□ 論 文 □

지방부 도로의 양보차선 설계기준 정립을 위한 이론적 연구

A Method for the Development of Design Guides for Passing Lanes on Rural Two-Lane Highways)

崔 在 星
(서울市立大學校 都市工學科 敎授)

目 次

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 2차선 도로의 특성
1. 우리나라 2차선 도로의 특성
2. 우리나라 2차선 도로의 교통류 특성
3. 2차선 도로 교통류의 이론적 특성과 분석 이론
4. 기존연구의 검토
Ⅲ. 효과분석을 위한 MODEL의 선정
1. 2차선도로 Computer Simulation Model 선정
2. 현장조사에 의한 TRARR Model의 검토분석
Ⅳ. 양보차선의 효과분석
1. 효과분석을 위한 Experimental Design 및 분석의 조건
2. TRARR Model의 simulation 결과 및 분석
Ⅴ. 결론

ABSTRACT

The effects of passing lanes on traffic flow on rural two-lane highways have been investigated in this research. Field study results were compared with the computer simulation model, TRARR, TRARR model appears to be in good agreement with field study results except that average speed and distribution of platoon sizes showed a small amount of discrepancy, which is believed to be caused by too large a headway definition of 6 second for a vehicle platoon.

Using the TRARR model, 4 situations including the existing condition, installation of passing

lanes, improvement of design speed, and expansion to a four lane highway were evaluated. Traffic volume levels of 500, 1000, and 1500 vph and truck composition of 20 and 40% were also considered making a total of 24 computer runs. It is concluded in this research that the installation of passing lanes is the most effective method to improve traffic operation on two-lane higways except the alternative of four lane highway expansion.

Ⅰ. 서론

2차선도로는 한방향에 한개의 차선만이 확보된 도로를 말하며 우리 나라의 경우에는 과거 교통량이 많지 않은 상태에서 유지되어 왔던 도로망 체계에 최근의 급증한 차량 교통량이 부하되면서 곳곳에서 교통 혼잡 및 교통 안전상의 문제가 발생하는 점에 비추어 볼때 확장의 필요성이 두드러지는 도로시설이다. 그러나 2차선도로를 확장하기 위한 정부의 예산 제약을 고려할 때, 우선 단계적으로 적용해 볼 수 있는 효과적인 기법으로서 양보차선(Passing Lane) 설치방안이 있다. 양보차선은 미국이나 유럽, 호주 등에서 이미 상당히 오래전부터 개발되어 큰 반응을 보이는 바 이에 대한 세부적인 설계 기법과 그 효과의 분석 연구가 우리 나라에서도 매우 필요하다.

본 연구는 2차선도로에 양보차선 설치를 위한 이론적 분석중 우선 2차선도로의 운영상 특성을 살펴보고, 2차선도로 교통류 분석이론을 살펴봄으로써 새로운 양보차선 설계기법을 구축코자 한다. 이러한 과정을 통해서 추구하는 바 본 연구의 목적은 다음과 같다.

- 양보차선 설치를 통한 교통 용량의 극대화
- 양보차선 설계 기법 규명을 통한 교통류 분석 기법의 합리화
- 양보차선 설치시 이론적 배경의 제시

한편 본 연구의 범위는 양보차선 설계를 위한 이론적 분석에 중점을 두고 있으며 2차선도로의 추월과정을 설명하는 부분은 현장조사등을 수반하여 보다 상세하게 고찰코자 한다.

마지막으로 이러한 분석 과정과 함께 새로운 설계 기법의 개선 효과에 대해서도 Computer simulation model이나 현장조사를 통해 살펴보도록 한다.

Ⅱ. 2차선 도로의 특성

1. 우리나라 2차선 도로의 특성

우리나라 전체 포장도로 44,377km 중 2차선 도로는 37,719km로 85%나 되고 있다. 특히 전국 도로망의 골격을 형성하고 있는 이동성 기능 위주의 간선도로는 고속도로, 일반국도, 지방도를 고려할 때 총 20,462km이고, 이중 2차선 도로는 〈표 1〉에서 보는대로 17,833km로 전체의 87%를 차지하고 있다.

본 연구의 주대상이 되는 2차선 도로는 일반국도와 지방도의 도로가 중심이 되며, 이들 도로 현황을 살펴보면 다음과 같다.

일반국도는 국내 도로망의 주요 부분을 차지하고 있으며, 2차선 일반국도의 연장은 9,612km, 다차선 일반국도의 연장은 1,528km 이다. 1970년 이후의 차관 도로 사업 및 국도 개량 사업으로 다른 등급의 도로에 비해 포장률은 높은 편이나, 2차선 일반국도의 경우 선형의 불량과 협소한 길어깨 폭으로 인해 주행 속도 60km/시를 유지하지 못하는 구간이 많이 존재하고 있다.

〈표 1〉 우리나라 도로의 차선수별 포장도로의 연장

(단위 : km)

도로등급	합 계	2차선 도 로	다 차 선 도 로				
			소 계	4 차선	6 차선	8 차선	10차선 이상
합 계	44,377	37,719	6,658	4,196	1,713	574.7	164
고속국도	1,597	659	938	886	21.7	30.2	–
일반국도	11,140	9,612	1,528	1,115	412	–	–
지 방 도	7,725	7,562	163	130	23	8.5	–
특별시도	10,716	8,122	2,594	1,021	1,042	411	119
시 도	6,435	5,006	1,427	1,039	215	125	45
군 도	6,762	6,756	6	5.8	–	–	–

자료 : 건설부 도로현황조사, 1992년

2. 우리나라 2차선 도로의 교통류 특성

우리나라 2차선도로에서 연도별 차종 구성은 〈표 2〉와 같다. 이들 표에서 보는 바와 같이 연평균 일교통량이 약 20% 이상 증가하고 있으며, 승용차가 차지하는 비율이 점차 늘어나고 있다. 버스와 트럭이 차지하는 비율은 전체 교통량의 35~50%를 차지하고 있다.

한국형 도로용량편람을 작성하기 위하여 수행한 연구 조사 결과에서 나타난 2차선도로 교통류의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

- "1989년도 고속도로 교통량 조사"에 의하면 2차선도로 중 양방향 교통량이 2,000(대/시)를 넘은 곳은 김해－구포 구간으로서 시간당 2,039(대/시)였다.
- 교통량은 동일한 도로내에서도 시간(월별, 요일별, 시간대별)과 공간(방향별, 차선별)에 따라 변화하는 것으로 다음의 결과가 도출되었다.
- 전체 교통량은 한 해를 통하여 비교적 완만한 변화를 나타낸다.
- 겨울(1~2월)에 교통량이 적고 3월부터는 서서히 증가하다가, 여름(6~7월)에 교통량이 조금 감소하며, 가을(10~11월)에 교통량이 가장 많다.
- 월별로 가장 급격한 교통량의 변화를 보이는 차종은 승용차이다.
- 관광도로로 분류되는 도로의 교통량 변화는 여름 휴가철인 7~9월, 특히 8월에 연중 최대 교통량을 나타낸다.
- 2차선도로에서는 주말 교통량이 주중교통량보다 많다. 특히 관광도로의 경우에는 주말 교통량이 현저하게 많다.
- 트럭은 주중교통량이 주말교통량 보다 많으며, 버스와 승용차는 주말교통량이 주중교통량 보다 많다.
- 첨두시간 동안의 방향별 교통량 분포는 55~70% 범위로 변화하고 있다.

3. 2차선 도로 교통류의 이론적 특성과 분석 이론

2차선도로에서 차량군이 형성되어 지체를 겪게되거나 저속 차량에 의해 적정 속도를 낼 수 없는 경우 차량은 추월을 시도하게 되는데 이는 반대편 차선을 통해 이루어지게 된다. 따라서 다음과 같은 운영특성이 발생한다.

〈표 2〉 일반국도의 연도별 차종구성비

구 분	'87		'88		'89		'90		'91	
	교통량 (대/일)	구성비 (%)	교통량 (대/일)	구성비 (%)	교통량 (대/일)	구성비 (%)	교통량 (대/일)	구성비 (%)	교통량 (대/일)	구성비 (%)
승 용 차	1,472	31.4	1,672	34.3	2,263	38.4	2,905	42.3	3,768	45.1
버 스	1,003	21.4	1,024	21.0	1,218	20.7	1,321	19.2	1,498	17.9
화 물 차	2,141	45.7	2,122	43.4	2,344	39.8	2,591	37.7	3,034	36.3
기 타	69	1.5	62	1.3	68	1.1	58	0.8	63	0.7
계	4,685	100	4,880	100	5,893	100	6,875	100	8,363	100

자료 : 건설부 도로교통량 통계연보, 1992년

1) Kallberg의 모형

교통류의 방향별 분포가 교통용량에 영향을 미친다. 2차선도로에서 한 방향의 교통량이 증가하게 되면 그 방향의 추월요구도 이에 따라 증가하게 되고 동시에 대개의 경우 반대 방향의 교통량도 증가하게 되므로 추월기회는 감소하게 된다. 이는 2차선 도로의 특성으로서 추월의 요구가 증가하면 추월의 기회는 감소한다는 것이다. 이러한 추월과 교통류의 특성을 설명하는 Kallberg의 모형을 제시한다.

Kallberg는 차량속도의 시간분포를 통해 추월수요를 분석한다. 만약 f(v)를 차량속도의 시간분포식이라고 하면 속도 v와(v+dv)간을 주행하는 차량들의 교통량은 qf(v) dv로 표시할 수 있다. 따라서 속도 u를 갖는 차량이 u보다 낮은 속도로 주행하는 차량들을 추월하려하는 교통류 전체에 대한 단위시간당 단위거리당 추월수요는 다음과 같다.

$$R' = q\int_0^\infty \frac{f(u)}{u} f'(u)du \quad \cdots\cdots(1)$$

$$= q^2 \int_0^\infty \frac{f(u)}{u} \int_0^u \frac{f(v)}{v}(u-v)dv\,du$$

추월 기회

주교통류가 v_a의 속도로 주행하고 있고 반대편 교통류는 지수함수의 차량간격을 유지하며 일정한 속도 v_0, 교통량 q_0로 주행한다면 주교통류에 의해 발견되는 반대편 교통류의 차두간격은 다음 식으로 표시된다.

$$\tau = \frac{v_0}{q_0(v_a+v_0)} \quad \cdots\cdots(2)$$

만약 t_c가 추월에 필요한 반대편 교통류의 차두간격이고 P_s가 도로의 시기가 충분할 확률이며 차두간격이 mt_c 보다 크면 m번의 추월이 발생한다고 가정하자. 이때 전체 교통류에 대해 고려하면 주교통류의 차두간격이 h_t 라고 할 때 단위시간당 단위거리당 총추월수요를 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$R'' = \frac{r''}{v_a \overline{h_t}}$$

$$= \frac{P_s \exp(-\frac{t_c}{\tau})}{v_a \overline{h_t}\,\tau[1-\exp(\exp(-\frac{t_c}{\tau})]} \quad \cdots\cdots(3)$$

추월 발생율

만약 실제 추월율과 추월기회가 모두 독립변수라고 한다면 $k = \frac{R''}{R'}$ 는 단순 대기행렬시스템에 있어서의 교통밀도 p와 유사한 변수로 생각할

수 있다. 또한 실제 추월율과 추월기회가 지수함수형태로 분포한다고 가정하여 Kallberg는 변수 k가 실제 추월율과 추월기회에 미치는 영향을 분석해 내었다.

2) Jacobs의 모형

2차선도로의 추월능력에는 한계가 있기 때문에 중차량의 충격이 다른 도로에 비해 매우 크게 나타난다. 2차선도로에서는 저속차량이 존재하는 경우 그 후방에 대기행렬이 생기게 되며 이 대기행렬은 교통류가 자유흐름이 될 때까지 오랜동안 지속적으로 유지된다. 이러한 대기행렬의 발생은 2차선도로의 교통용량을 제한하는 주된 요소로서 2차선도로의 서비스 수준은 대기행렬 발생 유무에 큰 영향을 받는다. 이러한 대기행렬을 분석하는 것으로 Jacobs 모형이 있다.

Jacobs는 위 적분 모형을 각 개별적 차량 뒤에 발생하는 대기행렬의 효과까지 분석가능하도록 개량했다. 이 모형의 형태는 다음과 같다.

Z(x)를 주교통류의 희망통행시간의 확률분포식이라고 하자. 단위 거리에 대한 희망통행시간이 z인 차량의 평균통행시간을 $m(z)$라고 하자. 이때 이 차량이 속도 x인 저속차량을 추월하느라 지체된 통행시간을 $w(z, x)$라고 하면 $m(z)$를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$m(z) = z + q_1 \int_z^s [m(x) - m(z)]\, w(z, x)\, dz \quad \cdots\cdots (4)$$

한편, 저속차량 x에 의한 대기행렬의 평균길이는 저속차량과 뒤따르는 차량간의 비율에 의해 다음과 같은 식으로 표시할 수 있다.

$$n(x) = \frac{q_1 b(x)[c + n(x)] \int_0^x [m(x) - m(z)]\, dZ(x)}{m(x) - q_1 \int_x^\infty [m(y) - m(x)]\, b(y)\, [c + n(y)]\, dZ(y)} \quad \cdots (5)$$

Jacobs는 위의 식에서 b(s)와 c를 알고 있다고 가정하여 위의 수식을 풀었다.

한편 위의 식에서 서비스시간 함수 b(x)에 대해서는 경험적인 연구가 필요하다. Jacobs는 지수함수로 도착하는 교통류의 횡단 상태를 고려하여 다음과 같은 수식을 산출했다.

$$b(x) = \frac{1 - \exp(-q_0' t_1)}{q_0' \exp(-q_0' t_0)}$$

$$q_0' = \frac{q_0(x + x_0)}{x} \quad \cdots\cdots (6)$$

여기서

x_c = 반대편 교통류에 대한 단위 거리당 평균 통행시간

t_0, t_1 = 한계차두간격 및 진행시간

3) Highway Capacity Manual의 모형

2차선도로에서 방향별 교통량은 서로 섞일 수 있기 때문에 교통용량의 결정은 양방향에 대해서 수행한다. 한편 반대편 차선을 주행하기 위해서는 충분한 안전거리가 확보되어져야 하며 이 거리를 최소추월시거라 한다. 이 거리는 도로의 설계속도에 주로 영향을 받으며 이는 2차선도로의 설계시 충분히 감안되어져야 한다. 이 추월시거는 2차선도로의 서비스 교통량에 상당한 영향을 끼치는데 한 예로 HCM(1985)에서는 55mph 이상으로 주행하는 평탄지형의 도로에서 추월시거가 충분했을 때 교통량이 760v/h로 서비스수준이 B였으나 이 도로의 40% 구간에서만 추월이 가능하도록 변경하자 서비스수준이 C로 감소되었다. 이러한 사실을 고려해 볼 때 적절한 추월의 기회를 제공하여 도로 이용의 효율성을 제고시키는 것이 오늘날의 교통상황에 적절한 대안이라 생각된다.

4. 기존연구의 검토

양보차선에관한 기존연구는 미국의 Alan R. Kaub와 W. D. Berg에 의한 연구와 이스라엘의 Abishai Polus에 의한 연구가 있는데, 전자는 양보차선이 교통사고 감소에 38% 효과가 있다고 분석했으며 후자는 교통안전성 증진보다는 효율성면에서 보다 큰 효과가 있는 것으로 분석했는데 그 효과는 교통량 증가에 따른 지체도 증가 경향이 양보차선 설치시 크게 감소하는 것으로 분석했다.

한편 A.. D. May 교수는 "Traffic performance and Design of Passing Lanes"에서 두개의 양보차선 진입부 설계대안을 분석한 결과 황색 진입선을 설치하는 경우 기존의 설계대안에 비해 차량들의 양보차선 이용율을 높이는 것으로 밝혔다. 그는 또한 양보차선의 길이가 약 400~1200m 일때 효과적이며 양보차선의 간격을 약 3.2~8.0km인 것이 바람직한 것으로 분석했다.

또한 William C. Taylor 교수는 "Warrents for Passing Lanes"에서 양방향에 모두 양보차선을 설치하는 경우 통상적인 통행비용절감은 교통량 500, 800, 1000vph에 대해 각각 $2.2, $4.0, $5.8/hr라고 주장하며, 교통사고 감소편익을 분석한 결과 ADT<5000, 5000<ADT<10000, ADT>10000에 대해 각각 37.7, 23.6, 48.5 교통사고건수/1백만 vehicle-mile의 사고감소효과를 갖는 것으로 분석했다.

Ⅲ. 효과분석을 위한 MODEL의 선정

1. 2차선도로 Computer Simulation Model 선정

2차선도로는 매우 복잡한 과정을 수반하기 때문에 전절에서와 같이 이를 수식적으로 설명하려는 노력은 상당한 제약을 받게 된다. 이에 따라 computer simulation model을 통한 분석이 광범위하게 이용되고 있다. 현재 사용되고 있는 2차선도로의 computer simulation model은 John R. McLean의 검토에 의해 〈표 3〉과 같다.

〈표 3〉 2차선 도로의 교통 시뮬레이션 모형의 유형 및 특성

구 분	SOVT	TWOWAF	VTI	SOFOT	TRARR
개발기관	North Carolina 주립대 토목 공학과	Midwest 연구소	스웨덴 국립도로 교통 연구소	브라질 교통계획 기구	오스트레일리아 도로연구소
개발자	Wu 와 Heimbach (1981)	St John, Kobett (1978)	Brodin, Gynnerstedt, Levander (1979)	Kaesehagen, Moser, Fischer (1978)	Robinson (1980[a]) Hoban 등 (1985)
컴퓨터 언어	FORTRAN	FORTRAN	SIMULA-67	FORTRAN	FORTRAN
스캐닝 기법	Time-based	Time-based	Event-based	Time-based	Time-based
차량 종류	5종	승용차 관광용 차량 트럭 5종	승용차 트럭 3종	승용차 버스 트럭 4종	규정에 따라 18종

구 분	SOVT	TWOWAF	VTI	SOFOT	TRARR
분석 과정	Schuhl 차두간격	Schuhl 차두간격 및 분석 전후 구간	규정 차량군 또는 변위지수 차두간격	Schuhl	분석전후구간
차량속도에 대한 도로 요소	오르막 구배이용자 속도 제한	오르막 구배 평면선형 내리막급구배	도로폭 평면곡선 오르막 구배	도로표층 형태 노면 거칠기 평면곡선 구배	평면곡선 오르막 구배
추월 로직	가속 추월과 반대편 교통제한 간격에 대한 간격 수락 확률	반대편 교통과 시거 제한간격에 대한 간격 수락 확률	추월상태 범위에 대한 간격 수락 확률	상대속도와 유효 간격크기를 토대로 한 결정 법칙	각 추월상황의 이용자 안전계수를 토대로 한 결정 법칙
도로 기하구조 입력 자료	종단선형 추월금지구간 속도제한구간 인접 소로 부가차선	종단선형 평면선형 시거도 추월금지구간	종단선형 평면선형 시거도 횡단면 추월금지구간 부가차선	종단선형 평면선형 시거도 횡단면 부가차선	종단선형 평면선형 시거도 추월금지구간 부가차선
교통 입력자료	교통량 교통 혼합율 인접도로 교통량	교통량 교통 혼합률	교통량 교통 혼합률 속도 제한	교통량 교통 혼합률 속도 제한	교통량 교통 혼합률 차량 구성비
운전자 및 차량 입력자료	희망속도 분포	희망속도 분포	희망속도 분포 원동력/차중 분포	평균 자유속도 곡선도	희망속도 분포 원동력/차중치 추월안전한계
출력 선택사양	주행시간 지침속도와 차두간격 추월 자료 속도변화주기	주행시간, 속도 및 지체 유출입 특성 추월 비율 가속 소음	지점 및 간격 특성을 포함한 광범위한 자료 출력	주행시간 및 속도 연료 소비량	지점속도 및 차두간격 주행시간 추월 비율 추월안전한계 차량군

지금까지 살펴본 수식적 모형과 Computer Simulation Model중에서 본 연구의 목적인 양보차선의 설계방안에 따른 교통운영상의 효과 분석을 가능케하면서 동시에 이론적으로 공고한 체계를 유지하고 있는 Model을 선정해서 양보차선의 설치에 따른 교통류 개선효과를 측정해야 한다.

이를 위해 다음과 같은 1차 검토 기준을 정했다.

- Model의 정립시 가정한 사항이 현실적인가
- Model의 결과를 현장조사를 통해 확인할 수 있는가
- 수식의 해를 구하기가 불필요하게 복잡하거나 난해하지 않은가

이러한 1차 검토기준에 의해 각 Model을 검토

한 결과 다음과 같은 사항을 알 수 있다. Jacobs의 분포식은 적분방정식에 의한 식으로서 수식의 해를 구하기가 매우 어려우며 Kallberg의 식은 기본적으로 미시적인 접근방법을 채택하고 있으며 Kallberg식의 정립동기는 서비스 수준분석에 차량군의 크기를 활용하려는데 있었다. 따라서 추월의 수요와 공급량을 수식적으로 나타낸 후 이 두 변수의 비교를 통해 차량군 크기를 결정하는 방식을 사용하고 있다. 이 식은 수식의 분석이 상당히 어려우며 추월수요를 현장조사과정에서 조사해내기 곤란한 점들이 문제점이라고 할 수 있다. 또한 HCM모형은 거시적인 분석기법으로서 양보차선과 같은 미시적인 도로변화에 대해서는 적절한 분석방법이 될 수 없다.

결국 수식적 모형들은 본 연구에서 중요시하고 있는 양보차선의 설계기법들을 분석하여 그들의 유발하게 될 교통운영상의 개선효과를 계량화하는 데 적절하지 않다는 결론에 도달했다.

따라서 본 연구에서는 수식적 모형들은 사용치 않고 Computer Simulation Model을 사용키로 한다. 또한 Computer Simulation Model 중에서는 세계적으로 그 성능이 인정되어 2차선도로의 교통류 특성분석에 널리 사용되고 있는 호주의 TRARR(Traffic Analysis for Rural Roads) Model을 사용키로 한다.

2. 현장조사에 의한 TRARR Model의 검토분석

TRARR Model과 우리나라 2차선도로의 교통류상태가 과연 어떻게 비교될 수 있는가를 알기 위해 우선 현장조사를 수행한다. 이 때 우리나라 2차선도로의 교통특성을 나타내는 변수들을 분석하기 위해서는 조사지점의 교통량이 용량상태를 나타낼 수 있을 정도로 많아야 하며 도로조건이 이상적인 조건에 해당하는 매우 양호한 지점들을 선정토록 해야 한다.

이러한 관점에서 볼 때 본 연구에서 선정한 2차선도로구간은 건설부에서 연구수행한〈도로용량편람연구조사〉에서 교통용량을 찾기 위해 조사한 지점중 AADT가 8,000 대/일 이상인 지점을 고려하고 또한 본연구의 목적과 부합할 것으로 생각되는 지점을 고려하여 최종적으로 〈표 4〉의 4개 지점으로 하였다.

4개의 현장조사 지점에서 수집한 교통 및 도로특성자료들은 TRARR에 입력되어 그 수행결과를 얻고 이들 4개의 수행결과는 각각 현장조사결과와 비교되어 TRARR Model의 현실성과 정확성을 검토하는 기준이 되었다.

〈표 4〉 현장조사 지점 요약표

지점번호	노선번호	조사위치				AADT (대/일)	비 고
		도	군/시	면	리		
1	국도 6 호선	경 기	양 평	옥 천	아 산	10491	
2	국도 3 호선	경 기	광 주	실 촌	곤지암	22416	광주 – 이천
3	국도 3 호선	경 기	동두천	상봉마동	–	9194	
4	국도 43 호선	경 기	화 성	봉 담	상 리	13397	

1) 현장조사 방법

현장조사는 한 장소의 현장조사에 4명의 조사인원이 투입되어 2명씩 A, B 2개의 조로 운영되었고 A조에서는 교통량과 차량군의 크기 및 차량대수등 2차선도로의 효과척도를 조사했으며 B

조에서는 Speed Gun을 이용해서 통행속도를 조사하고 방향별 분포를 알기위해 반대편방향의 교통량을 조사했다.

조사일시는 1993. 7. 5일과 7. 12일에 걸쳐 조사했고 조사시간은 15분 단위로 첨두 2시간 및 비첨두 1시간 총 3시간의 조사시간을 가졌다.

2) 현장조사결과와 TRARR Model 결과의 비교

TRARR이 우리나라의 2차선도로에서 현실적인 결과를 나타낼 수 있을 것인가 하는 문제가 본절의 주된 관심사이다.

이는 위에서 설명한 현장조사 자료를 통해 검토하기로 하는데 2차선도로의 주요 효과척도인 다음의 4가지 변수들을 조사한 결과 다음과 같은 사항을 알게되었다.

(1) 차량군의 크기

일반적으로 도로상에서 차량군이 형성되면 이에 따른 지체를 피하기 위하여 운전자는 차선변경을 하게 되며 본 연구의 대상인 2차선 도로에서는 추월을 하게 된다. 그러나 추월시 안전에 대한 위험부담이 크기 때문에 다른 도로에 비해 차량군, 즉 저속차량에 의해 지체되는 차량 대기행렬이 쉽게 소멸되지 않으며 그 크기는 교통량과 밀접한 관련이 있다.

이러한 차량군의 크기와 교통량과의 관계를 그래프를 통하여 알아보면 교통량이 증가함에 따라 차량군의 크기도 증가함을 알 수 있다. 즉, 교통량이 증가하면서 추월의 기회가 점점 적어지고 이에 따라 평균차량군 크기는 점점 커지게 되는데 이러한 경향은 현장조사와 TRARR 두 결과가 모두 같다.

2차선 도로에서 추월에 중요한 또다른 변수로 반대방향 교통량을 들 수 있는데 위의 관계를 반대방향 교통량 수준별로 나누어 살펴본 결과 회귀식 상의 차이가 크지 않으므로 반대방향 교통량은 변수에서 제외하고 주방향 교통량과 차량군 크기의 관계를 설명하는 회귀식을 도출하였다. 회귀식의 결과는 식(7)과 같다.

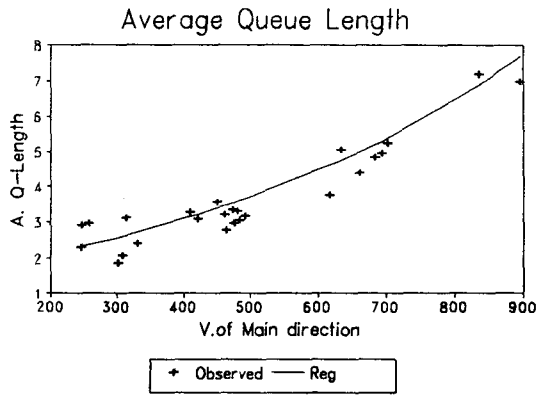
$$Y = (10^{0.169}) \times (10^{0.0008})^{X} \quad (R^2 = 0.84) \qquad \cdots\cdots(7)$$

여기서

Y = 차량군의 크기(대)

X = 주방향교통량(대/시)

한편 다음의 〈그림 1〉은 현장조사결과 얻어진 교통량변화에 따른 차량군의 크기를 나타내고 있다.

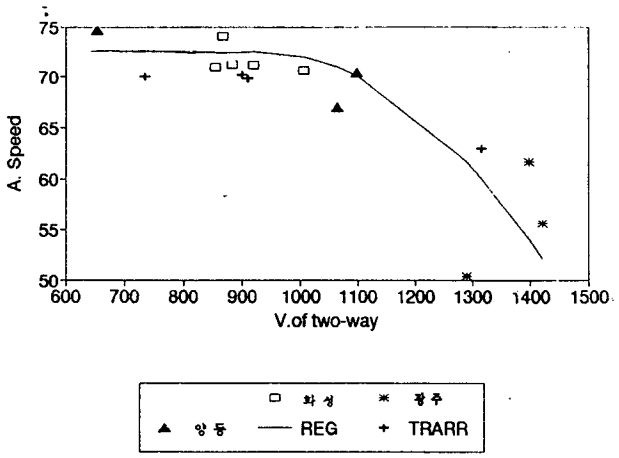


〈그림 1〉 교통량의 변화에 따른 차량군의 크기

(2) 평균주행속도

차량의 평균 주행속도를 양방향 교통량과 나타내어 보면 아래와 같은 결과가 나오는데 이는 이미 경험적으로 도출되어 널리 알려진 일반적인 교통량-속도의 관계와 같은 경향을 보이고 있다. 또한 동두천 지점의 경우 평탄지형이 아닐 뿐만아니라 시거가 좋지않고 평균 구배가 5%이며 도로폭이 7m이하로 협소한 상태이므로 다른 지점에 비해 기하조건이 상당히 좋지 않아서 차량의 주행 속도가 다른 세 지점에 비해 현격히 낮은 결과를 나타냈기 때문에 동두천의 결과는 분석에서 제외했다.

한편 다음의 〈그림 2〉는 현장조사에서 얻어진 교통량 증가에 따른 주행속도의 변화상태를 나타낸다.



〈그림 2〉 교통량증가에 따른 주행속도의 변화

(3) 지체시간 백분율

지체시간백분율을 분석하기 위해서 현장조사결과를 분석한 방법은 (전체차량수 - 차량군의 수)×100/전체차량수로 하였다. 이는 차량군에 포함되어 지체를 겪는 차량의 비율을 나타내고 있다.

그 분석결과는 〈그림 3〉과 같으며 이 그래프를 통하여 볼 때 양방향 교통량이 증가함에 따라 지체시간 백분율이 증가하는 것을 알 수 있는데 이는 교통량의 증가에 따라 저속차량에 의해 형성된 차량군은 많아지게 되나 반대편 교통량도 상대적으로 많아짐으로써 추월기회가 감소하고 이는 곧 실제 나타나는 지체시간 백분율의 상승을 유발하기 때문이다.

(4) 추월회수

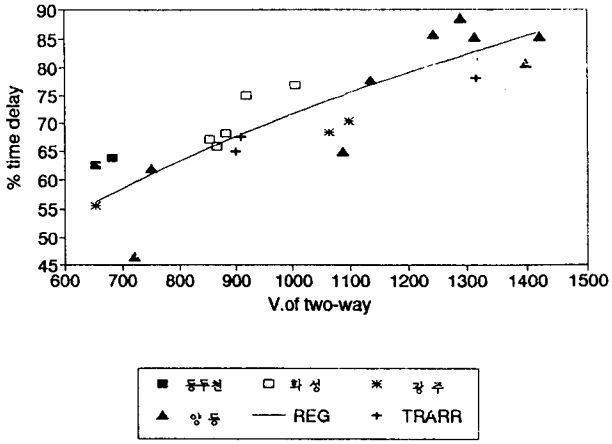
교통량과 추월횟수와의 관계는 두가지로 나누어 고려해야 할 것이다. 하나는 추월을 원하게 되는 상황발생 또다른 하나는 추월이 어려워 지는 제약적인 상황이다. 즉. 교통량이 많아지면 저속차량도 동시에 많아지게 되고 이에 따른 차량군의 수가 많아지기 때문에 운전자의 추월수요는 증가하게 된다. 반면, 교통량이 많아지면 대향 방향 교통량도 증가하며 비록 반대방향 교통량이 적더라도 주방향 교통량은 많아졌기 때문에 추월하기가 어려워진다.

따라서 교통량과 추월횟수와의 관계는 두요인 중 어느 것이 더 크게 작용하는가에 따라 달라지며 이의 정확한 분석은 매우 복잡하고 도로의 구

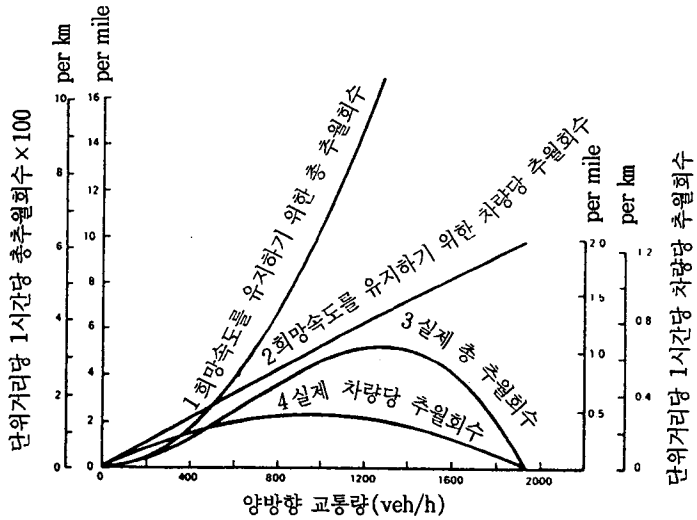
조적인 특성에 크게 영향을 받게되며 〈그림 4〉는 호주의 John R. Lean의 분석결과이다.

본 연구에서의 현장결과도 이러한 개념적인 가정과 일치하고 있는 바 식(8)은 교통량과 추월회수간의 관계를 나타내고 있다.

$$Y = 0.025 - 1.12\times10^{-7}\ X^3 - 2.314\times10^{-4}\ X^2 - 0.08X \quad (R^2=0.87) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$



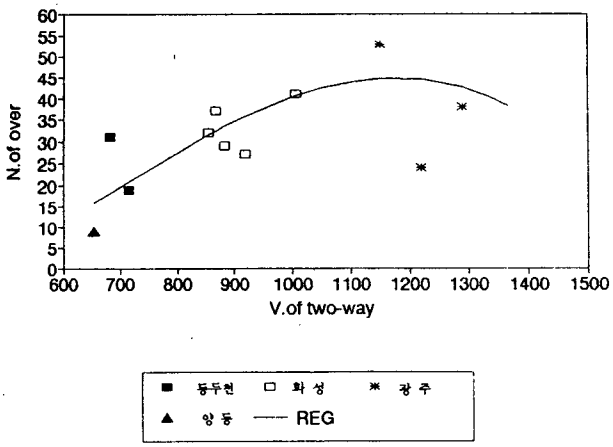
〈그림 3〉 교통량과 지체시간 백분율의 현장조사 결과



〈그림 4〉 교통량과 추월현상간의 외국 예

한편 〈그림 5〉는 현장조사 결과에서 나타난 교통량과 추월회수간의 관계이다.

단, TRARR MODEL의 결과는 〈그림 5〉에 나타나지 않는데 그 이유는 TRARR MODEL의 경우 주어진 조건에서는 추월이 발생하지 않기 때문이다.

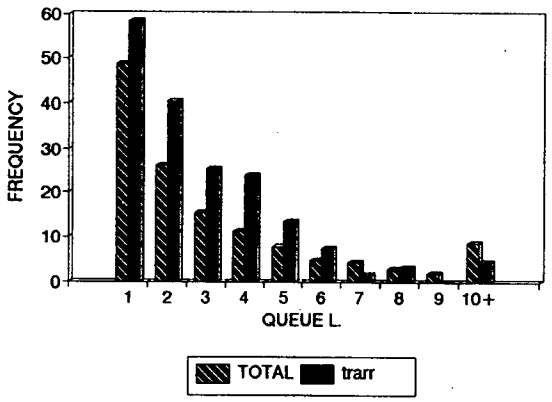


〈그림 5〉 교통량과 추월회수 간의 현장조사 결과

(5) 차량군 크기의 분포

차량군의 크기가 어떻게 분포하며 또한 그 결과가 TRARR Model에서는 어떻게 나타나는지를 알아보는 것은 차량군의 특성이 2차선 도로의 교통류 운영상태를 지배한다는 점에서 상당히 중요한 사항이다.

〈그림 6〉은 그 결과를 보여주고 있는데 우리가 찾을 수 있는 경향은 TRARR Model이 거의 모든 경우의 차량군크기에 대해 현장조사 결과보다 큰 값을 나타낸다는 것이다. 특히 이러한 경향은 교통량이 적을 때 심하게 나타나고 있는 바 이는 우리나라 운전자들이 추월을 무리하게 강행하는 것에서 기인하는 것으로 분석되며 동시에 차량군의 정의에서 차두간격이 4초 이하인 것으로 규정했으나 외국의 경우 이 값이 대체로 5~6초에 해당하는 데서 오는 차이라고도 볼 수 있다.



〈그림 6〉 차량군 크기의 분포

이상에서 살펴본 대로 TRARR Model과 우리나라 2차선도로의 교통류는 대체로 잘 부합하고 있다. 따라서 양보차선의 설치시 발생하게 될 효과분석과정에서 TRARR Model은 현장조사를 대신하여 사용될 수 있을 것이다.

Ⅳ. 양보차선의 효과분석

1. 효과분석을 위한 Experimental Design 및 분석의 조건

양보차선의 설치효과 분석에서 고려해 볼 수 있는 것으로는 도로조건, 교통량, 트럭혼입율의 세가지로 크게 나눌 수 있으며 도로용량을 증진시키는 대안으로 양보차선 설치이외에 설계속도의 개선과 도로의 확장을 고려할 수 있다. 이러한 대안의 효과분석을 위해 실험설계의 도로조건을 기존 2차선, 양보차선 설치, 설계속도를 70km/h에서 100km/h로 개선, 4차선도로로 확장하는 4가지로 하는 한편 교통량은 3개의 조건, 트럭 혼입율은 2개의 조건으로 한다. 따라서 〈표 5〉에 의한 TRARR Model의 Simulation 시행회수는 4×3×2=24회에 해당하며 이들 조합에 대한 검토를 통해서 양보차선의 설치가 나타내는 효과분석을 시도한다.

〈표 5〉 양보차선 설치 효과분석을 위한 실험설계 조건

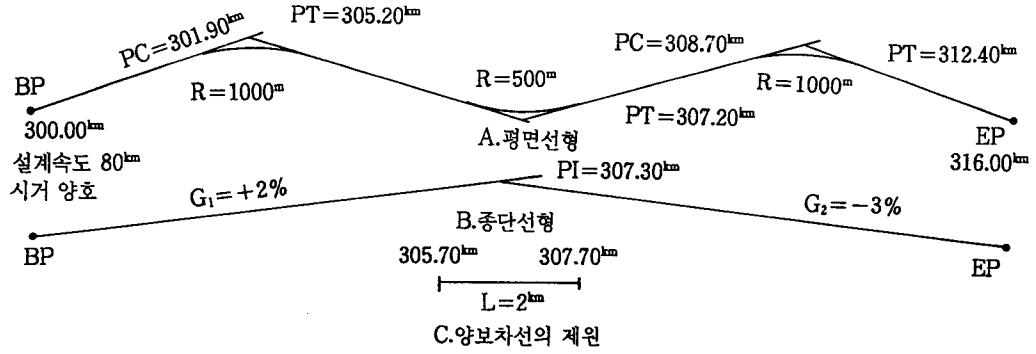
도로 조건	1. 기존 2차선도로 2. 양보차선의 설치 3. 설계속도를 100km/h로 개선 4. 4차선 도로로의 확장
교통량 조건	1. 양방향 500 대/시 2. 양방향 1000 대/시 3. 양방향 2000 대/시
트럭혼입율 조건	1. 20% 트럭 2. 40% 트럭

도로조건 2. 에서의 양보차선 설치는 대상도로구간의 중앙부에 설치하는 것으로 하며 방향별 교통량비는 50/50으로 생각했다.

위 24번의 시행시 가정한 사항은 다음과 같다.

- 2차선 도로에서 차량군이라 함은 인접차량과의 차두간격이 4초 이하인 상태로 주행하는 차량을 말한다.
- TRARR Simulation시 동일한 도로특성을 갖는 길이는 160m로 한다.
- 차량의 구성은 승용차와 트럭의 2가지 종류로만 국한한다.
- 트럭의 혼입율은 현장조사결과를 반영하여 28%로 한다.
- 기타 simulation시 필요한 입력자료는 일반적인 특성에 따르며 차량특성은 원래 이 software를 개발할때 사용했던 자료를 그대로 사용한다.

다음의 〈그림 7〉은 양보차선이 설치되기 이전 상태인 기존 2 차선도로의 개략적 특성을 나타내고 있다.



〈그림 7〉 양보차선 설치에 따른 효과분석을 위한 대상 도로구간의 조건

2. TRARR Model의 Simulation 결과 및 분석

(1) TRARR Model Simulation의 결과

다음의 〈표 8〉은 각 simulation 실험설계에 따른 결과를 보여주고 있다.

〈표 6〉 Simulation 실험설계에 따른 computer 수행결과

도로조건	교통량범위	트럭혼입율	통행속도 (Km/h)	지체시간 백분율(%)	평균차량군 길이(대)
기존 2차선도로	양방향 500대/시	20% 트럭	67.0	62.3	3.08
		40% 트럭	65.8	59.9	3.31
	1000대/시	20% 트럭	65.7	72.3	3.50
		40% 트럭	64.1	76.2	4.62
	1500대/시	20% 트럭	61.8	86.7	6.63
		40% 트럭	61.7	86.8	7.64
양보차선 설치	양방향 500대/시	20% 트럭	69.8	45.2	2.05
		40% 트럭	68.5	38.8	1.86
	1000대/시	20% 트럭	68.6	59.1	2.95
		40% 트럭	67.1	62.8	3.23
	1500대/시	20% 트럭	64.7	74.2	3.39
		40% 트럭	64.8	73.6	3.81
설계속도를 100 Km/h로 증 진	양방향 500대/시	20% 트럭	86.6	54.7	2.60
		40% 트럭	85.4	50.2	2.29
	1000대/시	20% 트럭	85.4	67.3	3.55
		40% 트럭	84.1	66.8	3.84
	1500대/시	20% 트럭	82.9	79.0	5.27
		40% 트럭	82.1	78.9	6.43
4차선도로로 확 장	양방향 500대/시	20% 트럭	73.6	10.8	1.27
		40% 트럭	71.8	12.1	1.30
	1000대/시	20% 트럭	75.9	18.2	1.60
		40% 트럭	74.4	17.7	1.50
	1500대/시	20% 트럭	75.9	30.1	1.94
		40% 트럭	74.9	27.3	1.92

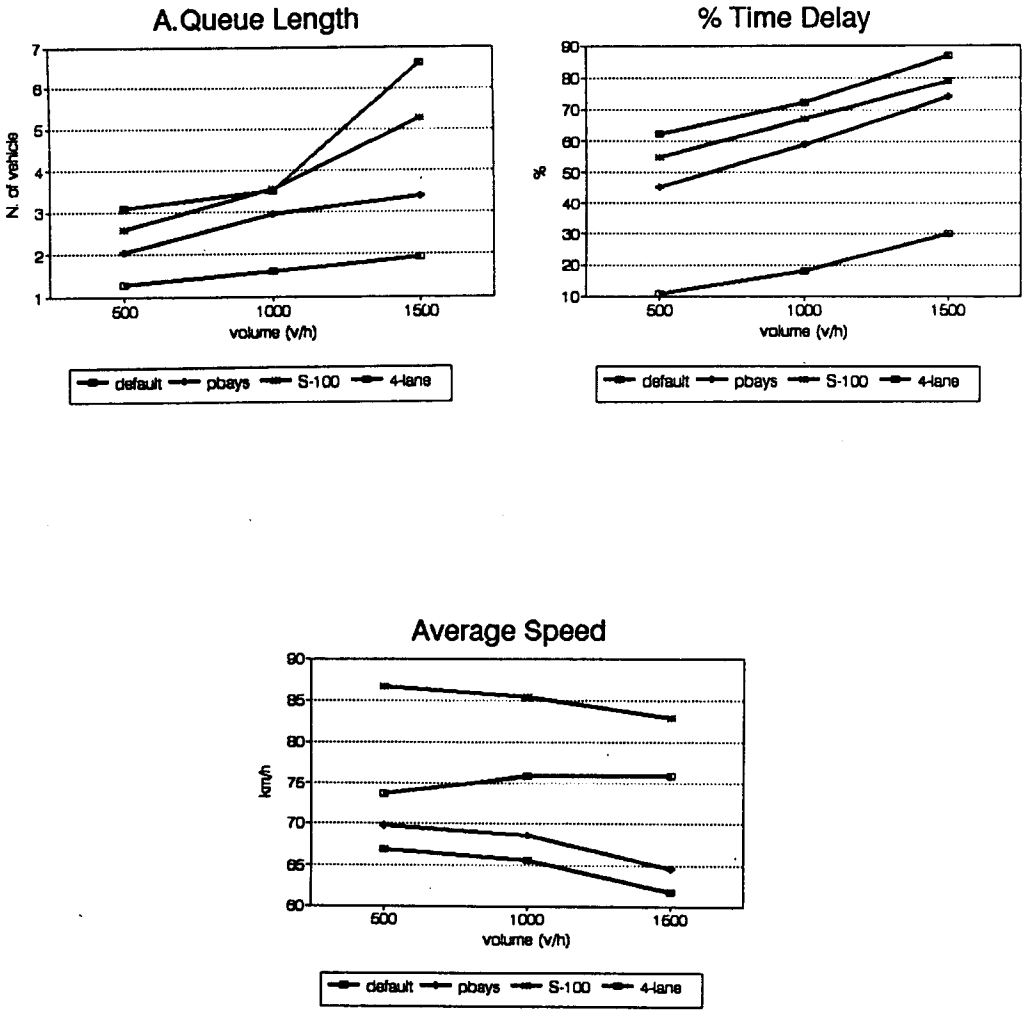
(2) Simulation 결과의 분석

전 절에서 나타난 결과를 2차선도로의 교통운영에 대한 주요 변수인 통행속도, 지체시간 백분율 및 평균 차량군 길이에 대해 고찰한 바 다음의 결과를 얻는다.

지체시간 백분율과 평균 차량군 길이를 살펴보면 양보차선 설치결과 지체시간은 약 20%, 차량군 길이는 약 33%가 줄어들 것으로 예상된다. 이는 차량군 소멸과 적절한 주행속도 유지 그리고 교통량 증가에 양보차선이 큰 효과를 보인다

는 것을 나타내는 것이다.

평균 통행속도의 경우 양보차선이 큰 효과를 보이지 않는 것은 저속 차량의 유출, 합류시 교통류의 일정부분 차량들이 감속운행해야 하기 때문인 것으로 보인다.



〈그림 8〉 양보차선 설치에 따른 효과의 분석결과

이 세가지 효과척도로 비교할 때 4차선도로로 확장하는 것이 가장 큰 효과가 있으리라 기대되지만 앞서 언급한 바와 같이 재원부족이라는 상황을 고려할 때 양보차선 설치가 적은 비용으로 큰 효과를 얻을 수 있는 현실적인 대안이라 판단된다.

V. 결론

제한된 예산을 사용하여 2차선 도로의 교통류 개선을 이루려 할 때 양보차선의 설치는 매우 효과적인 대안이다. 본 연구의 결과 우리나라의 2차선 도로에서 교통류 상태를 묘사하기 위해서는 수식적 모형보다는 computer simulation model이 효과적이며 본 연구에서는 호주에서 개발된 TRARR Model을 사용한 바 현장조사 결과를 비교적 양호하게 설명하는 것으로 나타났다.

현장조사 결과에 따르면 TRARR Model은 실제상황을 대체적으로 잘 묘사하며 다만 평균주행속도의 예측과 차량군 크기의 분포에서 다소 차이를 보이고 있다. 이는 TRARR Model에서 차량군을 정의할 때 차두간격을 6초로 생각한 것에 비해 우리나라 운전자들은 그 값이 상당히 작기 때문인 것으로 분석되었다. 양보차선 설치에 따른 효과분석 과정에서는 기존도로, 양보차선 설치, 설계속도 증진, 4차선 도로로의 확장을 틀로 하여 각 조건에서 교통량을 500, 1000, 1500 대/시와 트럭혼입율을 20, 40%로 해서 총 24회의 computer simulation을 수행했으며 그 결과 양보차선 설치가 4차선으로의 확장을 제외하고는 가장 효과적인 대안임을 알 수 있다.

〈이 논문은 1992년도 교육부 지원 한국학술진흥재단 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음〉

참 고 문 헌

1) John R. McLean, "TWO-LANE HIGHWAY TRAFFIC OPERATIONS", Gordon and Breach Science Publishers, 1989
2) Christopher J. Hoban, "Evaluation Traffic Capacity Improvements to Road Geometry", World Bank Technical Number 74
3) Normann, O.K. and Walker, W.P, "Highway capacity : Practical Application of Research", Public Roads, 1949
4) 최재성, 최병국, "양보차선의 설계이론", 대한교통학회지 제7권 제2호(통권 11호), 1989. 12.
5) Sam Yagar, "Prediting Speeds for Rural 2-Lanes Highways", Transportation Research-A, Vol 18A, 1984
6) Abishai Polus, et al., "Impacts of Passing-Climbing Lanes on Traffic Flow on Upgrades", Transportation Research-A, Vol 21A, 1987
7) Transportation Research Record 1303, "Geometric Design Considerations 1991" TRB