

도로다이어트를 이용한 자전거도로 설치가 자동차흐름에 미치는 영향 : 부산시 남구 자전거도로 시범사업을 중심으로

신강원^{*}, 김종진¹
¹경성대학교 도시공학과

The Impact of Bike Lane Implementation via Road Diet Treatment on Automobile Traffic Flow: Bike Lane Demonstration Program in Nam-Gu, Busan

Kangwon Shin^{*} and Jongjin Kim¹

¹Department of Urban Design and Development Engineering, Kyungung University

요약 본 연구는 도로 다이어트(차로폭 축소) 기법을 적용해 자전거전용도로를 확보한 부산시 남구 자전거도로 시범사업을 중심으로 자전거도로 설치가 자동차흐름에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과 비첨두시간 동안 자동차의 평균지체시간 및 평균정지횟수는 자전거전용도로 설치 후 다소 증가하였으나 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않은 반면, 첨두시간 동안 자동차의 평균지체시간 및 평균정지횟수는 자전거전용도로 설치 후 유의한 증가를 나타냈다($\alpha=0.1$). 첨두시간 분석결과는 교통량이 많을 경우 도로 다이어트가 차로혼잡의 가능성을 높일 수 있다는 기존 국외 연구 결과와 일치하며, 비첨두시간 분석결과는 여유용량으로 인해 자동차의 흐름이 도로 다이어트에 의해 큰 영향을 받지 않는 사실을 반영한 결과로 판단된다.

Abstract This study investigates the effect on automobile traffic flow of the bike lane configuration via the road diet implemented in Nam-Gu, Busan using the microscopic simulator TransModeler. The results show that the increases in average delay time and stopped time experienced by automobile vehicles after implementing the road diet during the peak period are significant, but those during the non-peak period are insignificant at $\alpha=0.1$. The results in peak period are consistent with the results of the past studies, which concluded that a road diet can contribute to deteriorating the level of service when the automobile traffic flow rate on the existing roadway is relatively high. For the non-peak period, the analysis results may reflect the fact that the automobile traffic flow is not severely affected by the road diet due to the reserved capacity.

Key Words : Road diet, Bike lane, Traffic simulation, Delay

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

자전거 친화도시 조성을 목표로 중앙정부 및 많은 지자체들이 자전거 이용 활성화를 시도하고 있다. 특히 기존 도로의 균살을 제거해 이를 자전거전용도로를 확보하는데 사용하는 소위 “도로 다이어트(Road Diet)”기법이 최근 널리 사용되고 있다. 도로 다이어트기법을 이용한

자전거 전용도로 확보는 기존의 자동차 소통중심의 교통 체계를 비동력 저탄소 녹색교통수단인 자전거 중심으로 전환하고자 하는 새로운 교통정책의 패러다임을 반영한다 할 수 있다. 그러나 자전거도로에 대한 기존 국내 연구는 설계 기준과 이용만족도에 대한 연구가 주를 이루고 있어 도로 다이어트기법을 적용한 자전거도로 확보(특히 차로폭을 축소하여 자전거 도로 확보)가 도로의 기존 통행권을 가진 자동차의 흐름에 미치는 영향분석은

본 논문은 2010학년도 경성대학교 학술지원연구비에 의하여 연구되었음.

*교신저자 : 신강원 (kangwon@ks.ac.kr)

접수일 10년 09월 27일

수정일 10년 10월 05일

게재확정일 10년 10월 15일

미비한 실정이다. 이에 본 연구는 도로 다이어트기법(차로폭 축소)을 적용해 자전거전용도로를 확보한 부산시 남구 자전거도로 시범사업을 중심으로 자전거도로 설치가 자동차흐름에 미치는 영향을 미시적 교통시뮬레이션 툴인 TransModeler를 이용하여 다각도로 분석하여 도로 다이어트기법을 적용한 자전거도로의 효율적 운영을 위한 시사점을 제시하였다.

1.2 국내외 선행연구 동향

김민보 외 2인 [1]은 도로 다이어트기법을 적용해 설치된 서울시 망원로 자전거도로(2008년 6월 준공)의 시사점을 주민설문조사를 통해 도출하였다. 분석결과 “보행자와의 상충”, “자전거도로의 좁은 유효폭” 등이 자전거도로 이용 시 불편한 점으로 도출되었다. 차량운전자의 만족도 또한 설문조사를 통해 분석되었으나 설치구간의 생활가로 특성상 차량통행자의 만족도는 약 49%로 다소 높게 나타났다. 백남철 [2]은 도시부 자전거 전용도로 설계 시 고려사항으로 “자전거도로의 편재성”, “차량진입을 방지할 수 있는 자전거전용도로”, “적절한 자전거도로의 유효폭”, “자전거도로의 콘크리트 포장”을 제시하고 있다.

Kueper [3]는 미국 뉴저지주의 휴양도시인 Ocean시의 양방향 4차로 West Avenue에 설치된 도로 다이어트기법(중앙분리대 제거)을 이용한 자전거전용도로의 설치효과를 분석하였다. 관측결과 자전거 도로 설치 후 West Avenue 통행 차량의 85%ile 주행속도는 2mph (3.22kph) 감소된 것으로 분석되었으며, 신호교차로에서의 지체시간은 약 3초 증가한 것으로 나타났다. Kueper는 이러한 결과가 도로 다이어트로 인해 차량의 여유용량이 50%가량 감소했기 때문인 것으로 분석하였다. Huang et al. [4]은 ADT가 약 20,000대/일 이상인 도로에 도로 다이어트기법을 적용했을 경우 차로혼잡의 가능성이 높아짐을 보였고, Knapp와 Giese [5]은 시뮬레이션을 이용해 교통량이 약 17,500대/일 이상인 4차로 도로를 도로 다이어트를 적용해 양방향 좌회전 차로를 설치한 후 3차로로 줄였을 때 차로군의 서비스 수준이 감소될 수 있음을 보였다. 이처럼 도로 다이어트가 차량흐름에 미치는 영향은 클 수 있다는 사실이 선행 국외 연구에서는 밝혀진 바 있으나, 이에 대한 국내연구는 전무한 실정이다.

2. 자전거도로 시범사업 개요

본 연구에서 분석된 자전거도로 시범사업은 2009년 5월 부산광역시 남구 “용소삼거리”부터 “남천메가마트사

거리”간 1.95km구간에 수행·시범운영 중이며, 이는 자전거전용도로 신설구간, 기개설구간, 자전거겸용도로 신설구간으로 구성되어 있다(그림 1 참조). 이 중 자전거전용도로는 “용소삼거리”에서 “LG 메트로시티사거리”간 1.2km에 신설 되었으며, 총 2.5m 폭의 자전거 전용도로는 기존 4.2m~3.0m의 차로폭을 3.5m~2.75m로 줄이는 이른바 “도로 다이어트”기법을 이용해 확보되었다.

자전거전용도로의 폭은 전 구간에서 “1.25m/방향”으로 자전거이용시설의 구조·시설 기준에 관한 규칙 [6]에서 제시된 최소폭원인 1.1m보다 크나 자전거전용도로 확보를 위해 차로폭을 2.75m까지 줄여 해당 차량의 포화교통류율이 감소될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 도로 다이어트를 이용한 자전거전용도로 설치로 인해 버스정류장 배이가 제거되었으며, 이는 버스 정차 시 불가피한 후미차량의 정차로 인해 차량의 평균정지횟수와 평균정지시간을 증가할 수 있는 요인으로 판단된다(분석 구간 내 모든 보도측 차로는 일반 혼합교통류 차로로 운영).

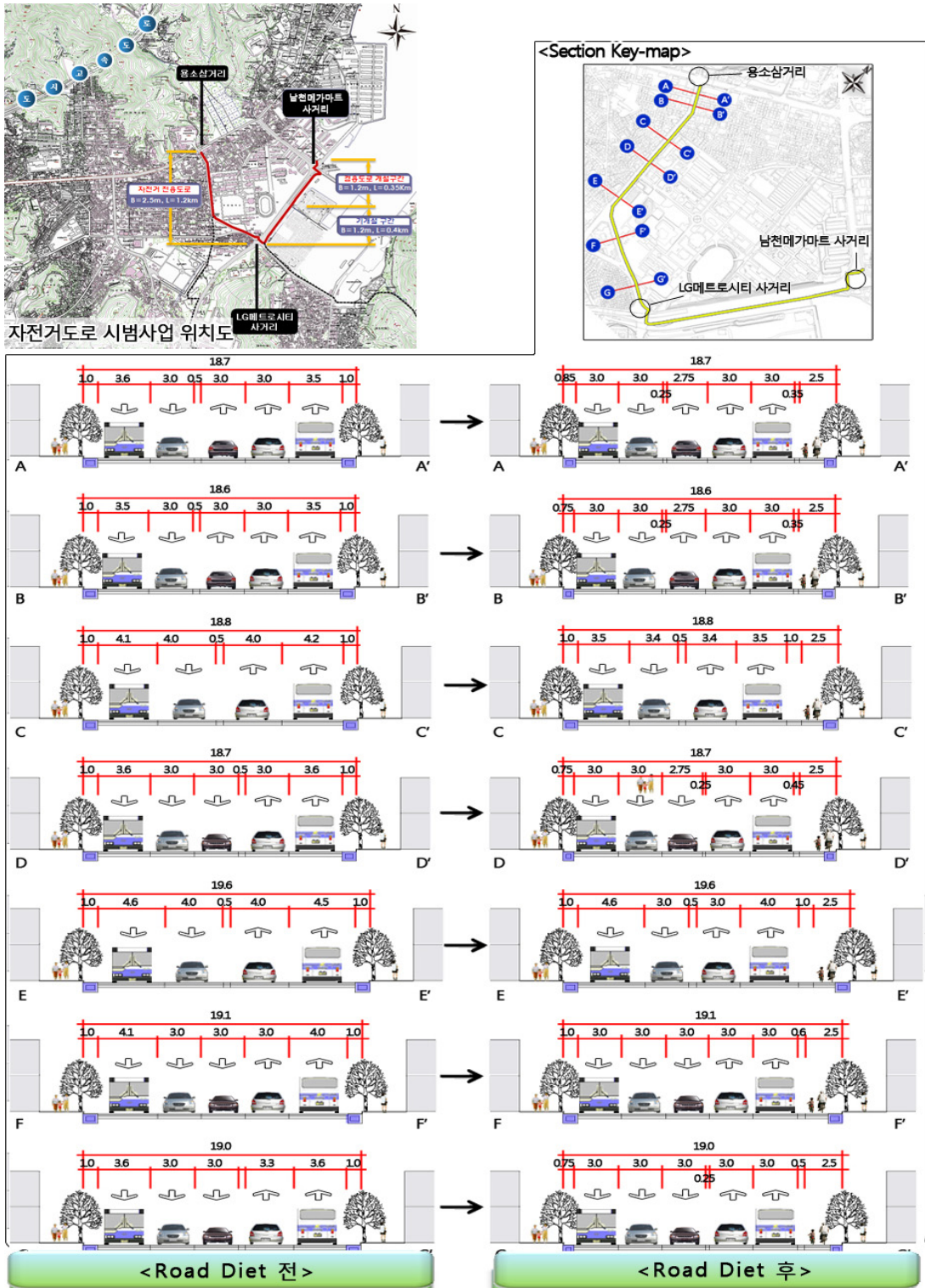
본 자전거도로 시범사업은 일반 교통류로부터 자전거를 분리하여 통행하도록 하여 자전거 이용 활성화를 유도한다는 측면에서는 바람직한 접근으로 판단된다. 그러나 자전거전용도로 설치를 위한 차로폭 감소로 인해 야기되는 다양한 문제점들을 적절하게 고려하지 못해 이에 대한 분석이 요구되며, 시뮬레이션 분석과정 및 결과는 다음 장에 제시하였다.

3. TransModeler 입력자료

본 연구에서는 도로 다이어트를 이용한 자전거도로 설치가 차량흐름에 미치는 영향을 분석하기 위해 미시적 교통 시뮬레이터인 TransModeler를 사용하였다.

TransModeler는 각 교차로별 신호현시, 옵셋, 차로수, 차로폭, 제한속도와 같은 교통네트워크 자료와 기종점자료로 대별되는 교차로별 교통수요데이터를 이용하여 차량통행의 흐름을 모사하며, 통행차량의 통행시간, 정지횟수, 정지시간, 링크의 평균통행속도 등의 결과물을 산출한다. 본 연구에서 사용된 시뮬레이터인 TransModeler는 도로의 공급변수의 변화를 반영한 차량통행의 흐름을 모사할 수 있다는 점에서 선정되었다(TransModeler에 대한 보다 자세한 설명은 Caliper [7] 참조).

TransModeler의 주요 입력 자료인 각 교차로별 교통수요데이터는 표본조사를 통해 관측된 분석지역 내 각 교차로별 교통량 자료(부산도시공사, 2009)를 이용하여 현실을 반영하였다. 차량통행의 집중도에 따른 분석을 수행하기 위해 오전 첨두시간(07:00~08:00)과 비첨두시간



[그림 1] 자전거전용도로로 시범사업 전·후 차로폭 비교 (단위 : m)

(12:00~13:00) 동안 조사된 교통량 자료를 추출하여 사용하였다. 또한 버스 정차대에서의 노변마찰을 반영하기 위해 분석구간을 운행하는 버스의 운행 빈도 및 정차 시간을 조사하여 입력하였으며, 이는 TransModeler의 Route 기능을 이용해 반영되었다. 분석구간은 자전거전용도로를 포함하는 구간으로 구성되어 있으며, 각 링크의 속성값은 국가교통DB의 값에 실제 차로폭, 제한속도, 신호현시 등의 자료를 반영하여 수정하였다.

한편 자전거도로 설치 전 교통망자료, 신호자료, 교통 수요자료를 입력자료로 한 시뮬레이션 결과를 관측자료와 비교·분석하여 모형을 정산(calibration)하였다. 구체적으로 시뮬레이션을 통해 획득한 분석교차로 내 6개 지점의 평균속도와 24개 접근로의 지체시간을 관측자료 [8]와 비교하였으며, 이를 위해 시뮬레이션 결과 (M)과 관측자료 (C)를 이용한 GEH 통계치를 이용하였다 (식 1).

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}, \quad (1)$$

분석결과 평균속도의 평균 GEH값은 1.94, 지체시간의 평균 GEH값은 4.01로 그 값이 5보다 작아 시뮬레이션 모형이 현실을 적절하게 반영한다고 할 수 있다 [9].

4. 분석결과

4.1 통행속도 및 지체시간

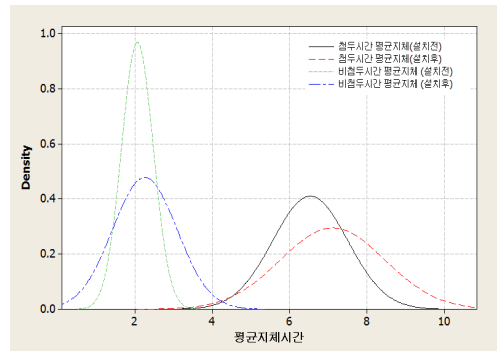
시뮬레이션 결과물의 분포를 얻기 위해 각기 다른 랜덤시드를 가지는 총 120회의 시뮬레이션이 수행되었으며 (첨두, 비첨두 사전·사후 시나리오별 30회), 각 시나리오별 시뮬레이션 수행시간인 70분 중 처음 10분은 Warming-up 시간으로 가정하여 분석에서 제외하였다. 각 시뮬레이션 결과를 비교분석하기 위한 효과적으로 “평균통행시간”, “평균지체시간”, “평균정지시간”, “평균정지횟수”를 이용하였다. 시뮬레이션 결과를 살펴보면 비첨두시간 동안의 평균지체시간, 평균정지시간, 평균정지횟수와 같은 효과적도의 값은 첨두시간 동안의 값들에 비해 작고 자전거전용도로 설치 후 평균지체시간, 평균정지시간, 평균정지횟수는 다소 증가한 것으로 나타났다 (표 1 참조).

자전거전용도로 설치 전·후의 효과적도의 변화를 통계적으로 분석하기 위해 이분산을 고려한 T-test를 수행하였으며, 그 결과는 표 1과 같다. 분석결과 첨두시간 동안 도로 다이어트 기법을 적용한 자전거 전용도로 설치

에 따른 효과적도의 변화는 유의한 것으로 나타났다 (alpha=0.1). 구체적으로 살펴보면 비첨두시간 동안 자동차의 평균지체시간 및 평균정지횟수는 자전거전용도로 설치 후 다소 증가하였으나 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않은 반면, 첨두시간 동안 자동차의 평균지체시간 및 평균정지횟수는 자전거전용도로 설치 후 유의한 증가를 나타냈다 (그림 2 참조). 한편 첨두시 자동차의 평균통행속도는 전술한 효과적도들의 증가와 달리 자전거전용도로 설치 후 유의한 감소를 나타냈다.

【표 1】 자전거도로 설치 전후 효과적도 변화

분석 시간	효과적도	설치전	설치후	차이	p-value
비첨두시간	평균통행속도 (kph/대)	17.84	17.26	0.58	0.139
	평균지체시간 (초/대)	2.06	2.25	-0.19	0.266
	평균정지시간 (초/대)	1.28	1.42	-0.14	0.113
	평균정지횟수 (회/대)	2.14	2.19	-0.04	0.566
첨두시간	평균통행속도 (kph/대)	9.24	8.86	0.38	0.074
	평균지체시간 (초/대)	6.54	7.11	-0.58	0.063
	평균정지시간 (초/대)	3.64	3.92	-0.28	0.001
	평균정지횟수 (회/대)	4.79	5.05	-0.26	0.060



【그림 2】 자전거도로 설치 전후 평균지체시간 변화

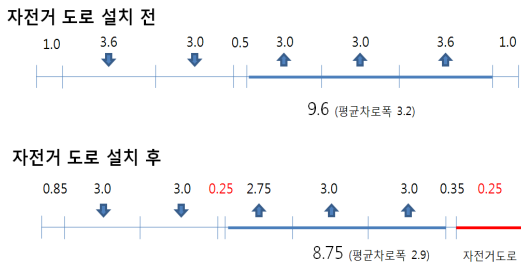
이러한 첨두시 효과적도의 유의한 변화는 교통량이 많은 경우 도로 다이어트가 차로혼잡의 가능성을 높일 수 있다는 기존 국외 연구 결과와 일치하며, 비첨두시간 분석결과는 여유용량으로 인해 자동차의 흐름이 도로 다이

어트 결과에 큰 영향을 받지 않는 사실을 반영한 결과로 판단된다.

4.2 서비스 수준

전 절에서는 도로 다이어트를 통한 자전거 전용도로 설치의 분석 시스템 전반에 대한 효과를 분석하여 제시하였으며, 그 결과 교통량이 많을 경우 (첨두시) 도로 다이어트는 차량의 흐름을 악화시킬 수 있어 적용 시 이에 대한 면밀한 검토가 선행되어야 함을 밝혔다. 이러한 결과는 도로 다이어트의 의한 “시스템 내 신호교차로의 서비스 수준 저하”에 기인할 수 있는 바, 본 절에서는 도로 다이어트를 통한 자전거 전용도로 설치 시 차량의 흐름에 대한 영향이 가장 클 것으로 관측된 용소삼거리 (그림 1 참조) NB 접근로의 도로 다이어트 전·후 운영 상태를 비교분석하였다 (분석접근로의 운영상태 분석은 대한교통학회 2001년 도로용량편람의 신호교차로 분석방법 [10] 준용).

도로 다이어트를 통한 자전거 전용도로 설치 전 운영 상태 분석을 위해서는 부산도시공사 [8]에서 조사된 해당 접근로의 첨두시간 교통량, 기하구조 (차선수, 차로폭, 측방여유폭 등), 신호조건을 이용하였으며, 자전거 전용도로 설치 후 운영상태 분석을 위해서는 전술한 교통량, 기하구조, 신호조건을 적용하되 도로 다이어트 시행 후의 포화교통류율을 보정하기 위해 그림 3에 제시된 자전거 전용도로 설치 후 용소삼거리 NB 접근로의 차로폭을 사용하였다.



[그림 3] 자전거도로 설치 전후 차로폭 (단위 : m)

분석 접근로의 차로군은 첨두시 직좌 차로군과 우회전 차로군으로 분류되었으며, 직좌 차로군의 차로폭 감소는 포화교통류율을 약 6% 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다 (차로폭 보정계수는 1.00에서 0.94로 감소). 이러한 차로폭에 의한 포화교통류율의 감소효과를 반영했을 때 분석 접근로의 직좌 차로군의 포화도 (V/C)는 0.99에서 1.05로 증가했으며, 그 결과 첨두시 서비스 수준은 “F”에

서 ”FF“로 악화되는 것으로 분석되었다. 이러한 서비스 수준 분석결과는 전절의 시뮬레이션 분석결과 (e.g. 첨두시 평균지체시간의 유의한 증가)를 뒷받침하는 근거라 할 수 있다.

4.3 대기오염물질 및 CO₂ 배출량

본 절에서는 도로 다이어트를 통한 자전거도로 설치에 따른 차량의 주요 대기오염물질 및 CO₂의 배출량 변화를 분석·제시하였다. 도로 다이어트 시행 전·후의 대기오염물질 및 CO₂ 배출량 산정은 한국개발연구원의 “도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판) [11]”에서 제시된 배출계수와 시뮬레이션 결과 (링크별 교통량, 평균통행속도, 링크연장)를 사용하였다.

통행속도 및 지체시간 분석과 동일하게 자전거전용도로 설치 전·후의 대기오염물질 및 CO₂ 배출량변화의 통계적 유의성을 검증하기 위해 이분산 T-test를 수행하였다. 표 2에 제시된 유의성검정 결과를 살펴보면 도로 다이어트 시행 후 대기오염물질 및 CO₂ 배출량은 다소 증가한 것으로 나타났으나 비첨두시 증가는 통계적 유의성을 갖지 못하는 것으로 나타났다 ($\alpha=0.1$). 그러나 첨두시간 동안에는 도로 다이어트 시행에 따른 배출량의 증가가 유의한 것으로 나타났다. 이러한 첨두시 대기오염물질 및 CO₂ 배출량의 유의한 증가는 도로 다이어트로 인한 자전거전용도로 설치로 인한 첨두시 지체시간 및 정지시간의 증가에 기인한다.

[표 2] 자전거도로 설치 전후 대기오염물질 배출량 변화

분석 시간	오염물질	설치 전 (g/대)	설치 후 (g/대)	차이 (g/대)	p-value
비첨두 시간	CO	9.56	9.68	-0.12	0.189
	NO _x	3.51	3.55	-0.04	0.164
	HC	1.20	1.22	-0.02	0.127
	CO ₂	1439.64	1451.43	-11.8	0.291
첨두시간	CO	13.53	14.05	-0.52	<0.001
	NO _x	4.39	4.50	-0.11	0.001
	HC	1.90	2.00	-0.10	<0.001
	CO ₂	1668.91	1710.05	-41.1	0.001

5. 결론 및 향후과제

본 연구는 도로 다이어트 기법을 적용해 확보된 자전거 전용도로가 자동차 이용 차로의 혼잡 가능성을 높일

수 있음을 보였다. 특히 본 연구는 첨두시간 동안의 평균 지체시간, 평균정지시간, 평균 정지횟수와 같은 효과적도들이 도로 다이어트로 인해 유의하게 증가하는 것을 보였는데, 이는 교통량이 많을 경우 도로 다이어트가 도로의 서비스수준을 저하시킬 수 있다는 기존 국외 연구 결과와 일치 한다 (즉 다이어트가 필요하지 않은 도로에 도로 다이어트 기법을 적용했을 경우 도로의 주 이용자인 자동차의 흐름에 유의한 영향을 미칠 수 있음). 또한 첨두시 차량의 평균지체시간, 평균정지시간, 평균정지횟수의 증가는 대기오염물질 및 CO₂ 배출량을 증가시켜 본 시범사업 시행은 차량의 흐름 뿐 아니라 교통환경적 측면에서도 악영향을 미칠 수 있음을 나타냈다

국내에서 도로 다이어트 기법을 적용한 자전거전용도로 설치 붐이 일고 있다. 그러나 도로의 주 이용자인 자동차의 흐름에 미치는 영향을 면밀하게 고려하지 않은 상태에서 설치되는 자전거 전용도로는 통행자들의 외면을 받을 수 있을 것이다. 현재 자전거도로 이용시설의 구조·시설기준에 관한 규칙은 자전거도로의 설계에 대한 기준만 제시할 뿐 도로 다이어트를 이용해 설치할 수 있는 자전거 교통관련시설에 대한 세부 설계기준은 미비한 실정이다. 이에 대한 연구가 수반되어야만 소위 "Bike-friendly Community"를 구축할 수 있을 것으로 판단되며, 도로 다이어트는 말 그대로 도로의 균살을 제거했을 때 그 효과가 극대화될 수 있을 것이다.

본 연구는 자동차 교통량이 많은 경우 Road Diet를 적용한 자전거 전용도로 확보사업이 비효율적인 자전거 이용 활성화 대안이 될 수 있다는 사실을 제시했다는 점에서 선행 국내연구들과 차별성을 갖는다고 할 수 있으나, 자전거 전용도로 설치로 인한 자전거통행의 유발수요를 고려한 효과분석을 수행하지 못한 아쉬움이 있다. 물론 자전거 전용도로 설치로 인해 자전거 통행은 증가될 수 있을 것으로 기대되나, 현재 사업구간 내 자전거 전용도로의 운영 상태는 불법 주정차 차량, 보행자 점유 등으로 그리 낙관적이지 않다. 따라서 이에 대한 대시민 홍보 및 단속도 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 도로 다이어트로 발생할 수 있는 교통사고 변화 분석에 대한 향후 보완연구도 필요할 것이다.

본 연구는 2009년도 한국도로학회 추계학술대회 발표 논문을 수정·보완한 것입니다.

참고문헌

[1] 김민보, 안현찬, 박소현, 주민설문평가에 의한 망원로

자전거도로의 시사점 : 기성시까지 자전거도로 디자인의 측면에서, 한국도시설계학회 추계학술대회 발표 논문집, pp. 165-174, 2009.

- [2] 백남철, 도시부 자전거전용도로 설계 시 고려사항, 도로정책 Brief 제 13호, 국토연구원 도로정책연구센터, pp. 5-7. 2008.
- [3] Kueper, D. A. Road Diet Treatment in Ocean City, NJ, USA, ITE Journal, Vol. 77, No. 2, pp. 18-22, 2007.
- [4] Huang, H.F., Stewart, J.R., Zegeer, C.V., Evaluation of Lane Reduction 'Road Diet' Measures and Their Effects on Crashes and Injuries, ITE Journal, Vol. 75, No. 5, pp. 37-42, 2005.
- [5] Knapp, K.K. and K.L. Giese. Guidelines for the Conversion of Urban Four-Lane Undivided Roadways to Three-Lane Two-Way Left-Turn Lane Facilities. Center for Transportation Research and Education Iowa State University. 2001.
- [6] 행정자치부령 제 329호, 자전거이용시설의 구조·시설기준에 관한 규칙. 2006.
- [7] Caliper, TransModeler User's Manual. 2006.
- [8] 부산도시공사, 부산대연 혁신도시개발 사업에 따른 교통영향평가서. 2008.
- [9] Dowling, R., Holland, J., Huang, A.. Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software. California DOT. 2002.
- [10] 대한교통학회, 도로용량편람. 2001.
- [11] 한국개발연구원, 도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판). 2009.

신 강 원(Kangwon Shin)

[정회원]



- 2003년 2월 : 아주대학교 건설교통학과 (교통공학석사)
- 2008년 12월 : 애리조나 주립대 토목환경공학과 (교통공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 경성대학교 도시공학과 전임강사

<관심분야>

TOD 교통계획, 교통계량분석, 교통환경정책

김 종 진(Joingjin Kim)

[준회원]



- 2010년 2월 : 경성대학교 도시공학과 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 경성대학교 도시공학과 석사과정

<관심분야>

TOD 교통계획, 도시설계, 도시계획