

# 2차로도로 추월기회 제공방법별 지체도 비교·분석

## Analysis of Percent Time Spent Following by Alternative Passing Opportunities in Two-Lane Highway

김영록\* · 문재필\*\* · 이석기\*\*\* · 정준화\*\*\*\*

Kim, Young Rok · Moon, Jae Pil · Lee, Suk Ki · Jeong, Jun Hwa

### 1. 서 론

2008년 12월 31일 현재, 우리나라 일반국도는 총 연장 13,832km이며(전체 도로의 약13.4%),이 중 2차로도로가 약 7,000여km(일반국도의 51.4%)에 달한다. 2000년 이후, 많은 2차로도로가 지역간 이동성 확보 정책의 일환으로 확장되었고 그 결과, 확장된 4차로도로에 대해 고규격, 과투자 논란이 일게 되었다. 이후, 정부는 신규 도로확장 계획이나 이미 설계완료 된 도로에 대해서도 건설에 대한 타당한 공학적 근거(예를 들면, 수요기반)를 요구하고 있다. 이러한 상황과 맞물려 4차로도로로의 무조건 확장보다는 저예산 투입을 통한 효율적 운영개선 기법을 구상할 필요성이 제기되고 있다.

국내에서는 2차로도로의 서비스수준을 향상시킬 수 있는 유일한 대안이었던 추월가능구간을 대폭 제한하여 운영하고 있다. 예를 들어, 기존 추월가능구간을 금지구간으로 변경하는가 하면, 추월가능구간 길이도 평균 200m, 최대 400m이상은 허용하지 않고, 이마저도 추월가능구간 중앙에 과속단속카메라(추월시에는 피추월차량이 제한속도로 주행한다고 가정했을 때, 추월차량은 약 10~15km/h이상의 속도로 가속하여 추월해야 하는 상황을 감안한다면 과속단속카메라의 추월가능구간 설치의 바람직하지 못하다고 할 수 있다.)를 설치하여 추월기회를 제한하고 있다. 이는 2차로도로의 서비스수준을 저하시키는 주원인으로 작용하고 있다. 국외의 경우, 특히 지형적 여건이 유리하지 못한 유럽은 말할 것도 없거니와 상대적으로 지형 여건이 유리한 미국에서도 지방부 2차로도로의 효율적 운영을 위한 상당한 노력을 기울이고 있다. 예를 들면, 추월차로, 양보차로, 최근 대두된 2+1차로도로(미국 NCHRP 3-55에서는 이를 통칭하여 Passing lane이라 하며 2+1차로도로는 유럽에서 대두되었음) 등의 도입 이 대표적인 예이다. 결과적으로 국외에서는 2차로도로의 효율적 운영을 위한 다양한 방안을 모색하고 있는 데 반해, 우리나라에서는 2차로도로의 정비는 물론이고, 추월기회 조차 제대로 제공하지 못하고 있는 실정에서 2차로도로의 효율적 운영을 위한 다양한 방안에 대한 지체 효과 비교·분석할 필요가 있다 하겠다.

### 2. 기존 문헌 고찰

Harwood와 John(1985)은 2차로도로 추월기회 확대 제공을 위해 추월차로, 짧은 4차로 구간, 길어깨 활용, turnout, two-way left-turn(TWLT)에 대한 효과를 비교·분석하였으며 2차로도로의 교통운영 개선에 효과가 있다는 결과를 제시하였다. 또한 Harwood와 John(1986)은 추월차로만을 대상으로 하여 교통운영 효과를 분석하였으며 그 결과, 4차로도로로 확장을 대체할 수 있는 저비용 방안이라고 제시하였다. 이 연구는 추월

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학석사(E-mail : busbay@kict.re.kr) -발표자

\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 박사후연구원 · 공학박사(E-mail : jpmoon@kict.re.kr)

\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학석사(E-mail : sklee@kict.re.kr)

\*\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 · 공학박사(E-mail : jhjeong@kict.re.kr)



차로 설치 여부별로 TWOPAS모형을 적용하여 운영효과를 분석하였으며 관측 자료를 이용하여 validation을 하였다. 그 결과, 추월차로의 운영 효과는 교통량과 추월차로 길이와 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

Potts와 Harwood(2004)는 미국 Missouri주의 2차로도로에서 추월차로에 대한 적용 가능성과 잠재적 효과, 기존 추월 차로들의 서비스 수준과 안전 효과 분석, 추월차로 설치와 관련 기준, 도로 설계, 안내 표지, 그리고 노면 표시에 대한 내용을 제안하였는데, 추월차로가 설치된 2차로도로는 추월차로가 없는 도로에 비해 10~31%정도 Percent time spent following(이하, PTSF)이 감소하는 것으로 나타났으며, 그리고 사고빈도(사고 건수/mile/year)는 12~24%가 감소하는 것으로 분석되었다.

2차로도로의 서비스수준(Level of Service, 이하 LOS)을 나타내는 효과척도(Measure Of Effectiveness, 이하 MOE)는 미국도로용량편람(이하 USHCM)과 우리나라 도로용량편람(이하 KHCM)에서 지체와 관련된 값으로 활용하고 있다. 1985년판 USHCM에서는 지체시간비율(Percent Time Delay, 이하 PTD)라는 MOE를 사용하였고, 이를 수정하여 2000년판 USHCM에서는 추종시간백분율(Percent Time Spent Following, 이하 PTSF)을 사용하였다. 보조적으로 고규격에 해당하는 CLASS I 2차로도로에서는 평균통행속도(Average Travel Speed, 이하 ATS)를 보조적인 서비스수준 판단 기준으로 활용하였다. 먼저, PTSF는 2차로도로 상에서 저속의 선두차량에 의해 지체를 받는 차량들의 평균 통행시간 비율을 의미하며, PTD는 PTSF와 기본적으로 유사한 개념이나, PTSF는 분석 대상구간에 걸쳐 나타나는 지체도를 나타내는 개념인 반면, PTD는 분석할 특정 지점을 기준으로 이 지점을 통과하는 전체 교통량 대비 차량군을 형성하는 교통량에 대한 비로 나타내는 효과척도라는 점에서 구별된다. USHCM에서도 PTSF 산출을 위해, 현장조사 자료에서 PTD를 산출하여 회귀식으로 PTSF 산출식을 정립하였다. 총지체율(Total Delay Rate, 이하 TDR)은 2001 KHCM에서 사용한 MOE인데, 희망 통행시간과 실제 통행시간과의 차이를 나타내는 지표이다. 현재 2001년판 KHCM에서는 교통량에 따라 산출하도록 식을 제시하고 있다. 표 1은 2차로도로의 지체정도를 나타내는 MOE를 비교한 것이다.

표 1. 2차로도로의 지체 관련 MOE 검토

지체 관련 효과척도		
추종시간백분율(PTSF)	지체시간비율(PTD)	총지체율(TDR)
$PTSF = 100 [1 - e^{-0.000879 V_p}] + f_{d/np}$ <p>여기서,  <math>V_p</math> = 교통량  <math>f_{d/np}</math> = 추월금지구간 비율에 따른 PTSF 변화량</p>	$PTD = \left( \frac{V_{platoon}}{V_{total}} \right) \times 100$ <p>여기서,            PTD = Percent Time Delay(%)  <math>V_{platoon}</math> = 차량군 형성 교통량  <math>V_{total}</math> = 총 교통량</p>	$TDR = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^n (TT_{ai} - TT_d)}{TT_{ai}}$ <p>여기서,            TDR = 총지체율(%)  <math>TT_{ai}</math> = 실제 통행시간  <math>TT_d</math> = 희망 통행시간  <math>n</math> = 교통량(대)</p>

상기한 지체관련 효과척도 이외에도 2차로도로의 추월효과를 측정하기 위한 추월율이라는 효과척도도 있는데, 단위거리 당, 단위 시간당, 추월회수로 나타내며 통상 “회/시간/km”와 같이 표현한다.

### 3. 분석 방법론

본 연구는 2차로도로의 효율적 운영방안을 비교·분석하기 위하여 시뮬레이션 모형을 이용하는 방법과 함께 현장 관측자료 분석을 토대로 이루어졌다.

#### 3.1 분석 방법론 정립

1) 분석 척도 선정 : USHCM 2000과 KHCM 2001에서 제시하고 있는 효과척도를 검토하여 2차로도로의 지체를 잘 설명할 수 있는 지표로 PTSF를 선정하였다. 그 이유는 우선 PTD는 PTSF 산출식 정립을 위한 개념으로 기본적으로는 유사하고, KHCM 2001의 2차로도로 편에서 MOE로 사용되는 TDR은 개별차량들의 희망통행시간 설정이 용이하지 않고, TWOPAS를 통해 도출되는 결과와의 직접 비교가 쉽지 않기 때문이다.

2) 분석대상 구간 선정 및 현장조사 : 본 연구에서는 분석대상 구간에서 추월이 금지된 구간, 일부 추월이 가능한 구간, 추월차로가 있는 구간으로 구분하여 연구대상 내용과 유사한 기하구조를 가진 현장을 대상으로 자료수집 및 분석을 수행하였다.

3) 모의실험 : 모의실험에 적합한 프로그램으로 TWOPAS를 선정하였고, 현장조사 분석결과를 이용하여 입력 값을 도출하였다. TWOPAS는 미 연방도로청에서 개발한 IHSDM(Interactive Highway Safety Design Module) 프로그램 내에 있는 5가지 분석 모듈 중에서 TAM(Traffic Analysis Module)을 위한 tool로 활용되고 있다. TWOPAS는 기하구조, 교통자료 등을 입력하여 모의실험을 수행하고, 결과 값으로 PTSF, 교통량 및 속도, 지체관련 효과적도 등을 도출해 내는 전형적인 2차로도로 교통류 분석 프로그램이다.

4) 2차로도로의 추월기회 제공방법별 지체도 비교·분석 : 모의실험을 통해 도출된 다양한 효과적도들을 각 연구대상 구간별로 비교 분석하였고, 현장조사에서 분석된 양보차로 진입 전과 진출 후의 PTSF 비교를 통해 지체 정도를 비교해 보았다.

### 3.2 현장조사

본 연구 수행을 위해 양보차로가 있는 88올림픽 고속도로에서 현장조사를 수행하였다.

- 대상지 : 고령~동고령IC 구간 내 추월차로 구간(현재는 양보차로로 운영, 조사 당시는 추월차로로 운영)
- 추월차로 진입 전 및 진출 후 구간의 교통량, 속도, 차두간격
- 총 165분 동안, 3개의 지점을 선정하여 비디오(교통류 조사)와 녹음기(차량번호판 조사)로 조사
- Data reduction : 차량번호판 Matching되지 않는 자료 제외
- 연속류 도로에서는 주로 15분 교통류율을 분석하지만, 보다 자세한 분석을 위해 5분 교통류율 사용

## 4. 분석결과

### 4.1 모의실험 입력 값 도출

모의실험을 위해 현장조사 자료를 분석하여 차량군 비율(Percent Following)과 희망속도에 대한 입력값, 그리고 대상 기하구조를 설정하였다. 먼저, 차량군 비율은 전체 교통량 대비 추종차량의 비율을 나타내는 것으로 PTD와 PTSF와 동일한 개념으로 TWOPAS에서는 차량군 비율= $100(1 - \exp(-0.0176 * \text{flow}))$ 을 이용하도록 되어있으나, 본 연구에서는 현장조사를 통해 차량군 비율을 계산하는 식을 SAS(Version 9.2)프로그램에서 회귀식으로 그림 1과 같이 도출하였다. 희망속도는 차종별(승용, 트럭) 선두 및 단독차량의 평균 속도로 설정하여 현장조사로부터 표 2와 같이 도출하였다.

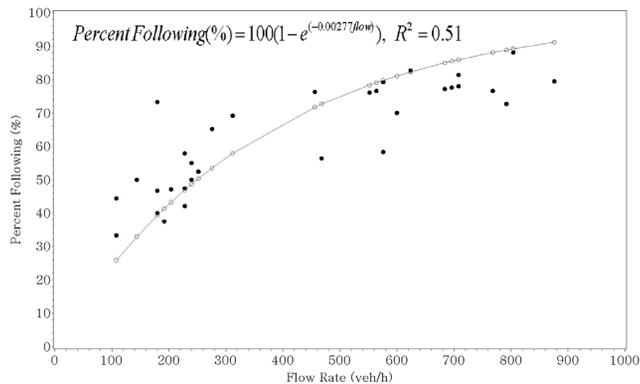


그림 1. 교통량 수준별 Percent Following



표 2. 모의실험을 위한 교통류 입력 값 선정

모의실험 교통량			희망속도(km/h)/표준편차		차량군 비율 <sup>3)</sup>	비고
총(대/시/방향)	승용(%) <sup>1)</sup>	트럭(%) <sup>2)</sup>	승용차	트럭		
100	90	10	85.5/11 (*TWOPAS 99.0/8.0)	80.9/7.6 (*TWOPAS 95.7/6.4)	24.2	기본구간 기준
300					56.4	
500					75.0	
700					85.6	
900					91.7	
1,000					93.7	

주1) 승용차+버스, 주2) 트럭+세미트레일러, 주3) 현장조사 도출 모형 : 차량군 비율 = 100(1-exp(-0.00277\*교통량))

모의실험 대상구간의 구간 길이는 각 5km씩으로 설정하였으며, 추월금지구간, 추월가능구간, 추월차로 구간으로 구분하여 선정하였다(표 3 참조).

표 3. 모의실험을 위한 대상구간 설정

모의실험 대상구간	설 명	운영위치
추월금지구간(기본구간)	추월금지구간 100%	진구간
추월가능 구간	중앙선 양방향 추월가능구간 설치(1km)	2~3km 구간
추월차로 구간	한쪽방향 추월차로 설치(1km)	2~3km 구간

#### 4.2 운영효과 비교 분석

##### 1) 모의실험결과

TWOPAS를 통한 모의실험 결과는 표 4와 같다. 교통량이 많을수록 지체도가 높아짐을 알 수 있었으며, 추월금지구간보다는 추월가능구간, 추월가능구간보다는 추월차로 구간이 지체가 작아지는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 2차로도로의 지체 정도를 비교하기 위하여 PTSF를 효과적으로 선정하였으며, 표 4에서 추종 시간백분율을 검토해 보면 그림 2와 같다.

표 4. TWOPAS를 이용한 모의실험 결과

효과적도	교통량(vph)						
	추월방법	100	300	500	700	900	1000
percent time spent following	추월금지구간	35.7	68.4	80.9	85.2	89.9	91.6
	추월가능(1km)구간	29.5	65.5	79.2	84.1	89.5	91.2
	추월차로(1km)구간	25.6	56.7	70.2	76.2	81.7	83.6
Average Travel Speed (km/h)	추월금지구간	81	74	70	68	66	65
	추월가능(1km)구간	83	75	70	68	66	65
	추월차로(1km)구간	83	77	73	70	68	67
Total Delay <sup>1)</sup> (minutes/vehicle)	추월금지구간	0.11	0.42	0.7	0.81	0.95	0.98
	추월가능(1km)구간	0.04	0.37	0.66	0.78	0.93	0.97
	추월차로(1km)구간	0.01	0.29	0.54	0.65	0.82	0.85
Number of Passes <sup>2)</sup>	추월금지구간	0	0	0	0	0	0
	추월가능(1km)구간	21	39	42	44	21	23
	추월차로(1km)구간	28	185	515	714	1,220	1,356
Total Travel Time(veh-hrs)	추월금지구간	6.1	21.4	36.2	51.4	66.6	77.5
	추월가능(1km)구간	6	21.2	35.9	51	66.4	77.3
	추월차로(1km)구간	5.9	20.7	34.9	49.5	64.5	75.3

주1) Total delay : 이상적인 조건에서의 통행시간과 모의실험을 통해 도출된 통행시간과의 차이

주2) Number of passes : 추월가능구간에서는 추월회수, 추월차로 구간에서는 추월차량이 추월한 피추월차량 총 대수

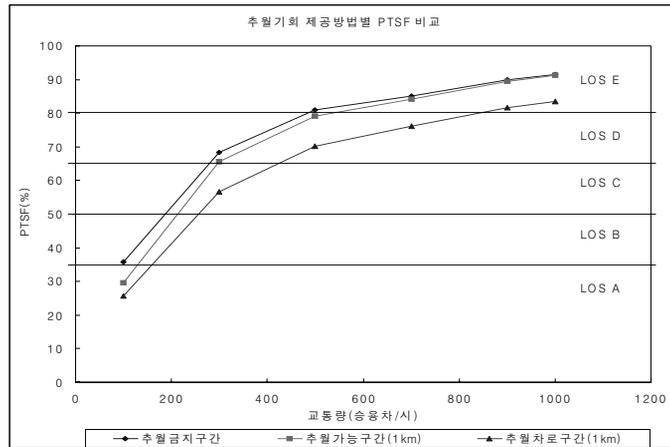


그림 2. 추월기회 제공방법별 PTSF 비교(CLASS I)

모의실험을 통해 도출된 PTSF와 USHCM(2000)에서 제시한 CLASS I의 서비스수준과 비교해 보면, 추월차로가 있는 구간은 추월금지구간에 비해 서비스수준이 한 단계 정도 차이를 보이는 것으로 나타났다. 교통량 900대의 경우, LOS가 같은 E 등급에 위치하긴 하지만 추월차로구간의 PTSF는 D에 가깝고 추월금지구간의 PTSF는 E 등급의 상단부에 위치한 것을 알 수 있다. 표 5는 그림 2의 PTSF 값을 비교하여 추월금지구간 대비 추월가능구간과 추월차로구간에서의 개선정도를 제시한 것이다. 모의실험을 통해 나타난 결과, 추월차로구간은 추월금지구간에 비해 최소 8.7~28.3%의 개선효과가 있는 것으로 나타났다.

표 5. 추월기회 제공방법별 PTSF 및 추월금지구간 대비 지체 개선율

항목 교통량(vph)	추월금지구간 100%		추월가능구간(1km)		추월차로구간(1km)	
	PTSF(%)	PTSF(%)	개선율(%) <sup>1)</sup>	PTSF(%)	개선율(%) <sup>1)</sup>	
100	35.7	29.5	17.4	25.6	28.3	
300	68.4	65.5	4.2	56.7	17.1	
500	80.9	79.2	2.1	70.2	13.2	
700	85.2	84.1	1.3	76.2	10.6	
900	89.9	89.5	0.4	81.7	9.1	
1000	91.6	91.2	0.4	83.6	8.7	

주1)교통량별 개선율(%)=(추월금지구간 100%의 PTSF- 추월가능구간의 PTSF)/추월금지구간 100%의 PTSF

주2)교통량별 개선율(%)=(추월금지구간 100%의 PTSF- 추월차로구간의 PTSF)/추월금지구간 100%의 PTSF

## 2) 현장조사 분석결과

그림 3은 교통량별 추월차로 진입 전 및 진출 후의 PTSF를 교통량별로 산출한 결과를 나타내고 있다. 현장조사를 통해 도출된 PTSF를 USHCM 2차로도로의 CLASS I 도로 기준과 비교한 결과, 모의실험 결과와 유사한 양상을 나타냈다. 그러나, 교통량이 증가할수록 모의실험결과 보다는 완만하게 증가하는 것으로 나타났으며 이는 모의실험 대상구간과 현장조사 구간의 기하구조적 특성이 다르기 때문으로 판단된다.

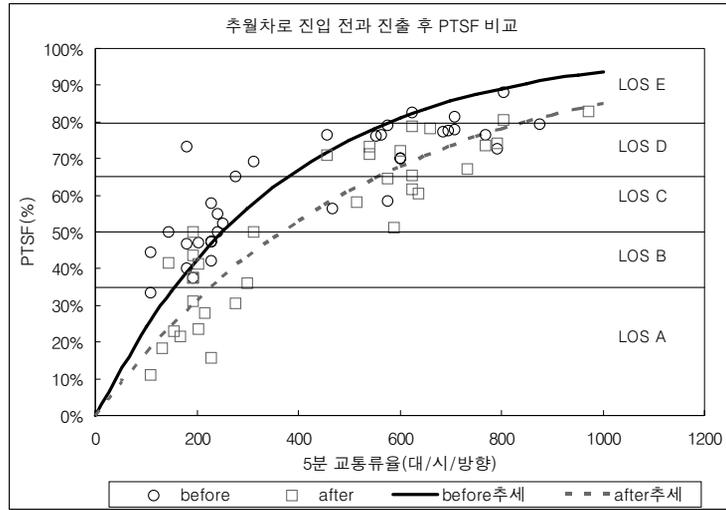


그림 3. 교통량별 추월차로 진입 전 및 진출 후 PTSF 도출결과(CLASS I)

표 6은 추월차로 진입 전과 진출 후의 지체정도 비교를 위해 차량군 관련 분석을 수행한 결과이다. 현장에서 관측된 결과 값을 이용하여 최종적으로는 PTSF를 도출하였으며, 추월차로 진입 전에 비해 진출 후 약 12.2%가 개선되었음을 알 수 있다. 즉 추월차로가 있는 구간이 그렇지 않은 구간에 비해 약 12% 효율적으로 운영되고 있다고 할 수 있다. 차량군 관정 기준은 2초에서 5초의 범위에서 활용되고 있는데 본 연구에서는 차두간격을 4초 이하로 설정하여 자료를 분석하였다.

마지막으로 추월차로 진입 전의 차량순서와 추월차로 진출 후의 차량순서를 비교하여 추월률을 산출하였다. 추월율은 피 추월차량의 대수는 관계없이 무조건 1회의 추월로 간주하였으며 결과는 표 7과 같다. 즉, 추월차로 1km, 시간당 109회의 추월이 일어나고 있는 것으로 분석되었다. 이 결과는 향후, 추월률 도출을 통해 추월차로의 적정 구간길이 산출에 근거자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

표 6. 추월차로 진입 전과 진출 후의 PTSF 비교

운영효과	진입 전	진출 후	PTSF 개선효과  12.2%=[(70-61)/70]*100
전체차량대수	1,215	1,215	
차량군 개수	218	210	
최대/최소 차량군 크기	24/2	21/2	
차량군 내 평균 차량대수	4.9	4.5	
차량군 전체 대수	851	747	
<b>PTSF</b>	<b>70%</b>	<b>61%</b>	

표 7. 추월차로 구간에서 추월율

추월회수(회)	관측시간(min)	구간길이(m)	추월율(회/hr/km)
308	165	1,030	108.7 ≒ 109

## 5. 결론

본 연구는 2차로도로의 추월기회 제공방법별 운영효과를 분석하기 위하여 수행되었으며, 모의실험과 현장 관측자료의 분석을 통해 이루어졌다. 모의실험은 가상의 2차로도로 5km를 대상으로 추월금지구간(100%), 추월가능구간(1km), 추월차로구간(1km)를 대상으로 다양한 지체관련 효과척도를 비교·분석하였다. 그 결과, 추월차로가 설치된 2차로도로는 교통량 수준별로 추월금지구간 및 추월가능구간에 비해 지체관련 효과척도

와 서비스수준이 향상되는 것으로 나타났다. 또한, 현장조사는 추월차로가 설치된 88올림픽 고속도로의 추월 차로 진입 전과 진출 후 지점에서 수행하였다. 현장조사의 주 내용은 저속의 선두차량에 의해 구속받는 차량의 비율을 조사하는 것이며, 분석결과, 추월차로가 구속받는 차량의 비율을 감소시키는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 2차로도로의 추월기회 제공을 위한 기준으로 참고할 수 있을 것이며, 향후 많은 교통조건, 기하구조 조건, 그리고 환경조건들을 고려하여 추월차로의 운영효과 분석이나 처리가능 수요, 그리고 추월가능구간이나 추월차로의 적정 구간길이 등을 도출할 수 있는 근거로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 친환경·지능형 도로설계기술개발 연구단(건설핵심D05-01)을 통하여 지원된 국토해양부 건설기술혁신사업에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. 건설부, 1992, 도로용량편람, 대한교통학회
2. 건설교통부, 2001, 도로용량편람, 대한교통학회
3. D.W. Harwood and A.D. John, "Operational Effectiveness of Passing Lanes on Two-lane Highways", FHWA-RD-86-195, FHWA, 1986.
4. D.W. Harwood and A.D. John, "Passing Lanes and Other Operational Improvements on Two-lane Highways", FHWA-RD-85-028, FHWA, 1985.
5. I.B. Potts and D.W. Harwood, "Benefits and Design/Location Criteria for Passing Lanes", RDT 04-008, Missouri Department of Transportation, MO, 2004.
6. Transportation Research Board, 1985, Highway Capacity Manual, Special Report 209.
7. Transportation Research Board, 2000, Highway Capacity Manual, Special Report 209.
8. Transportation Research Board, 1996, Capacity and Quality of Service of Two-Lane Highways, Interim Report of NCHRP Project 3-55(3). Midwest Research Institute.