(물적피해액 + 인적피해액)만을 교통사고 감소의 직접편익으로 보았으며, 그 외의 직접편익인 차량 운행비 절감 및 통행시간 절감편익은 계산하지 않았다.

본 연구에서는 대안을 설정하여 경제성 분석을 하고자 한다. 구체적인 대안은 다음과 같다.

- 대안 1 : 선형개선 없이 개선
- 대안 2 : 대안1 + 선형개선



〈그림 15〉 대안1(위), 대안2(아래)의 개선도



〈그림 16〉 직선과 커브구간의 횡단면도



본 연구에서는 교통사고 비용의 산정을 위해 유정복 (2002)*의 연구를 참고하여 <표 23>과 같이 정리하였다. 지역별 관내도로의 교통사고 비용 추정결과, 경기도가 2조5,000억원으로 가장 높게 나타났으며 이는 전체 교통사고 비용 중 20%를 차지하고 있다. 사고 1건당 교통사고 비용은 충남이 7,145만원으로 가장 높게 나타나고 있다.

<표 23> 지역별 교통사고 비용(PGS포함)

구분	사고비용(천원)		순위	건당비용(천원)	
	PGS 제외	PGS 포함		순위	순위
서울	1,750,835,770	1,020,372,220	2	368,88.2	13
부산			
경기	2,698,090,880	1,540,201,300	1	56,467.9	6
			
충북	622,251,100	366,636,000	11	58,858.4	3
충남			
제주	147,477,350	91,091,400	16	44,447.7	12

주 1) PGS(Pain, Grief and Suffering) 심리적 비용
 주 2) 음영부분은 본 사례노선 지역임.
 자료 : *2001년 교통사고 비용 추정방법론 연구, 유정복, 2002, 교통개발연구원

<표 24> 대안별 편익 및 공사비 (단위 : 천원)

구분	대안1	대안2
개통년도 편익	70,630	113,008
공사비	749,985	1,124,978

<표 25> 커브 개선에 따른 총 사고 감소율

곡선반경(m)	개선	중심각									
		10°		20°		30°		40°		50°	
처음	개선	비독립커브	독립커브	비독립커브	독립커브	비독립커브	독립커브	비독립커브	독립커브	비독립커브	독립커브
59	71	16	17	16	17	16	17	15	16	15	16
	88	33	33	32	33	31	33	31	33	30	33
	118	49	50	48	50	47	50	46	50	46	50
	147	59	60	57	60	56	60	55	60	55	60
	177	65	67	64	66	63	66	62	66	61	66
	221	72	73	70	73	69	73	68	73	68	73
70	353	82	83	80	80	79	83	78	83	78	83
	87	20	19	19	20	18	20	18	20	17	20
	116	15	39	38	40	36	40	36	40	35	40
	146	12	50	49	52	48	52	46	52	46	51
	175	10	58	56	60	55	60	54	59	53	59
	218	8	66	64	68	62	68	61	67	60	67
	349	5	77	75	80	74	79	72	79	72	79

<표 24>는 대안별 편익과 공사비를 산출한 값이다. 편익은 개통 후 20년까지를 분석하였으며, 편익의 증가율은 편익상 연도별로 일정하게 적용하였으며, 대안2에서 선형개량에 의한 사고감소는 Zegeer가 제시한 사고감소율 기준을 우리 실정에 맞게 수정**한 <표25>를 적용하여 편익에 반영하였다.

<표 26>은 대안별 NPV 및 B/C, IRR을 산출한 값이다.

<표 26> 대안별 경제성 분석결과(단위 : 천원)

구분	대안 1	대안 2
NPV	291,561.6	965,249.4
B/C	1.42	1.92
IRR(%)	11.73	15.78

경제성 분석결과 선형개량에 한 대안2가 1.92, 부분 확폭과 안전시설을 보완한 대안1이 1.42로 대안2가 보다 우수 하게 나왔다. 현재 이 구간에서 교통량이 감소함에 따라 사고건수가 절반으로 줄었다. 따라서 교통량이 큰 폭으로 늘지 않는 한 현 상태 운영도 최소한의 선택이라고 하겠다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

도로안전개량사업에서 기존에 사용되었던 방법은 “도로업무편람의 위험도로 개선사업 우선순위 결정기준 <표 16>” 또는 사고유형분석을 통한 개선사업인 “사고많은지점 개선사업”으로 대별 된다. 그러나 기존의 방식은 어떤유형의 개선대책 이 얼마나 효과가 있는지 판단하기 어렵고, 평가기준도 발생된 사고자료에 근거하고 있다.

본 연구는 2차로도로 평면선형구간의 개선대책별 안전성을 평가하고자 하였다. 또한 평면곡선부의 안전성 평가를 위해 직선부 평균속도와 곡선부 최저속도의 차를 새롭게 지표로 선정하였으며, 평가를 통해 평면곡선에 대해 확폭, 편경사, 선형개량에 따른 개선효과를 정량적

* 유정복, 2001년 교통사고 비용 추정방법론 연구, 2002, 교통개발연구원.

** <표1>의 곡률을 곡선반경으로 변형



지표로 제시하고자 하였다. 특히 선형개량이 막연히 시설 및 간단한 개선보다는 좋을 것으로 알고 있으나 얼마나 좋은지를 정량적으로 제시하였다는데 본 연구 결과의 학술적 기여도가 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구를 통해 2차로도로에 설계기준 이하의 평면곡선은 속도차에 따른 사고율 증가를 방지하기 위해 편구배와 확폭만으로는 속도차가 개선되지 않으므로 선형개선이 바람직하다는 결론을 얻었다.

본 연구에서의 효과평가는 시간적·비용적 제약으로 인해 곡선반경100m, 편경사 4%로 설계된 도로에 대해 선형개량, 확폭, 편경사에 대한 개선효과를 분석하였다. 또한 선형개량, 확폭, 편경사 각각과 세가지를 함께 고려한 평가는 시행하였으나 세가지 요소가 복합적으로 작용하는 경우는 시뮬레이션 경우의 수가 크게 증가하는 문제로 고려하지 못하였다. 아울러 본 연구의 현장적용 사례연구도 검증의 측면에서 이루어져 곡선반경을 다양화하여 대안별 경제성 분석을 하지 못한 것도 본 연구의 한계이다.

향후 이러한 부분에서의 다양한 고려를 함께 한다면 보다 현실적이고 범용적인 대안을 수립할 수 있을 것으로 판단되어 향후 연구과제로 제시합니다.

참고문헌

1) 건설교통부, 도로의 구조시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 2000.
 2) 건설교통부, 도로용량편람, 2001.
 3) 건설교통부, 도로설계편람, 2001.
 4) 유정복, 2001년 교통사고 비용 추정방법론 연구, 한국교통연구원, 2002
 5) 이점호, 설계일관성 분석을 통한 도로선형설계의 적정성 평가 연구, 서울시립대 박사 학위논문, 2000.
 6) 정준화, 도로곡선부의 안전성향상을 위한 평면선형설계지침 연구, 건기연 98-104, 한국건설기술연구원, 1998.
 7) 최재성, 도로선형에 대한 설계일관성 평가모형의 개발, 대한교통학회지 16권 제4호, 1998.

8) 최재성, 평면곡선부 확폭량 재설정에 관한 연구, 대한교통학회지 제18권 제4호, 2000.
 9) 한국개발연구원, 도로부문사업의 예비타당성조사 표준지침연구(제3판), 2001.
 10) AASHTO, *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, Fourthe Edition, 2001.
 11) McLean J.R.,(1989) *Two-lane Highway Traffic Operations : Theory and Practice*, Gorden & Breach Science Publishers, 1989.
 12) Mclean, J.R(1996), Review of accidents and rural cross section elements including roadsides, *ARR 297*, ARRB Transport Research Ltd, AUSTRROADS.
 13) Ruediger Lamm, Basil Psarianos, and Salvatore Cafiso, Safety Evaluation Pross for Two-lane Rural Roads, *TRR 1796*.
 14) Ruediger Lamm, Possible Design Procedure To Promote Design Consistency in Highway Geometric Design on Two-Lane Rural Roads.
 15) Transportation Research Board(1987), Designing Safer Roads: Practices for Resurfacing, Restoration and Rehabilitation, *US Transportation Research Board, Special Report 214*.
 16) Zegeer, C.V., J. Richard Stewart., Safety Effects of Geometric Improvements on Horizontal Curves Transportation Research Board, *Transportation Research Record 1356*.
 17) Zegeer C.V. et al, Cost Effective Geometric Improvements for Safety Upgrading of Horizontal Curves, *FHWA-RD-90-021*, Federal Highway Administration, Washington D.C., 1991.

접 수 일 : 2008. 3. 17
심 사 일 : 2008. 3. 21
심사완료 일 : 2008. 8. 4