

■ 論 文 ■

자전거전용차로 설치에 따른 기대효과 추정

(서울시 사례를 중심으로)

Estimating Potential Impact of Bike Lane Implementation
(Case study of Seoul Metropolitan City)

신 희 철

(한국교통연구원 연구위원)

조 용 학

(도화종합기술공사 차장)

황 기 연

(한국교통연구원 원장)

정 성 업

(한국교통연구원 연구원)

목 차

- I. 서론
 - II. 기존문헌고찰
 - III. 자전거전용차로 설치에 따른 전환율 산정 방법론
 - 1. 사례지역 선정
 - 2. 전환율 산정 방법론
 - IV. 자전거전용차로 설치 편익추정
 - 1. 지표분석 결과
 - 2. 편익추정
 - V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 자전거, 자전거전용차로, 도로다이어트, 편익, 통행전환
Bicycle, Bike lane, Road-diet, Benefit, Mode transfer

요 약

지구온난화 등 기후변화로 지구가 위기를 맞이하고 있으며, 이에 따라 온실가스 감축은 시대의 흐름으로, 교통수단 중 자전거는 가장 빨리 이 목표를 가능하게 해주는 수단이다. 자전거 이용 활성화를 위해서는 자전거 인프라가 부족한 현 시점에서 자전거전용도로를 새로이 건설하는 것이 효과적이나, 공간 확보가 어려우므로 도로다이어트가 도시 내에서 자전거전용차로를 확보하기 위한 가장 현실적인 대안이다. 그러나 도로다이어트에 대한 효과분석이 이루어진 사례는 거의 없다.

본 연구에서는 도로다이어트에 의한 자전거전용차로 설치시 자전거 수단분담률 변화에 따른 각 수단의 전환율을 산정하였으며 이로부터 편익을 추정하였다. 현재 자전거의 수단전환 모형이 구축되어 있지 않아 자전거로의 전환량 목표를 설정한 후 다른 수단의 전환량을 모형을 이용하여 추정하였다. 사례지역으로 서울을 선정하였으며 SECOMM 모형을 이용하여 분석하였다. 기존의 통행시간 절감편익 이외에 건강증진, 환경오염, 에너지절감 편익 등을 고려하였다는 것이 타연구와의 가장 큰 차이점이라 볼 수 있으며, 도로다이어트의 시행으로 수단들의 총 통행시간이 증가하지만 자전거의 분담률이 5% 정도가 되면 상쇄하는 것으로 분석되었다. 분담률이 2% 일 때 통행시간 절감편익은 (-)이지만 전체 편익은 (+)이며 분담률이 5%를 넘어설 때엔 통행시간 절감편익도 (+)가 되는 것으로 분석되었다.

Environmental issues resulting from climate change and energy crises have become global issues, and cycling has gained greater popularity for sustainable transportation. Though many cities are trying to build bicycle roads, it is not easy to implement bicycle roads because there is little available space for bicycle facilities. Therefore, road diets have become more popular in Korea. However, there has been no intensive research to date of their impacts. The purpose of this research is to evaluate the effects of road diets and construction of bike lanes.

Every benefit, including energy benefit, environmental benefit, and health benefit is considered, while only time savings benefit has been considered in previous studies. The benefit analysis for the Seoul metropolitan area as a case study shows that road diets have a (1) time saving benefit for only five percent of the mode share and (2) enough total benefit even if bicycle mode share is less than two percent.

본 연구는 한국교통연구원 기본과제로 수행된 “녹색성장을 위한 자전거 중심 교통체계 구축 방안”의 일부를 발췌하여 보완한 것입니다.

I. 서론

이상기온 및 지구온난화 등 예상치 못했던 기후변화가 우리를 위협하고 있다. 주요 원인으로 지목되는 것이 온실가스(CO₂)이며 이를 줄이고자 하는 노력이 전 세계적으로 이루어지고 있다. 이러한 노력의 일환으로 최근 교통 분야에서는 친환경 녹색교통 수단으로서 자전거 이용을 활성화하려는 노력이 이루어지고 있다. 특히 국내의 경우 자전거를 마음 놓고 탈 수 있는 인프라가 부족한 상황이므로 인프라 확충에 노력을 기울이고 있다.

하지만, 현재 도시 내에서 가장 큰 비율을 차지하고 있는 자전거·보행자 겸용도로는 주행의 연속성과 네트워크를 확보할 수 없어 자전거 이용 활성화를 기대하기 어렵다. 따라서 자전거 이용 활성화를 위해서는 자전거도로가 전용도로인 경우가 가장 바람직하다.

그러나 기 운영 중인 도로에 전용도로를 건설하는 것은 현실적으로 어렵다. 따라서 도로의 일정부분을 나눠 쓸 수 있는 '도로다이어트' 기법을 통해 자전거도로를 확보하고 있는 실정이다. 현재 자전거 측면에서 도로다이어트의 의미는 차로폭, 혹은 차선수를 줄여서 자전거도로를 위한 폭을 확보할 수 있음과 동시에 자동차의 속도를 낮춰 안전이 향상되는 효과를 볼 수 있는 방법의 하나라 할 수 있다.

이처럼 도로다이어트는 기존 도로에서 자전거도로의 확보가 어려우므로 선택하는 어쩔 수 없는 대안 중 하나이므로 도로다이어트가 곧 자전거도로 확충은 아닐 것이다. 다만, 현실적으로 시행할 수밖에 없다면, 그에 대한 사회적 편익이 있는지 판단해 보는 것이 중요하다.

도로다이어트에 의한 자전거도로의 확보는 전용도로(track)와 차로(lane)의 형태 둘 다 가능하지만 우리나라에서는 주로 차로(lane)의 형태로 이루어지므로 본 연구는 이에 대하여 분석하였다.

유럽 자전거 선진국에서도 새롭게 자전거 도로를 설치하는 것은 예산상 어려우므로 기존 도로를 줄이는 도로다이어트를 적용하여 자전거 도로를 설치하는 것이 대부분이며, 이 경우 자전거 이용자의 편의와 기존 도로의 사정상 전용차로를 설치하는 것이 대부분이다. 다만, 전용차로의 경우 자동차도로의 속도제한이 엄격해야 하며, 자전거 이용자의 안전문제를 중요하게 생각해야 한다. 따라서 전용차로의 성격이 수단전환에 영향을 주고 있다고 보아야 할 것이다.

본 연구에서는 도로다이어트 기법으로 자전거도로의 한 형태인 차로수 감소에 의한 전용차로를 설치할 때의 기

대효과를 분석하고 그에 따른 편익을 추정해 보았다. 기존의 연구가 수단간 전환율을 가정한 것과는 달리 자전거 수단분담률의 목표치를 정한 후 모형을 활용하여 타 수단간 전환율을 계산하고 편익을 종합적으로 산정한 것이 본 연구의 특징이다.

II. 기존연구 고찰

자전거 인프라 시설확충에 따른 편익분석에 대해서는 최근 다양한 접근이 이루어지고 있다. 실제로 영국, 미국, 노르웨이 등 많은 나라에서 보도나 자전거전용도로 설치 시 새로운 비용편익분석방법을 제시하고 있다.

Sælernesminde(2004)는 새로운 도보 및 자전거전용도로가 건설되었을 경우 위험성, 건강편익, 교통비 감소 등의 편익항목을 감안하여 비용편익분석을 실시하였다. 비용편익분석 결과를 살펴보면 편익항목 중 건강요인에서 가장 큰 편익이 발생하는 것으로 나타나고 있어 새로운 편익항목을 반영하는 것에 대한 중요성을 제시하고 있다.

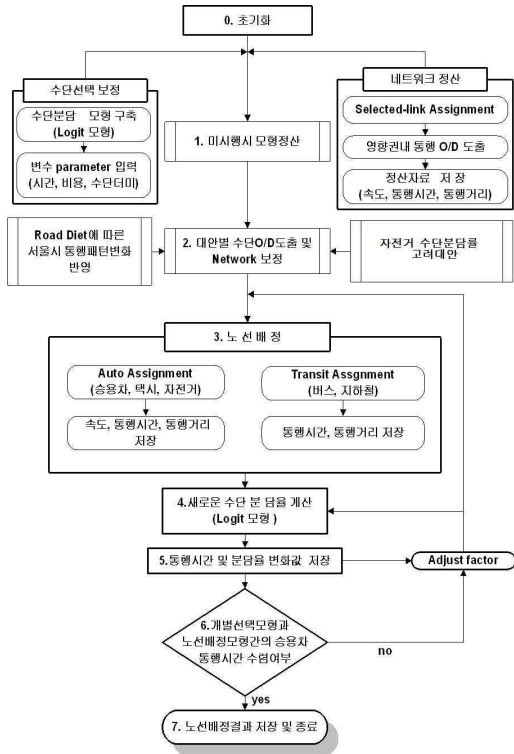
영국 교통부 TAG Unit 3.14.1(2009) "Guidance on the Appraisal of Walking and Cycling Schemes"에서도 자전거 수요예측 방법과 함께 자전거도로 신설에 따라 고려해야 하는 편익항목을 제시하고 있다. 여기에서도 건강증진(Health Benefit), 안전성(Accident Benefit), 환경성(Environmental Benefit), 혼잡완화 편익(Decongestion Benefit), 주행 쾌적성 편익(Journey Ambience Benefit)도 함께 고려하고 있다는 점도 특징이라 할 수 있다.

영국의 Transport & Health Study Group(2000)은 「Health on the Move」에서 교통과 건강과의 상관성을 다루고 있다. 여기서는 비동력 교통수단 평가에 건강증진 항목이 반영되어야 한다고 주장하고 있다.

McCann&Ewing(2003)에서는 비만과 저밀도시와의 연관성을 분석하였는데 저밀도시는 비만, 물리적 활동량, 만성질병과 연관성이 있다고 분석하고 있다.

Frank(2004)는 주거지 특성과 통행패턴, 비만과의 연관성을 분석하였는데 혼합적 토지이용은 12.2%의 비만 비율 감소효과가 있고 1시간 차량 이용은 비만도가 6% 증가하며 도보는 1km 당 4.8%의 비만이 감소한다고 하였다.

인간의 활동성과 건강의 상관관계는 자전거를 이용함으로써 얻을 수 있는 건강증진 효과와 유사하다고 볼 수 있다. 자전거는 활동성을 증가시키므로 위의 연구를 발전



<그림 2> 모형의 Flow Chart

자료를 활용하였다.

분석대안의 공간적 범위는 서울시 도심을 포함한 서울시내 전체 보조간선이상급 도로를 대상으로 2012년까지 계획되어 있는 서울시 주요 간선도로 17개축의 207km 자전거도로계획을 포함하였다.

분석대안의 연도는 2006년으로 하였고 모든 대안은 총연장 207km에 자전거전용차로를 설치하되, 도로다이어트 방식을 통해 일반차로의 0.5~1차로 축소를 기본 전제로 하였다. 본 연구에서 활용한 자료는 용량을 기준으로 하므로 1차로에 해당하는 용량을 감소시킨다고 하여 반드시 1차로 축소의 결과를 가져오는 것은 아니기 때문이다.

도로다이어트의 방식에는 차로폭을 줄이는 방식과 차로수를 줄이는 방식의 두 가지가 있는데 앞서 서술한대로 본 논문에서는 교통에 영향을 많이 주는 차로수 축소에 의한 영향을 분석하였다.

자전거전용차로 설치에 따른 자전거 수단분담률 변화 고려시, 도보통행을 제외한 승용차, 버스, 지하철, 택시의 수단분담률에 영향을 주며, 교통수요총량은 변하지 않는다는 전제하에 통행발생/분포는 고정되어있다고 가정하였다.

도보에 대한 자료는 기존의 DB에서는 미비한 상태이므로 전환율을 구한 다음 포함시켰다. 도보통행의 기본적인 비율은 2006년 수도권 통행수단별 통행량에서 서울시 자료를 토대로 계산한 결과인 20.2%를 활용하였다. 도보의 전환율은 서울시민을 대상으로 한 별도의 설문조사를 토대로 도보에서 53.3%가 전환되는 것으로 분석하였다.

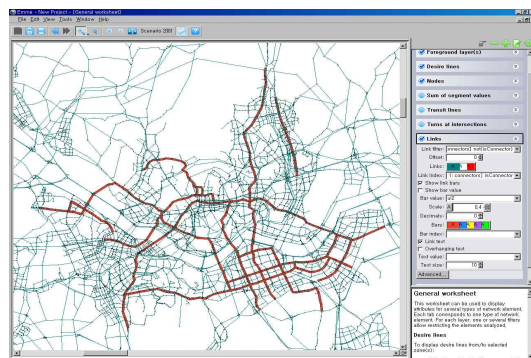
자전거통행 최대가능거리는 반경 10km, 자전거전용차로의 최대통행속도는 20km/h로 설정하였다.

서울시 자전거 통행의 소요시간별 분포를 살펴보면 30분 미만의 통행이 전체의 81.6%를 차지하고 있어 서울시 자전거 통행은 주로 5km 내외의 단거리에 치중되어 있다고 볼 수 있지만 전용차로가 확충될 경우에는 통행거리가 늘어날 확률이 높으므로 반경을 10km로 설정하였다. 반경 10km는 자전거가 시속 20km/h로 달릴 때 30분이면 도달할 수 있는 거리이다.

자전거전용차로는 정시성을 유지하는 것으로 가정하였다. 또한, 자전거통행은 현재나 장래 모두 단거리 승용차 통행과 유사한 통행패턴을 보이며 통행관련 지불비용은 없는 것으로 가정하였다. 여기서 승용차의 환승통행(park and ride)은 배제하였다.

자전거의 수단전환 모형이 구축되어 있지 않아 자전거로의 전환량 목표치를 설정한 후 다른 수단의 전환량을 추정하였다. 그리하여 자전거 수단분담률 목표치에 따라 3개 대안을 수립하고 평가하였다.

- 목표치 2%: 자전거 수단분담률이 2%가 될 때
- 목표치 5%: 자전거 수단분담률이 5%가 될 때
- 목표치 10%: 자전거 수단분담률이 10%가 될 때



<그림 3> 서울시 자전거전용차로계획(207km) 분석네트워크

목표치 2%는 현실적으로 가장 근접한 목표치로 제시되었으며, 5%의 수단분담률은 정부의 2012년 단기목표치이다. 10%의 자전거 수단분담률은 다소 비현실적이나 2018년의 장기 목표치로서 앞으로 바람직한 상황으로 가정하여 분석하였다.

2006년 현재 서울시 자전거 수단분담률은 1.2%이며, 장래 목표치는 1.2%에서 증가한 값을 의미한다.

IV. 자전거전용차로 설치 편익추정

1. 지표분석 결과

1) 승용차 통행속도 변화

자전거전용차로 계획에 따른 서울시 통행속도의 변화에 대한 분석 결과는 <표 1>에서 보는 바와 같다. 통행속도에 대한 효과분석은 서울시 전체의 속도 변화를 현재와 비교하였다.

승용차의 평균통행속도 결과를 보면 도로 다이어트에 따른 공로부분 차선축소에 따른 차량혼잡현상으로 인해 통행속도가 전반적으로 저하되나, 크게 악화되는 수준은 아닌 것으로 분석되었다.

대안별로 살펴보면 자전거로의 전환이 증가할수록 통행속도 개선효과를 보이는 것으로 분석되었다. 자전거 활성화 정책 등으로 자전거의 분담률이 증가하면 도로다이어트에 따른 공로부분 차선축소에 따른 차량혼잡현상이 상쇄될 것으로 예측되었다.

자전거 통행속도의 경우, 미시행시 7.85km/h에서 시행시 자전거전용차로의 통행속도는 15.60km/h, 전체 자전거 통행속도는 13.44km/h로 개선되는 것으로 나타났다.

2) 수단분담률 변화

자전거의 수단전환 모형은 미구축 상태이므로 목표치

<표 1> 서울시 자전거전용차로(207km) 구축시 승용차 평균 통행속도 변화(오전첨두시, 서울시 전체)

구분	총연장 (km)	통행속도 (km/h)		증감	
		미시행	시행		
목표치 2%	1,079.0	25.42	24.93	-0.49	
목표치 5%			25.08	-0.35	
목표치 10%			25.29	-0.13	
자전거 (공통사항)	전용차로	207.0	7.85	15.60	7.75
	도로 전체	1,187.9	7.85	13.44	5.59

를 설정하여 대신하였고, 그에 따른 타 수단의 전환량을 계산하였다. 최초의 수단분담률을 산출하고 변화된 수단별 통행량은 다시 노선배정을 통해 초기와는 다른 새로운 각 수단별 통행시간을 계산하게 되며 이 결과는 피드백되어 수단선택모형에 재반영 후 새로운 수단분담률을 추정하게 된다. 이와 같이 반복 계산하여 수단분담률을 계산하였다.

수단분담률을 분석해 본 결과 <표 2>와 같이 자전거분담률이 5%가 될 때 모든 수단의 분담률이 감소되는 것으로 분석되었다. 자전거 수단분담률이 5%가 되는 경우 수단분담률의 변화를 보면 도보가 2.12%로 가장 많은 수요가 전환될 것으로 예측되었고 승용차가 0.83%, 버스가 0.70%, 택시가 0.18% 감소할 것으로 예측되었다.

3) 총 통행시간 변화

서울시 자전거전용차로(207km) 구축시 서울시 총 통행시간 변화를 예측한 결과는 <표 3>과 같다.

총 통행시간 산정도로기준은 서울시 도시고속도로, 주간선도로, 보조간선도로를 포함한 양방향 총연장 2,158km를 대상으로 하였다.

자전거전용차로를 설치하여 자전거 분담률이 2%가 되어도 공로 축소에 따른 총 통행시간 증가는 개선되지 않는 것으로 분석되었다. 자전거 분담률이 5% 정도가 될 때 비로소 공로축소에 따른 부(-)의 효과가 상쇄되기 시작하는 것으로 분석되었다.

<표 2> 서울시 자전거전용차로(207km) 구축시 수단분담률 변화(서울시 전체) (단위 : %)

구분	승용차	버스	지하철	택시	자전거	도보
미시행시	21.59	22.67	29.69	4.83	1.03	20.20
목표치 2%	21.14 (-0.45)	22.33 (-0.34)	30.11 (0.42)	4.73 (-0.1)	2.00 (0.97)	19.68 (-0.52)
목표치 5%	20.76 (-0.83)	21.97 (-0.7)	29.53 (-0.16)	4.65 (-0.18)	5.00 (3.97)	18.08 (-2.12)
목표치 10%	20.18 (-1.41)	21.43 (-1.24)	28.65 (-1.04)	4.52 (-0.31)	10.00 (8.97)	15.22 (-4.98)

주: ()는 변화율

<표 3> 서울시 자전거전용차로(207km) 구축시 서울시 총 통행시간 변화 (단위 : 시간/일)

구분	미시행시	시행시	증감
목표치 2%	1,855,692	1,861,903	6,211
목표치 5%		1,851,092	-4,600
목표치 10%		1,836,858	-18,835

2. 편익추정

자전거 이용에 따른 편익은 자전거 이용자가 얻는 직접 편익과 지역사회가 얻는 간접편익으로 구분할 수 있다.

직접편익에는 여건개선, 이동거리 단축과 같은 이동성에 관련된 편익과 신체활동의 증가, 의료서비스 필요 감소 등과 같은 보건 측면에서의 편익이 있을 수 있다. 또한 사고가 감소하고 편리한 이용이 보장되어 안전성이 높아지는 편익이 있고, 전반적인 교통비용이 감소하여 비용절감 측면에서도 편익이 발생할 수 있다.

간접편익에는 교통체증 감소, 오염감소에 따른 외부효과 감소 편익이 있고 열린 공간의 증가에 따른 주거여건 개선에 따른 편익이 있으며, 낮은 기반시설 비용으로 경제활동이 증가하는 재정적인 편익이 있다.

이밖에 여가활동의 증가, 공간이용의 효율성과 배기가스 흡입으로 인한 부(-)의 편익 등 (+)와 (-)의 다양한 편익 항목이 있다.

이와 같이 자전거 효과를 측정하기 위한 편익항목에는 <표 4>와 같이 여러 가지가 있으나 분석을 위해서 현재 자료가 구축되어 있어 정량적으로 산정 가능한 항목만을 선정하여 편익 추정에 활용하였다. 향후 정량화시킬 수 있는 항목은 늘어날 것으로 예상되며, 이에 따라 편익추정항목은 개선될 것으로 보인다.

본 연구에서는 통행시간의 변화에 따른 통행시간 절감 편익을 추정하고, 건강증진 효과, 대기오염물질 저감, 온실가스 저감, 에너지 절감에 대한 편익을 산정하였다.

1) 통행시간 절감편익

통행배정 결과로 산출된 링크의 통행시간과 차종별 교

<표 4> 자전거 이용에 따른 편익

자전거 이용자(직접편익)	지역사회(간접편익)
- 이동성 · 여건 개선 · 이동거리 단축	- 외부효과 · 교통체증 감소 · 오염감소
- 보건 · 신체활동 증가 · 의료서비스 필요 감소	- 주거여건 · 열린 공간 증가 · 열린 공간이 가까워짐
- 안전성 · 사고감소 · 보다 편안한 이용	- 재정 · 낮은 기반시설 비용 · 경제활동 증가
- 비용 · 전반적인 교통비용 감소	

자료: Kevin J. Krizek(2009), "Quantifying the potential benefits of cycling: evaluation & implications of US cycling strategies"

통량의 곱을 이용하여 총 통행시간을 산출하였다. 사업미시행시와 사업시행시에 대해 수단별로 산출된 총 통행시간에 시간가치를 적용하여 총 통행시간 비용을 산출한 후 비교된 차액을 통행시간 절감 편익으로 산출하였다. 또한 각 수단에서 자전거로 전환되어 속도감소로 인한 부(-)의 편익도 고려하였다.

통행시간 절감편익 계산식은 식(1)과 같다.

$$VOTS = VOT_{\text{사업미시행}} - VOT_{\text{사업시행}} \quad (1)$$

$$\text{여기서, } VOT = \left\{ \sum_l \sum_{k=1}^3 (T_{kl} \times P_k \times Q_{kl}) \right\} \times 365$$

T_{kl} : 링크 l의 차종별 통행시간

P_k : 차종별 시간가치

Q_{kl} : 링크 l의 차종별 통행량

<표 5>와 같이 자전거 분담률이 2%가 될 때는 시행시의 총 통행시간이 미시행시에 비하여 높으므로 공로축소로 자전거전용차로를 설치하는 것이 혼잡을 가중시켰다고 볼 수 있다. 하지만 분담률이 5%에 이르게 되면 공로축소에 따라 늘어났던 혼잡이 상쇄되는 것으로 분석되었으며 분담률이 10%가 되면 시행시의 총 통행시간이 오히려 감소하여 통행시간 절감편익이 발생할 것으로 분석되었다.

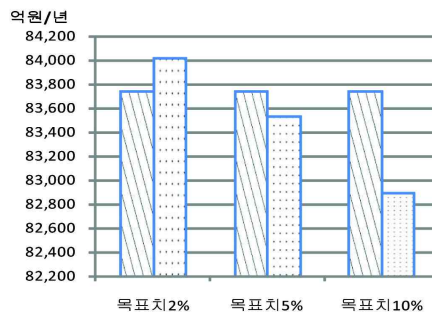
2) 건강증진 편익

자전거를 이용함으로써 얻을 수 있는 건강증진 효과에

<표 5> 서울시 자전거전용차로 계획량 구축시 통행시간비용 변화 (단위 : 억원/년)

구분	미시행시	시행시	편익
목표치 2%	83,745	84,025	-280
목표치 5%	83,745	83,537	208
목표치 10%	83,745	82,895	850

주: 통행시간가치는 시간당 12,364원/시간(2006년 기준)



<그림 4> 자전거전용차로 구축시 통행시간 비용 변화 (미시행시: 빗살, 시행시: 점)

대한 편익은 「녹색교통이 국민건강증진에 미치는 효과분석, 한국교통연구원, 2008」에서의 방법론을 따랐다. 해외연구에도 여러 방법론이 소개되고 있으나 각 나라마다 국민의 체형, 운동습관 등이 다르기 때문에 국내의 자료를 참고하였고 이 연구가 가장 최근의 연구로서 활용되었다.

건강증진 효과를 구하기 위하여 필요한 자료는 자전거 전용차로 설치에 따른 수단전환비율(M), 경제활동인구(Pe), 그리고 수단전환에 따른 건강증진 경제적 절감비용(C)이다.

수단전환비율은 앞에서 구한 전환율을 사용하였고 고령자 등의 비경제활동인구는 자전거 이용자로 전환이 어렵다고 판단되어 경제활동인구를 대상으로 하여 건강증진 효과를 산출하였다.

수단전환으로 인하여 건강증진효과를 얻는 인구는 평소 신체활동량이 권고안을 미충족하는 승용차 통근자수라고 할 수 있다.

자전거전용차로 건설로 인하여 수단전환이 이루어질 경우 실제 신체활동 미충족 비율이 동일하다고 가정한다면 교통수단을 전환한 인구 중에서 신체활동 미충족 비율인 24.0%를 실제 사업으로 인하여 건강증진 효과를 얻는 인구 비율로 활용할 수 있다. <표 6>에서와 같이 전체 7,736명 중 150분 미만의 신체활동을 한 성인은 1,856명으로 24%이다.

수단전환에 따른 1인당 건강증진 절감비용은 자전거의 실제 이용시간 및 거리에 따라 건강증진 효과의 차이가 있을 수 있지만 구체적으로 파악하기 어려워 일률적으로 적용하였다.

따라서 건강증진편익(Bh)은 수단전환비율(M), 경제활동인구(Pe), 신체활동시간 미충족 통근자 비율(H=24.0%), 그리고 수단전환에 따른 건강증진 경제적 절감비용(C)의 곱으로 식(2)와 같이 계량화 될 수 있다.

<표 6> 성인의 일주일간 신체활동시간

구분	150분 미만 (1,856명)	150분 이상 (5,880명)	전체(7,736명)
고강도	4.3분(5.6%)	54.6분(11.3%)	42.5분(11.0%)
중강도	5.4분(7.1%)	116.8분(24.2%)	90.1분(23.4%)
도보 활동	66.6분(87.3%)	311.6분(64.5%)	252.8분(65.6%)
합계	76.3분(100.0%)	483.1분(100.0%)	385.5분(100.0%)

자료: 1. 제3차 국민건강영양조사(2005) 2% 원시자료
2. 녹색교통이 국민건강증진에 미치는 효과분석, 한국교통연구원, 2008 재인용

$$Bh=M \times Pe \times H \times C \quad (2)$$

수단전환은 사업시행시(Ma)와 미시행시(Mb)의 개인 교통수단으로 전환된 비율(M)을 의미하므로 승용차와 택시에 대하여 계산하였다.

<표 7>과 같이 서울시 인구는 통계청 자료에 따라 10,356,202인이고, 경제활동인구비율은 2006년 기준으로 49.5%이다.

승용차 및 택시 등 개인교통수단에서 전환한 비율을 이용하여 건강증진 편익 효과를 계량화하면 <표 8>과 같이 요약할 수 있다. 예를 들어, 수단분담률 5%일 때 261억 원의 건강증진 편익이 산출되는 것으로 예측되었다.

3) 대기오염물질 절감편익

대기오염의 환경비용을 추정하는 경우 대상이 되는 오염물질은 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 미세먼지(PM) 및 휘발성유기화합물(VOC)이 된다. 이들 오염물질을 대상으로 추정식을 정리하면 식(3)과 같다.¹⁾

$$AC = \sum_{i=1}^5 (PC_i \cdot EF_{k,i}) \quad (3)$$

AC : 자동차 사용으로 인한 연간 대기오염물질의 환경오염 비용

<표 7> 경제활동인구 산정기준

구분	2006년
인구(인)	10,356,202
경제활동인구비율(%) (2006년 기준)	49.5

자료: 통계청

<표 8> 수단전환으로 인한 건강증진편익 효과

구분	수단전환 비율(M)	경제활동 인구	신체활동시간 미충족 통근자비율 (H)	1인당 연간 건강증진 절감비용 (원)(C)	총 건강증진 편익(원)
목표치 2%	0.54	4,944,672	24.0%	2,176,739	140
목표치 5%	1.01				261
목표치 10%	1.72				445

주: 신체활동시간 미충족 통근자 비율과 1인당 연간 건강증진 절감비용은 자료의 수치 활용
자료: 녹색교통이 국민건강증진에 미치는 효과분석, 한국교통연구원, 2008

1) 환경친화적 자전거 문화 정착 연구, KEI, 2007

PC : 오염물질 l 한 단위가 발생시키는 환경오염 비용(원/g)
 EF : 자동차 k 를 사용시 연간 배출되는 특정오염물질 l 의 양(g)
 k : 승용 및 RV 자동차
 l : CO(1), NOx(2), PM(3), SOx(4), VOC(5)

여기에서 AC는 오염물질 l 이 초래하는 환경오염비용(원/g)과 지역별로 자동차 주행거리를 곱하는 방식으로 배출되는 모든 오염물질별로 계산하게 된다. 오염물질 단위당 환경비용(PC)은 EU의 추정치를 사용하였다.

대기오염물질배출량은 환경부에서 발표한 대기오염물질 배출량 자료를 사용하였다.

2004년을 기준으로 자가용 승용차 평균 주행거리 단위 환경오염 비용을 산출하기 위해 승용차 1일 주행거리를 기준으로 연간 주행거리를 도출한 결과 연간 자가용 승용차의 주행거리는 14,819km로 나타났다.

승용차 주행거리 당 평균 환경오염비용을 추정하기 위해 자가용으로 이용되는 승용차 등록 현황과 연평균 주행거리를 근거로 연간 총 승용차·km를 산정하였고 이를 근거로 총배출량을 나누어 단위 승용차·km 당 환경비용을 <표 9>와 같이 추정하였다.

따라서 승용차 1km 주행의 평균 환경오염비용은 해당 대기오염물질 배출에 따른 환경오염비용의 합으로 45.4 원으로 추정되었다.

자전거전용차로의 건설로 자전거는 통행거리 10km까지 다른 수단에 비해 비교우위를 가진다. 따라서 분석시 10km 이내의 통행량으로 전환량을 계산하였다. 전환되는 승용차, 택시의 수단통행량은 16만 통행~52만 통행이고 이들의 평균통행거리를 5km로 가정하여 <표 10>과 같이 연간주행거리(km)를 산정하였다.

<표 9> 승용차·km 당 환경오염 비용 (단위 : 원/km)

구분	배출량(kg/v-km)	원/kg	환경오염비용
CO	0.002232466	7,276	16.24
NOx	0.000576459	11,271	6.50
PM	0.000025430	703,950	17.90
SOx	0.000008514	127,935	1.09
VOC	0.000352841	10,399	3.67
합계			45.4

자료: 환경친화적 자전거 문화 정착 연구, KEI, 2007

이에 따라 피해비용 절감편익을 계산해 보면 <표 11>과 같이 목표치 5% 일 때 252억원의 편익이 발생할 것으로 예측되었다.

4) 온실가스 절감편익

승용차 및 RV차량의 이산화탄소 배출량 추정을 위해서는 에너지원별 CO₂ 배출량을 알아야 한다. 따라서 IPCC의 배출계수를 사용하였고 이로부터 CO₂ 배출량을 간접 추정하였다. CO₂ 배출량에 따른 원단위는 0.23136kg/v·km를 활용하였다. 이산화탄소 배출량의 가격은 온실가스 감축을 위해 EU에서 실시하고 있는 배출권 거래제도를 기준으로 하였다. 톤당 배출비용은 31,855원을 활용하였다.²⁾ 이에 따라 온실가스 절감편익을 산정해 보면 <표 12>와 같이 목표치 5%일 때 41억원으로 예측할 수 있다.

5) 에너지 절감편익

에너지 절감편익은 승용차의 이동거리 감소에 따라 휘발유의 소비가 감소하게 됨으로써 얻게 되는 편익이다.

<표 10> 전환되는 수단통행량의 연간주행거리 산정

구분	전환되는 승용차, 택시의 수단통행량(통행)	평균통행거리	연간산출계수	연간주행거리합계(km)
목표치 2%	163,308	5km	365일	298,036,906
목표치 5%	304,428			555,580,658
목표치 10%	519,472			948,036,016

<표 11> 대기오염물질 절감편익 (단위 : 억원)

구분	계(km)	단위피해비용(원/km)	피해비용절감
목표치 2%	298,036,906	45.4	135
목표치 5%	555,580,658		252
목표치 10%	948,036,016		430

<표 12> 온실가스 절감편익

구분	계(km)	온실가스 원단위(g/km)	절감 ton	이산화탄소 배출비용(원/톤)	억원
목표치 2%	298,036,906	230	68,548	31,855	22
목표치 5%	555,580,658		127,784		41
목표치 10%	948,036,016		218,048		69

2) 환경친화적 자전거문화 정착 연구, KEI, 2007

연간 전환되는 주행거리에 연비와 휘발유가격을 적용하여 구할 수 있다. <표 13>과 같이 목표치 5% 일 때 에너지 절감편익은 연간 808억원으로 예측되었다.

6) 편익합계

사례분석에서 도로다이어트에 의해 자전거전용차로를 설치했을 때의 편익을 산정해 보면 <표 14>와 같다. 통행 시간 절감의 경우 자전거의 분담률이 5%가 될 때 비로소 편익이 발생하기 시작하는 것을 알 수 있다. 다른 편익은 분담률이 2% 일 때도 효과가 있으며 분담률이 올라갈수록 편익도 증가하는 것으로 분석되었다.

현실적으로 가능하다고 판단되는 목표치 5%의 결과를 놓고 보았을 때, 자전거는 속도가 빠르지 않고 비교적 짧은 거리를 주행하게 되므로 승용차에 비하여 시간절감 효과가 상대적으로 적은 편이다. 그러나 시간절감 외에 건강 증진, 대기오염, 온실가스 저감, 에너지 절감에서는 편익이 발생하였으므로 도로다이어트 방식으로 자전거전용차로를 설치하는 것이 지금까지 일반적으로 제기되었던 바와 달리 여러 가지 편익항목에서 효과가 분명하며, 경제적 타당성이 있다고 판단할 수 있는 근거가 될 수 있을 것이다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 목표치 설정을 통해 수단간 전환율을 고려하였고, 기존의 방법론을 정리하여 편익을 정량적으로 산출하였다는데 의의가 있다고 할 수 있다. 결과에 따르면 도로다이어트로 공로의 용량이 저하되면 차량의 속도도 함께 저하되지만 일반적인 생각과는 달리 크게 악화되는 수

준은 아닌 것으로 분석이 되었고, 자전거로의 전환이 늘어남에 따라 통행시간 측면에서도 절감효과가 있는 것으로 분석되었다. 그러나 자전거는 속도의 한계로 인하여 통행 시간 절감보다는 건강 및 오염, 에너지 절약 등의 편익이 주를 이룰 것으로 판단된다. 모형을 통해 편익을 추정해 보았는데 아직은 자전거에 대한 자료는 많이 축적되어 있지 않아 모수추정에 의한 수단분담 등 정밀한 분석에는 한계가 있었다.

현재는 자료의 부족 등으로 어렵지만 날씨의 영향, 여가활동의 증가, 공간이용의 효율성, 교통사고 감소, 배기가스 흡입으로 인한 부(-)의 편익 등이 정량적으로 산출되어야 할 필요성이 있으며 향후 연구과제로 제시한다.

향후 자료가 체계적으로 축적되어 자전거 자료 DB가 구축된다면 일반도로나 철도와 같이 모형에서 전환율을 구하여 직접적으로 편익을 산정할 수 있는 등 다양한 연구가 진행 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 환경부(2007), “환경친화적 자전거문화 정착 연구”.
2. 황기연·김익기·엄진기(1999), “교통수요관리 방안의 단기적 효과 분석모형의 구축”, 대한교통학회지, 제17권 제1호, 대한교통학회지, pp.173~185.
3. 황기연·이우철(2000), “대중교통 환승요금 적정 할 인수준 추정 (서울시 사례를 중심으로)”, 대한교통학회지, 제18권 제2호, 대한교통학회지, pp.27~37.
4. 황기연·신상영·조용학·손기민(2008), “TOD형 개발 촉진을 위한 통합교통서비스 지표의 개발”, 대한토목학회지, 제28권, 대한토목학회, pp.1~10.
5. 한국교통연구원(2008), “녹색교통이 국민건강증진에 미치는 효과분석”, pp.119~124.
6. 김형철·이재영(1998), “비용편익분석을 이용한 위치별 자전거도로 평가모형에 관한 연구”, 경원대 환경계획연구소 논문집.
7. 서울시정개발연구원(2007), “2006 서울시 가구통행실태조사(안)”.
8. 서울특별시(2008), “자전거이용시설 정비 제3차 5개년계획”.
9. 서울특별시 교통국(2007), “2006년도 서울시 차량통행속도”.
10. 한국개발연구원(2004), “도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정보완연구(제4판)”.

<표 13> 에너지 절감편익

구분	계(km)	연비	휘발유 가격	에너지 절감편익 (억원)
목표치 2%	298,036,906	11km/L	1,600원	434
목표치 5%	555,580,658			808
목표치 10%	948,036,016			1,379

<표 14> 편익산정 결과(서울시 사례) (단위 : 억원/년)

목표치	통행 시간	건강 증진	대기 오염	온실 가스	에너지	합계
목표치 2%	-280	140	135	22	434	17
목표치 5%	208	261	252	41	808	762
목표치 10%	850	445	430	69	1,379	1,794

11. De Ortuzar, J.D. et al., "Estimating Demand for A Cycle-way Network", Transportation Research Part A 34, pp.353~373.
12. Elvik, R.(2000), "Which are the relevant costs and benefits of road safety measures designed for pedestrians and cyclists?", Accident Analysis and Prevention 32, pp.37~45.
13. Komanoff, C.(1994), "Environmental Benefits of Bicycling and Walking in the United States", TRR 1405, pp.7~12.
14. Korve, M.J. et al.(2002), "Benefit-cost Analysis of Added Bicycle Phase At Existing Signalized Intersection", Journal of Transport Engineering 128(1), pp.40~48.
15. Department for Transport(2009), "Guidance on the Appraisal of Walking and Cycling Schemes: TAG Unit 3.14.1", Transport Analysis Guidance(TAG).
16. Frank(2004), "Obesity Relationships with Community Design, Physical Activity, and Time Spent in Cars".
17. Kevin J. Krizek(2009), "Quantifying the potential benefits of cycling: evaluation & implications of US cycling strategies", 『The 1st International Symposium on "Cycling towards A Commuter- friendly City", pp.287~314.
18. McCann·Ewing(2003), "Measuring the Health Effects of Sprawl".
19. Sælensminde, K.(2004), "Cost-benefit Analyses of Walking and Cycling Track Taking into Account Insecurity, Health Effects and External Costs Motorized Traffic", Transportation Research Part A 38, pp.593~606.
20. Transport & Health Study Group(2000), "Carrying out A Health Impact Assessment of A Transport Policy Guidance from Transport & Health Study Group", Faculty of Public Health Medicine.

☞ 주 작성 자 : 신희철

☞ 교 신 저 자 : 신희철

☞ 논문투고일 : 2010. 1. 21

☞ 논문심사일 : 2010. 3. 23 (1차)

2010. 6. 18 (2차)

2010. 7. 3 (3차)

☞ 심사관정일 : 2010. 7. 3

☞ 반론접수기한 : 2010. 12. 31

☞ 3인 익명 심사필

☞ 1인 abstract 교정필