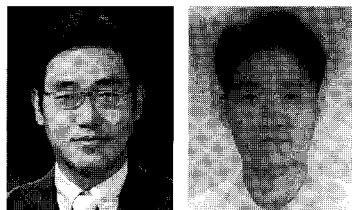


자전거도로 건설에 따른 편익항목 계량화 방안



손영태 | 정회원 · 명지대학교 교통공학과 교수

이진각 | 정회원 · 명지대학교 교통공학과 박사과정 수료

1. 서론

현재 도로계획 및 도로건설 시 경제성 분석을 통한 타당성 검토의 경우, 사용되는 편익항목이 통행시간 단축, 교통량증대 등을 목표로 하는 양적 정비위주계획에 적절한 지표역할을 담당하고 있어, 자전거 교통수단을 위한 도로건설 시 편익을 추정하는 데는 많은 한계를 나타내고 있는 실정이다.

그러나 자전거의 경우, 최근 대기오염 감소와 도시 교통문제를 해결하기 위해 승용차 통행수요를 대중교통 수요로 전환시키고 도시개발방식도 대중교통중심 개발로 전환하고 있는 추세속에 비중있게 다뤄지는 교통수단이다. 아울러 대중교통으로의 전환과 함께, 자전거나 보행을 중심으로 한 녹색교통수단에 대한 관심과 이에 대한 교통체계를 갖추기 위한 노력들도 활발히 진행중에 있다.

특히, 주5일제 도입으로 인한 여가활동 및 레저수요증가, 개개인의 건강증진을 도모한 삶의 질 향상, 근거리 교통수단으로의 대체 등 여러 측면에서 효율성이 매우 높은 교통수단으로 평가받고 있는 바, 자전거도로에 대한 보다 현실적이고 타당한 경제적인

평가항목들이 검토되어야 할 것으로 사료된다.

무엇보다도 자전거도로 설치계획을 효율적으로 실행하기 위해서는 자전거도로 및 그와 관련된 시설을 설치하는데 따른 효과 및 타당성 분석이 선행되어야 하는데, 이러한 효과 및 타당성 분석은 자전거도로 건설에 따라 이용하게 될 수요를 예측하는 과정이 필요하고 그에 따라 발생하게 될 편익 등의 효과 평가 지표들을 종합적으로 분석해야 가능할 것이다.

이에 본 고에서는 향후 자전거도로 설치효과를 분석하는데 보다 효율적인 방안을 마련할 수 있도록 기존 수요분석방법과 함께 편익항목을 검토하여 실용가능성을 고찰하고, 자전거도로 성격상 정량적 평가수행이 어려운 경우 다른 대안으로서 정량화하여 분석할 수 있는 방안 등을 검토하고 시사점 등을 도출하고자 한다.

2. 편익산출을 위한 자전거도로 수요예측 분석 방법론 검토

자전거도로 및 시설 등을 설치함으로써 발생하는

효과를 분석하기 위해서는 자전거도로를 이용하게 될 이용자별 수요특성을 검토하고, 실제 이용하는 자전거 이용자와 새롭게 유발되는 자전거 이용자를 산출하는 것이 중요하다.

이에 국내외의 연구결과들을 살펴보면, 자전거도로 수요를 예측하는 방법은 전통적인 교통수요 예측기법을 적용하여 분석하는 방법과 NCHRP 7-14¹⁾ 등에서 제안하고 있는 Sketch Planning기법 등이 있다

2.1 전통적인 교통수요예측 방법

2.1.1 분석방법론

자전거도로의 교통수요 예측방법은 전통적 교통수요예측 4단계 기법을 중심으로 자전거 통행특성에 맞게 수요예측 단계별로 모형과 알고리즘을 customized하여 적용해야 하며, 일반 교통수단과 자전거간의 수단선택 행태를 정확하게 예측하기 위해서는 사업지주변 거주자 및 일반시민을 대상으로 한 광범위한 통행행태 및 교통수단 선호도 조사를 바탕으로 Disaggregate 수요모형을 구축하여야 한다.

하지만 대상노선의 범위와 제약 등으로 인하여 필요한 자료수집의 애로사항이 있는 경우, Disaggregate 모형구축에 필요한 자료수집이 어려우므로, 통계청 등에서 제공하는 전국 가구통행실태조사에서 파악된 자전거 통행행태 자료를 활용Aggregate 수요모형을 적용할 수 있다.

아울러, 자전거도로의 경우에는 인구주택총조사(Census 자료)와 사회경제지표를 활용하여 자전거 통행발생량을 직접산출하는 방식을 채택하므로 교통수요예측은 수단분담이 제외된 “통행발생→통행분포→통행배정”의 3단계로 분석이 가능하며, 경우에 따라서는 기존의 도로에 자전거도로 노선(Network)이 명확히 설정되어 있는 상태인 경우와 분석 목표연도별 자전거통행(O/D)에 대한 자료가 있을 경우에는 수단분담을 포함하여 4단계 예측기법을 적용할

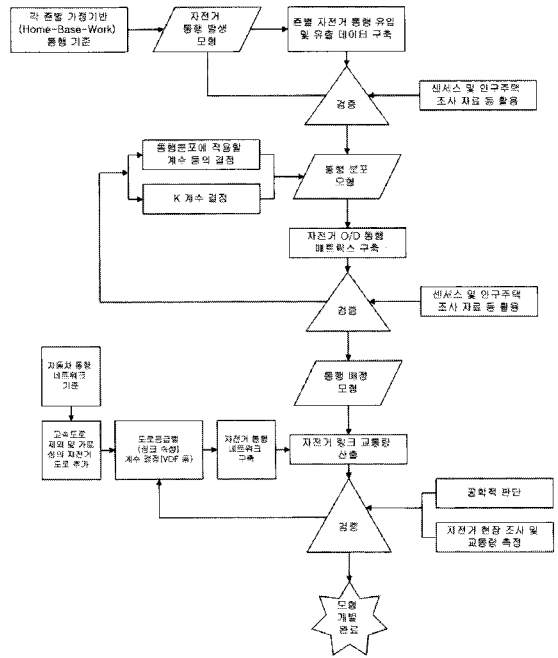


그림 1. 전통적인 수요예측 예 (Ridgway²⁾의 통행수요예측 흐름도

수도 있다.

그림 1은 전통적인 수요예측 과정에서 수단분담을 제외하고 자전거 이용 수요를 산출하는 방법의 대표적인 예라고 할 수 있는데, 우선, 통행발생단계에서는 가정기반통행(Home-Based-Work)을 중심으로 센서스 자료 등을 이용하여 통행유입 및 유출량을 존별로 구성하고, 검증단계를 거쳐 통행분포단계에서는 이를 토대로 자전거 통행유입 및 유출량에 대해서 매트릭스(O/D)를 산출한다.

여기에, 별도로 구축한 자전거 도로 네트워크(고속도로 제외)와 통행분포에서 산출한 O/D를 통해 통행배정을 실시하게 되며, 배정된 자전거 링크 교통량이 정확한지에 대한 판단은 공학적 판단과 함께 현장 조사를 실시하여 실제 자전거 교통량을 토대로 검증할 수 있다.

1) Guidelines for Analysis of Investments in Bicycle Facilities, NCHRP 7-14, TRB, 2005

2) Bicycle and Pedestrian Travel Demand Forecasting: Literature Review, TTI, FHWA/TX-98, 1997

2.1.2 분석시 고려사항

자전거도로를 이용하는 통행수요를 분석할 때에는 이용자별 수요특성(통근·통학수요, 레저 수요, 기타 관광 및 여가수요, 유발수요 등)에 따라 고려하여 검토해야 하며, 자전거도로가 건설됨으로 인해 유발되는 자전거 통행수요(Induced Bicycle Demand)가 존재할 수 있겠으나, 이는 정기적으로 이루어지는 통행이라기보다는 비정기적인 통행의 성격이 강하고, 규모 또한 크지 않으므로 분석에서 제외시킬 수도 있다.

기존연구결과³⁾를 살펴보면 자전거 시설로부터 3.2~4.8km(2~3mile) 떨어진 지점 내에서 자전거 통행이 시작되거나 종료되는 것으로 나타났으며, 또한 자전거 통행거리별 자료를 살펴보면 통근·통학의 경우 2~4km, 레저통행의 경우 2~12km 정도에서 대부분 분포하며 통행거리가 20km 이상인 경우는 매우 드문 것으로 파악되고 있다.

이에 자전거도로가 갖는 특수성과 이용자별 수요 특성 등을 면밀히 고려하는 것이 수요예측 수행시 필요하다 하겠다.

2.2 NCHRP 7-14의 Sketch Planning 기법 활용

2.2.1 분석방법론

전통적인 자전거 이용수요를 산출하는 것 이외에, NCHRP 7-14 “Guidelines for Analysis of Investments in Bicycle Facilities”에서는 보통의 자전거도로의 수요특성분석에 대한 영향권을 3가지(예 : 400, 800, 1,200m)로 구분하여 통행수요를 산출하는 방법을 제시하고 있다(그림 2).

이러한 방법에는 다음과 같은 2가지 가정이 전제되고 있다.

- 기존 자전거 이용자들은 새로운 자전거도로 및 시설 등이 설치될 경우, 다른 도로 및 시설 등에

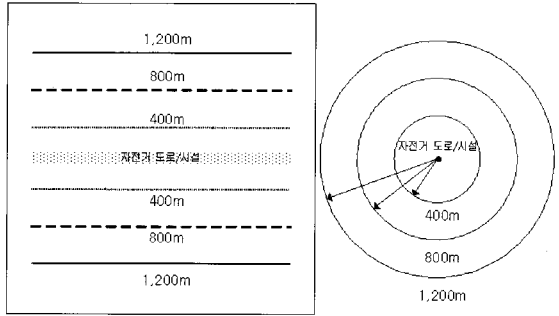


그림 2. 자전거도로 분석 영향권 개념도(NCHRP 7-14)의 예

서 이동하여 새로운 자전거도로 및 시설을 이용할 것임.

- 새로운 자전거도로 및 시설을 이용하는 자전거 이용자 수요는 기존 자전거 이용자수의 함수 형태로 표현할 수 있음.

2.2.2 수요추정 방법

새로운 자전거 이용수요를 추정하기 위해서는 무엇보다도 기존의 자전거 이용수요를 명확히 파악하는 것이 중요한데, NCHRP 7-14에서는 기존 자전거 이용수요 산출을 크게 3가지로 구분하여 일일 자전거 통근자수, 총 일일 성인 자전거 이용자수, 일일 이동 자전거수출하는 방식을 제시하였다.

일일 기존 자전거 통근자수의 경우에는 지역주민 수와 비례하며, 그 지역내 자전거 통근비율과 전국적인 성인 자전거 이용 통근비율의 값이 필요하다. 통근비율의 경우에는 기존 센서스 자료를 토대로 실제 조사수행을 통한 데이터 값을 활용할 수 있다.

이에 산출식은 아래의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며, NCHRP 7-14에서는 W의 경우, 미국 센서스 자료(2001 NHTS : National Household Transportation Survey)를 토대로, 또한 총 일일 기존 자전거 통근자수는 거주자의 80%가 성인인 구로 가정하고, 그 중의 50%가 통근자라고 가정하여 총량적 평균치인 0.4를 적용하고 있음을 알 수 있다.

3) Bicycle and Pedestrian Travel Demand Forecasting (Literature Review); Shawn Turner, Aaron Hottenstein, and Gordon Shunk(Texas Transportation Institute):1997

- Daily existing bicycle commuters = $R \times C \times W$ (1)

여기서, R : 지역 주민 수, C : 자전거 통근 비율,
 W : 전국 성인 자전거 이용 통근비율

또한 2001 NHTS에서는 통근자 비율이 높은 지역과 중간지역, 낮은 지역 3가지로 구분하여, 아래 식 (2)의 T 라는 계수값을 달리 적용하고 있음을 알 수 있다. 이에 통근비율이 높은 곳은 낮은 곳에 비해 약 3배의 통근수가 더 발생하고 각각의 비중은 높은 곳이 60%, 중간이 40%로 적용하고 있다.

- Total daily existing adult cyclists = $R \times T \times 0.8$
 $T(\text{high}) = 0.6 + 3C$, $T(\text{moderate}) = 0.4 + 1.2C$,
 $T(\text{low}) = C$ (2)

여기서, T : 성인 자전거 이용비율

아울러, 일일 아동 자전거수는 위의 거주자중 성인 인구비율 80%를 제외한 20%가 아동 인구이며, 그 중에서 2001 NHTS 조사결과 자전거를 이용하는 비율은 약 5%로 분석되었으며, 일일 아동 자전거수는 식(2)를 토대로 아래 식(3)과 같이 표현될 수 있다.

- Daily child cyclists = $R \times 0.2 \times 0.05$ (3)

위에서 산출된 기존 통근자수 및 성인, 아동의 수요를 토대로 새로운 자전거 도로 및 시설 등이 설치될 경우 각 영향권 범위에 따라 새롭게 유발되는 자전거 수요는 아래의 식 (4)~식 (6)과 같다.

- New Commuters = \sum existing commuters $\times (L(d)-1)$ (4)

- New adult cyclists = \sum existing adult cyclists $\times (L(d)-1)$ (5)

- New child cyclists = \sum existing child cyclists $\times (L(d)-1)$ (6)

여기서, $L(400m)^{4)} = 2.04$, $L(800m) = 1.54$, $L(1,200m) = 1.21$

3. 효과분석을 위한 편익항목(평가지표 등) 검토

자전거도로 및 시설 등의 건설효과에 대한 편익항목(평가지표 등)에 관해서는 이미 상당수의 연구가 진행되어 왔으나 아직까지 완전히 정립된 이론이 존재하지 않고 있으며, 특히 국내에서는 이에 대한 연구가 많이 부족한 상황이다.

그 이유는 첫째, 자전거 이용목적의 다양함에 있는데, 자전거는 통행수단으로 이용될 수도 있지만 레저용이나 혹은 건강목적의 운동 혹은 스포츠 목적으로 이용되며, 이들의 편익은 상호 커다란 차이가 있기 때문이다. 또한 정책적인 방향(중앙정부와 지자체 등)이 자전거 이용목적에 따라 명확히 구분되어 있지 않음도 같은 맥락이라 하겠다.

둘째로는 자전거의 이용에 따라 친환경적인 활동에 흔히 수반되는 편익이 다양한 외부효과(쾌적성, 이동성제고, 거주성 등)를 수반하게 되는데, 이를 계측하는 방법론과 기준 등이 명확히 정립되어 있지 않기 때문이다.

아울러, 자전거 이용의 편익은 다음과 같은 조건에 따라 달라질 수 있다.

- 지리적 범위: 일정구간의 자전거도로를 대상으로 할 것인가 혹은 전국적인 범위(혹은 광역구간)를 대상으로 할 것인가에 따라 편익분석의 접근방법이나 결과가 달라질 수 있다.
- 편익의 대상: 대상을 어느 정도로 할 것인가에 따라 결과가 달라질 수 있는데, 이는 지리적 범위와도 상당한 관계를 가진다. 즉, 지역주민의 이익에 관심을 둘 것인가, 혹은 전국적인 범위를 대상으로 할 것인가하는 문제와 함께 자전거 생산업체나 대체교통수단의 이해 당사자들의 입장

4) L(d)는 영향권 범위(400, 800, 1,200m)에 따른 가중치임.

을 반영할 것인가, 또는 자전거 이외의 통행자(자동차나 오토바이, 보행자, 우마차, 트랙터 이용자들)의 간접적인 불편이나 이해관계를 어떻게 처리할 것인가 하는 문제가 제기될 수 있다.

- **혜택의 범위** : 어느 정도까지 혜택의 범위를 고려할 것인가 하는 문제이다. 이 점은 앞서 지적한 바와 같이 자전거와 같은 친환경적인 교통수단이 갖는 광범위한 외부효과와도 관련이 크다.

3.1 기존도로 투자사업시 편익항목 검토

일반적으로 도로 및 교통시설 투자사업 시행시 발생하는 편익은 직접편익과 교통개선으로 인한 사회적 편익인 간접편익으로 구분하여 분석되며, 도로사업 시행시 교통시설을 이용자들에게 발생시키는 편익의 종류는 아래의 표 1과 같다.

표 1. 도로 투자사업시 편익항목

구분	편익 항목
직접편익	- 차량운행비용 절감 - 통행시간 절감 - 교통사고 감소 - 쾌적성 증가, 정시성 향상, 안정성 향상 등*
간접편익	- 환경비용 절감 - 지역개발효과* - 시장권의 확대* - 지역산업구조 개편*

주) *는 실제 경제성 분석 편익에는 계량화하여 반영하지 못한 항목임.

3.1.1 차량운행비용 절감편익

차량운행비용 절감은 사업미시행시 도로구간을 주행하는 차량의 운행비용과 사업시행시 도로구간을 주행하는 차량의 운행비용과의 차이를 의미하며, 비용의 성격에 따라 고정비와 변동비로 구분되고, 이 중에서 고정비는 차량의 감가상각비, 운전원 및 보조원의 임금, 보험료 및 차량검사료로 세분되며, 변동비는 연료비, 엔진오일비, 타이어마모비, 차량유지수선비 등으로 구분된다.

또한 보통의 도로투자에 따른 경제적인 타당성을 분석할 때에는 차량의 운행비용으로 변동비인 유류비, 엔진오일비, 타이어비, 유지정비비, 고정비인 감가상각비 항목을 고려하며, 차량운행비용은 통행배정의 결과로 산출된 링크의 주행속도, 링크길이와 교통량을 이용하여 주행속도와 속도·차종별 총 차량운행비용 관계식을 이용하여 산출하게 된다.

이에 따라 차량운행비용 절감편익(VOCS) 계산식은 다음과 같이 표현된다.

$$VOCS = VOC_{\text{사업미시행}} - VOC_{\text{사업시행}}$$

여기서, $VOC = \sum_{k=1}^3 (D_k \times VT_k \times 365)$

D_k : 차종별 대 · km
 VT_k : 해당속도에 따른 차종별 차량운행비용
 k : 차종(1:승용차, 2:버스, 3:화물차)

그러나 위의 식을 자전거도로 건설에 따른 편익항목으로 적용하기에는 큰 무리가 있는데, 그 이유는 현재 연구된 바에 의하면 자전거 운행비용에 대한 명확한 개념이 없을뿐 아니라, 자전거도로별로 통행속도의 차이가 크지 않을 것으로 예상되는 바, 자전거도로건설에 따라 발생하는 자전거 운행비용 절감의 기대효과가 높지 않을 수 있기 때문이다.

표 2는 자전거와 승용차의 운행비용을 포함하여 속도와 공간 이용효율성 등을 비교한 표인데, 보이는

표 2. 자전거와 승용차의 비교

비교 항목	승용차	자전거	자전거/ 승용차	승용차/ 자전거	
차량운행비용(원/km)	100*	10	0.1	10	
도심통행속도(km/h)	15~20	12~15	0.8	1.3	
에너지 소모량(칼로리/인·km)	1,860	35	0.02	53	
공간 이용 효율성	최소주행면적(m ² /대)	18	2.2	0.1	8
	주차면적(m ² /대)	30	1.5	0.05	20
대기오염, 소음, 분진	다량배출	없음			

자료 : 자전거 시범도시 조성 및 광주광역시 도로 및 교통여건 분석, 최동호, 1988

* 속도별 차이에 따라 달리 적용됨.

바와 같이 자전거에 대한 차량운행비용은 승용차에 비해 상대적으로 너무 적은 수치이며, 이를 산출할 명확한 근거도 미약한 상태이다.

3.1.2 통행시간 절감편익

통행시간 절감편익은 사업의 시행으로 인해 절약되는 통행시간의 양을 해당사업의 편익으로 보는 것으로, 편익의 항목 중 가장 높은 비율을 차지하는 항목이며, 통행자의 통행시간 절약에 의한 편익은 한계임금률법을 이용하여 시간가치를 분석하며, 시간가치에 따른 편익은 교통량 자료와 시간단축 크기를 도출하여 나온 대-시 결과를 이용하여 사업 미시행시와 사업 시행시의 차이를 이용하여 산출한다.

통행시간 절감편익을 산출하는 계산식(VOTS)은 다음과 같다.

$$VOTS = VOT_{\text{사업미시행}} - VOT_{\text{사업시행}}$$

여기서, $VOT = \sum_{k=1}^3 (T_k \times P_k \times 365)$

T_k : 차종별 대·시
 P_k : 차종별 시간가치
 k : 차종(1:승용차, 2:버스, 3:화물차)

이러한 통행시간 절감편익은 차량속도가 변화하는 경우 운전자는 물론 차량에 승차하고 있는 승객에게도 통행시간이 달라지는 결과를 가져오게 되는데 차량속도가 향상되면 운전자 및 승객의 통행시간은 절감되어 다른 목적에 시간을 사용할 수 있게 되고 이러한 시간의 잉여를 화폐가치로 계량화하여 통행시간 절감편익을 산정하게 된다.

그러나 자전거도로 성격상 도로 네트워크마다 자전거도로가 구현되어 있으며, 링크 속성별 타입 구분이 명확한 상태라면 교통량전환에 따른 통행시간절감에 대한 편익을 기대할 수 있겠으나, 각 링크별 타입에 대한 명확한 구분이 될 수 없는 관계로 통행시간 절감편익을 크게 기대할 수 없을 뿐 아니라, 분석에 따라 (-) 효과의 편익이 발생될

여지도 있다.

3.1.3 교통사고 감소편익

새로운 도로의 신설과 확장사업은 기존도로의 차량을 흡수하여, 기존도로의 교통량을 줄이는 효과를 가져오게 되며, 신설도로의 경우에는 기존의 교통량을 흡수함으로써 인해 역대-km당 교통사고건수가 증가하지만, 기존도로의 역대-km당 사고건수는 상대적으로 많이 감소할 것이므로 편익의 발생여부에 정밀한 검증을 수반하고 있다.

교통사고비용은 기준년도에 따라 달리 적용하고 있으며, 도로유형별 발생건수는 도로유형별 1억대·km당 교통사고 발생건수를 기준으로 하며, 이러한 교통사고 감소편익(VICS) 계산식은 다음과 같다.

$$VICS = VIC_{\text{사업미시행}} - VIC_{\text{사업시행}}$$

여기서, $VIC = \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^2 (A_{kl} \times P_l \times VL_k) \times 365$

A_{kl} : 도로유형별·사고유형별 1억대-km당 교통사고 사상자수
 P_l : 사고유형별 사고비용
 VL_k : 도로유형별 역대-km
 k : 도로유형(1:고속도로, 2:국도, 3:지방도)
 l : 사고유형(1:사망, 2:부상)

자동차에 의한 교통사고비용은 현재 계량화하여 검증할 여지가 있음에도 자전거도로 건설에 따른 사고비용은 아직까지 명확한 연구내용이 없어 적용하기에 한계가 있다.

3.1.4 환경비용 절감편익

도로노선의 신설이나 확장은 기존도로의 통행량을 흡수하여 기존도로의 교통량을 줄이는 효과를 가져오며, 따라서 교통량 감소로 인한 대기오염 및 소음 감소효과가 발생하기 때문에 자동차 교통량의 경우에는 다음과 같은 계산식으로 대기오염 및 소음피해 비용을 추정한다.

- 대기오염비용 계산식

$$EVA = \sum_{k=1}^3 (D_k \times EV_k \times 365)$$

여기서, D_k : 차종별 대·km
 EV_k : 해당속도에 따른 차종별 대기오염비용
 k : 차종 (1:승용차, 2:버스, 3:화물차)

- 소음피해비용 계산식

$$EVN = EVN^0 - EVN^C$$

여기서, EVN : 소음비용(편익)
 EVN^0 : 사업시행전 소음비용(편익)
 EVN^C : 사업시행후 소음비용(편익)

자전거도로의 경우에는 자전거가 친환경적 교통수단으로서 대기오염 및 소음피해에 대한 비용추정이 필요한 항목이 될 것인지가 의문시되며, 실제로 자전거도로 건설의 미시행시와 시행시의 환경비용 절감 편익 발생 여지가 크지 않을 것으로 사료된다.

또한, 대기오염의 경우에는 해당속도에 다른 차종별 대기오염을 계산하고 있는데, 자전거의 경우에는 대기오염 발생원이 없을 뿐 아니라, 소음의 경우에도 사업시행전과 시행후의 비용을 측정하기에는 큰 무리가 있을 수 있다.

3.2 NCHRP 7-14에서 제안하는 편익항목

NCHRP 7-14에서 제안하는 편익의 항목은 기존 자전거도로 이용자에 대한 수요를 명확히 파악하여, 새로운 자전거 이용자 수요를 산출하는 것이 가장 중요하며, 자전거도로가 생기므로 인하여 발생될 수 있는 편익항목을 NCHRP 7-14에서는 표 3과 같이 크게 5가지로 구분하고 있다.

3.2.1 Mobility Benefit

Mobility 편익의 경우에는 우선 자전거라는 교통수단(mode)이 다른 교통수단과 마찬가지로 명백하

표 3. NCHRP 7-14에서 제안하는 자전거도로 건설에 따른 편익항목

구분	계산식 및 세부 내용
1 Mobility	- Annual mobility benefit = $M \times V / 60$ (existing commuters + new commuters) $\times 50 \times 5 \times 2$ 여기서, M=기꺼이 소비할 수 있는 시간(단위:분), V=한시간당 시간가치 50주, 5일, 2회(왕복) 기준
2 Health	- Annual health benefit = total new cyclists $\times \$128$ 여기서, \$128은 실제 조사한 지역의 \$19에서 \$1,175달러의 Median value 적용
3 Recreation	- Annual recreation benefit = $D \times 365$ 여기서, D는 전체 자전거 활동에 대한 시간 가치로서, 새로운 자전거 이용자 - 새로운 통근자 수와 관계 있음.
4 Community Livability Benefit	- Community livability benefit = $((D_e - D_n) / D_e) \times \beta / 100 \times P(-1)$ 여기서, D_e : 자전거도로를 중심으로 미치는 영향권 D_n : Buffer Size(대표적으로 200, 400, 600m) β : regression coefficient P : metro median home sale price
5 Externalities Benefit	- Annual externalities benefit = new commuters $\times L \times S \times 50 \times 5$ 여기서, L: Average Round Trip Length(단위:mile) S: Congestion Saving per mile (urban:13cents, suburban:8cents, small and rural:1cents)

게 수단분담을 가지고 있다는 출발선상에서 고려되어야 하며, 이에 맞는 각 도로시설(링크 속성 및 기하구조 설정 등)이 필요하다.

이는 자전거도로에 대한 명확한 등급설정(예 : 자전거전용, 자전거도로 차선이 있고 가로상에 주차시설이 있거나 없는 도로, 자전거도로 차선이 있거나 없는 상태에서 주차시설이 있거나 없는 도로 등)이 필요하며, 그에 다른 분석용 네트워크가 필요하게 된다.

Mobility Benefit을 산출하기 위한 함수식에는 다음과 같이 시설적인 측면의 조건 이외에 통행시간, 계절적 요인, 각 독립변수들이 포함될 수 있겠으며 그에 따라 각 지역특성에 따른 설문조사와 통계적 검증 등이 포함될 수 있겠다.

$$U = f(\text{Facility, TravelTime, Season,} \\ \in \text{dividual Variables})$$

$$U_{iA} = V_{iA} + \varepsilon_{iA}$$

$$V_{iA} = \beta_0 + \beta_1 W_{iA} + \beta_2 O_{iA} + \beta_3 B_{iA} + \beta_4 P_{iA} + \beta_5 T_{iA} \\ + \beta_6 S_{iA} + \beta_7 A_{iA} + \beta_8 I_{iA} + \beta_9 H_{iA} + \beta_{10} C_{iA}$$

여기서,

W : 기후(겨울=1, 여름=0)

O : off-road(자전거 전용도로?) (예=1, 아니오=0)

B : 자전거 차선(예=1, 아니오=0)

P : 노상주차장 시설여부(없음=1, 있음=0)

T : 자전거시설까지의 예상주행시간

S : 성별(남자=1, 여자=0)

A : 나이

I : 가구수입(수입/1,000)

H : 가구인원(>2=1, 기타=0)

C : 여름기간에 이용여부(예=1, 아니오=0)

이에 결과적으로는 표 3과 같은 간단한 식으로 표현되어 연간 기꺼이 소비할 수 있는 시간과 그에 따른 시간가치(미국의 경우, 약 \$12 적용)를 구하게 되면, 기존 자전거 이용자와 새로 유발된 자전거 이용자수와 관계하여 편익을 산출할 수 있다.

그러나 이는 실제권역에 이용하는 수요와 자전거 도로로 인하여 발생된 New Bicycle User를 산출해야 하는데, 일반적으로 자전거 도로 네트워크가 소규모 지역에 있는 경우 적용할 수 있겠으나, 노선연장이 너무 광범위하거나 지역간 도로건설 등에는 적용하는데 무리가 있을 수 있다.

3.2.2 Health Benefit

Health Benefit의 경우에는 지역별 육체적 활동에 따른 비용 절감 효과(연간)를 토대로 편익을 산출할 수 있다. NCHRP 7-14에서는 10개의 지역에 대한 육체적 활동에 따른 연간 비용 절감을 소득의 증가 개념으로 하여 조사한 결과, 약 \$19에서 \$1,175달러까지로 나타났으며, 표 4에서는 조사된 값의 중앙

값(Median)인 \$128을 적용하여 계산토록 제시하고 있다.

만약, 국내에서 육체적 활동에 따른 연간비용의 절감편익만 산출이 가능하다면, 이것은 새로운 자전거 이용자수만큼 편익이 발생하는 것으로 판단하여 연간편익을 쉽게 산출할 수 있으며, Health Benefit의 경우는 권역특성 및 자전거도로 노선연장 등 여러 변수항목에 대한 영향이 적고, 모든 사람들이 동의할 수 있고, 육체적 활동에 따른 비용절감효과만을 고려하면 된다는 장점을 가지고 있다.

표 4. 미국의 지역별 육체적 활동에 따른 비용절감

Study/Agency	연간 비용 절감(\$)
Washington State Department of Health	19
Garrett et al.	57
South Carolina Department of Health	78
Georgia Department of Human Resources	79
Colditz(1999)	92
Minnesota Department of Health	>100
Goetz et al.	172
Pronk et al.	176
Pratt	330
Michigan Fitness Foundation	1,175

아울러, 운동부족으로 인한 순환기계질환(성인병)이 전체 사망원인의 30%를 차지(통계청, 1995)하고 있고, 특히 우리나라 통학인구의 대부분인 학생들의 경우, 체격은 커지나 체력은 저하되는 현상을 초래되고 있는 상황과도 밀접한 관계에 있다. 이는 직접적인 결과로 의료비 증가, 수명단축, 건강상실로 인한 생산활동의 차질이 야기되며, 캐나다의 조사에 따르면 신체활동에 참여하지 않음으로써 매년 21억 불의 직접적 건강비용이 발생하는 것으로 나타났다.

미국 보건성에서는 체육활동에 참여한 자가 미참여자에 비해 연간 330불의 의료비 절감효과가 있음을 보고한 바 있으며, 이러한 체육활동에 대하여, "UNESCO, 1999"는 체육활동에 투자된 1불은 3.2불의 의료비 절감을 나타내는 것으로 보고하고 있다.

이에 Health 편익과 같은 항목에 대한 적용은 향후 1인당 소득 1만불 수준 이후 급증하는 여가수요에 대처하고, 창조적이고 생산적인 여가생활로 개인의 자기실현 유도과 가정, 지역, 직장 및 각종 동호회 등의 소속감 회복과 연대감을 조성시키는 것에 자전거 이용 활성화는 큰 몫을 담당하고 있다고 판단된다.

3.2.3 Recreation, Community, Externalities Benefit

그 외 recreation, community, externalities 편익의 경우에는 자전거도로가 발생하게 됨에 따른 2차적(secondary) 편익의 특성이 강한 항목으로서, recreation 편익은 특정한 날에 발생하게 되는 시간당 가치가 필요하므로, 국내 자전거도로 건설에 대한 편익으로 바로 적용하기에는 무리가 있을 수 있다.

또한 community, externalities 편익의 경우에는 새로운 자전거 이용수요를 산출하기 위한 각각의 영향권(예:자전거도로 반경 400, 800, 1,200m)에 따라 거주하는 평균 가구 크기의 계수와 각 지역별 토지지가 등의 고려 등도 함께 고려해야 하는 어려움이 있으며, 혼잡비용에 대한 지역별(도시, 도시외곽, 지방지역 등) 가치 등의 산출이 선행되어야 한다.

3.2.4 요약

이에 NCHRP 7-14에서 적용하고 있는 편익을 국내에 적용하기 위해서는 우선적으로 기존 자전거 이용자수와 새롭게 유발되는 자전거수의 산출이 필요하며, 자전거도로 및 시설에 대한 영향권 설정과 더불어, 각각의 적용계수(factor)들의 국내 현실화가 필요한 실정이다.

또한, 산출된 편익값에 대한 검증 및 모니터링 등의 단계가 함께 고려되어야 할 것이다.

3.3 기타 기존 국외 연구의 편익항목 검토

앞서 살펴본 바와 같이, 자전거 편익분석의 방법

론은 교통의 대체수단으로 이용되는 경우와 레저 및 스포츠 용도로 이용되는 경우 등이 전혀 다른 방법론이 적용될 수 있으며, 시내교통 대체수단(혹은 친환경적인 교통수단: greenway)의 경우, 일반적인 교통수요 및 편익분석과 유사한 방법론이 적용된다. 레저 및 스포츠의 경우에는 여행비용 접근방법(TCM)이나 조건부 가치측정법(CVM)과 같은 환경재의 가치측정 수단방법이 이용되는 경우도 있으나, 이 밖에도 상황이나 조건, 그리고 대상지역이나 분석대상이 되는 편익의 범위를 고려하여 다양한 방법이 동원될 수 있다.

아울러, 기존연구결과들을 살펴보면, 일반적으로 자전거도로를 건설함으로써 발생하는 편익을 대기오염(air pollution), 혼잡(congestion), 수입(earnings), 생태·환경측면(ecological/en-vironmental), 경제적인 분석(economic bene-fits), 직업(jobs), 소음(noise), 주차(parking), 도로 유지보수(road maintenance), 도로안전도(road safety), 유발 수요(derived demand), 이용자 비용절감(user savings) 등의 항목으로 추정하고 있다.

그러나 이러한 방법들은 분석대상에 따라 분석지역적·공간적 범위, 연구의 내용과 깊이, 분석목적 등이 상이하고 방법론에 있어서도 많은 차이를 보이고 있다.

또한, 앞서 살펴본 바와 같이 자전거도로 건설에 대한 편익항목 추정은 기존도로건설에 따른 편익항목으로 편익을 산출하는 방법과 NCHRP 7-14에서 적용하는 방법에도 아직까지는 국내에 그대로 적용하는 것은 큰 한계가 있으며, 정성적인 평가항목(이용활성화 도모, 환경친화, 쾌적성, 건강증진 등)이 고려될 수 있는 여지가 있다.

이에 다음 장에서는 정량적 평가 이외에 정성적인 편익을 정량화할 수 있는 방안 등을 검토하고자 한다.

4. 정성적인 편익항목의 정량화 분석방안 검토

4.1 편익추정방법의 대안

자전거도로 사업에 대한 편익은 앞 절에서 살펴본 바와 같이 기존도로사업에서 산출되는 편익방식과 기타 국외문헌에서 검토된 사례를 적용함에는 많은 가정과 한계가 있음을 알 수 있으며, 일반적인 재화 가치로 편익추정의 어려움이 있을 수 있는바, 본 절에서는 정성적인 편익항목에 해당하는 비시장재화의 경제적 가치 추정방법으로 정량화하는 분석방안을 검토하였다.

일반적으로 비시장재화에 대한 추정방법은 크게 조건부가치추정법(CVM : Contingent Valuation Method), 여행비용접근법(TCM : Travel Cost Method), 컨조인트분석법(Conjoint Analysis Method) 등으로 구분된다.

그 중에 조건부가치추정법(CVM : Contingent Valuation Method ; 이하 CVM)의 경우에는 경제학의 범주에만 그치는 것이 아니라 실험설계, 마케팅, 정치과학, 심리학, 사회학, 조사연구 등의 다른 영역과 결합되어 유연성있게 사용되며 특히, 자전거도로와 같은 관광 및 레크레이션, 대기질, 수질 등 다양한 분야의 가치추정에 널리 이용되는 분석방법이다.

4.2 CVM 추정방법

4.2.1 기본개념

조건부가치추정법(CVM)은 사람들이 어떤 공공재에 부여하고 있는 가치를 직접적으로 이끌어내는 방법으로, CVM은 개인 대 개인, 우편 혹은 전화 인터뷰를 통해 사람들이 갖고 있는 공공재에 대한 가치를 설문하는 방식을 사용한다.

특별히 고안된 설문지는 공공재 변화에 대한 가상적인 상황을 설정하고 여러 조건들을 달아 사람들을 가상적인 상황에 결합되도록 한다. 이런 조건하에서

응답자들은 공공재 공급수준의 가상적인 변화에 대해서 어느 정도 지불의사(WTP : Willing to Pay)가 있는지를 대답하게 된다.

CVM은 이론적 근거에 기반을 두고 있고, 간접적 방법을 적용할 수 있는 대상에는 물론, 간접적 방법을 사용할 수 없는 대상에도 다양하게 사용할 수 있는 장점이 있으나 CVM은 선호를 나타내려는 응답자의 의사와 능력에 크게 의존한다.

이러한 관점에서 볼 때, CVM이 성공적으로 편익추정에 사용되려면, 설문지 작성, 설문과정 등 적용과정에서 CVM의 배경상 논쟁이 되었던 전략적 행위, 가상성, 의향과 행동의 상관관계 등을 충분히 살펴보아야 한다. 또한 설문방식을 편익추정의 수단으로 사용하기에 지불의사 유도방법이나 설문방법 등도 CVM에서는 중요한 부분이 된다.

4.2.2 CVM 질문방법

CVM을 수행하기 위하여 질문하는 방법에는 크게 4가지가 있으며 그에 대한 요약은 다음 표 5와 같다.

표 5. CVM 설계를 위한 질문방법

방 법	내 용
개방형 질문법	- 응답자가 직접 WTP를 대답하도록 개방형으로 질문한다.
경매법	- 임의의 WTP에 대한 지불의사를 질문하는 과정을 되풀이하여 일정금액에 수렴하면 질문을 중지한다.
지불카드법	- 다른 항목의 가구당 평균적인 지출목록을 함께 제시하면서, 연구대상 환경제에 대한 지출액을 답하도록 한다.
양분선택형 질문법	- 일정금액을 지불할 의사가 있는지 여부를 묻고, 예/아니오로 대답하도록 한다.

4.2.3 기본모형

본 연구에서는 Hanemann이 제안한 효용격차모형(utility difference model)을 사용하여 양분선택

형⁵⁾ 조건부가치측정 데이터로부터 가치를 이끌어 내는 방법에 대해 살펴보고자 한다.

응답자가 자신의 효용함수를 정확하게 알고, 주어진 화폐소득과 개인의 특성들에 근거하여 공공재의 수준변화에 대해 느끼는 효용은 간접효용함수 $v(j, y; s)$, y : 소득, s : 개인의 관찰 가능한 특성들로 표현된다. 그러나 연구자에게는 응답자가 공개 공급수준의 변화를 선택 또는 거부하는데 있어 관찰될 수 없는 부분이 존재하기 때문에 효용함수는 다음과 같이 확률적 성분을 갖게 된다.

$$u(j, y; s) = v(j, y; s) + \varepsilon_j, j = 0, 1 \quad (7)$$

만약, 응답자가 “자전거 도로 사업을 위해 B금액을 지불할 의사가 있는가?”라는 질문에 대해 “예”라고 응답하는 경우, 효용함수는 $u(1, y - B; s) \geq u(0, y; s)$ 이다. 즉, 사업시행 이전에 누렸던 효용보다 소득의 감소에도 불구하고 사업시행으로 얻는 효용이 더 커짐을 의미한다. 이는 다시 $v(1, y - B; s) + \varepsilon_1 \geq v(0, y; s) + \varepsilon_0$ 로 나타낼 수 있고, 변형하면 식(8)과 같은 효용격차함수로 나타낸다.

$$\Delta v = v(1, y - B; s) - v(0, y; s) \geq \varepsilon_0 - \varepsilon_1 = \eta \quad (8)$$

여기서, 1과 0은 각각 사업이 시행된 상태와 시행되기 이전의 상태를 나타내며, η 는 $\varepsilon_0 - \varepsilon_1$ 이며 효용격차의 분포를 정형화하기 위한 확률변수(stochastic variable)이다. 각 응답자는 사업시행을 통해 얻을 수 있는 간접효용의 증가분(Δv)이 양(+)이면 “예”라고 답하고 제시금액의 지불에 대해 동의하는 것으로 개인의 효용을 증가시킬 것이다. 따라서 응답자가 “예” 응답을 할 확률은 다음의 식(9)와 같다.

$$\Pr(\text{Yes}) = \Pr(\Delta v \geq \eta) = F_\eta(\Delta v) \quad (9)$$

여기서 $F_\eta(\cdot)$ 확률변수 η 의 누적분포함수이다. 그런데 응답자가 실제로 지불의사질문에 대해 “예”라는 응답을 하였다면 확률변수인 지불의사액 C 에 대하여 $\Pr(\text{Yes}) = \Pr(B \geq C) = 1 - G_C(B)$ 임을 의미한다. 따라서 η 의 누적분포함수는 다음의 식(4)와 같이 나타낼 수 있으며, $G_C(\cdot)$ 는 확률변수 C 의 누적분포함수이고 B 는 제시된 금액이다.

$$F_\eta(\Delta v) = 1 - G_C(B) \quad (10)$$

또한 효용극대화를 추구하는 응답자 N 명의 표본을 가정할 경우 i 번째 응답자가 제시금액(B_i)에 “예”라고 응답할 때와 i 번째 응답자가 제시금액(B_i)에 “아니오”라고 응답할 때로 구별하면, 로그-우도함수는 식(11)과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N [I_i^Y \ln(1 - G_C(B_i)) + I_i^N \ln G_C(B_i)] \quad (11)$$

만약, Δv 는 B 에 대해 선형함수($\Delta v = a - \beta B$)이고, 선행 연구들의 사례에 따라 $G_C(B_i)$ 가 로지스틱 분포를 따른다면, 다음의 식(12)와 같은 단일경계 양분선택형(SBDC) 모형의 로그-우도함수를 얻을 수 있다.

$$\ln L = \sum_{i=1}^N [I_i^Y \ln \frac{1}{1 + \exp(-(\alpha - \beta B_i))} + I_i^N \ln \frac{1}{1 + \exp(\alpha - \beta B_i)}] \quad (12)$$

Hanemann(1984)에 의하면, 근거한 개인이 사업 시행에 대한 WTP가 0보다 크거나 같다고 가정할 경우(WTP가 0의 값을 갖는 경우에는 제시금액인 β 의 값이 0인 경우임.), 평균 WTP는 다음의 식(13)과 같이 계산되며 이를 절단된 평균 WTP(truncated mean WTP : C^{++})라고 한다.

$$C^{++} = \frac{1}{\beta} \ln [1 + \exp(\alpha)] \quad (13)$$

한편, 일부 응답자들이 사업시행을 통해 공공재의 공급수준을 현재보다 높이는 것보다는 공급수준을

5) 양분선택형 질문법(DC, Dichotomous Choice Question)의 유형은 단일경계 양분선택형(SBDC: Single-bounded choice question)과 이중경계 양분선택형(DBDC: Double-bounded choice question)으로 나뉜다.

현재보다 더 낮추는 것이 더욱 바람직하다고 생각한다면 응답자들의 WTP는 영(零)보다 작을 수 있으며, 이는 사업시행에 대해 도리어 보상받아야 한다고 생각할 것이다.

이러한 측면을 고려하여, Hanemann(1989)은 응답자의 WTP가 음(-)의 값을 포함하는 모든 실수 영역에 존재하도록 하는 대안적인 평균 WTP(mean WTP: C^+)를 제안하였으며, 아래 식 (14)와 같다.

$$C^+ = \alpha/\beta \quad (14)$$

4.2.4 CVM 적용과정

- 통상 CVM의 적용과정은 다음과 같이 4단계를 거치게 된다.
 - 1단계 : 그 가치를 측정하고자 하는 연구대상 재화를 설정하고 대상재화의 특성 및 제반정보를 정확히 전달하면서 응답자가 이해하기 쉽도록 묘사하는 가상 시나리오를 작성함.
 - 2단계 : 1단계에서 작성된 가상 시나리오를 바탕으로 정해진 기준들을 준수하면서 설문지를 작성하고 보완하는 단계임.
 - 3단계 : 현장 설문조사를 실행하여 응답자로부터 의미있는 자료를 수집함.
 - 4단계 : 얻어진 자료를 취합, 분석하여 필요한 정보를 도출하는 단계임.

4.2.5 CVM에 대한 평가

Kenneth Arrow, Rober Solow 등으로 구성된 미국의 National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA)패널은 1993년 1월 11일 보고서를 제출하여, "CVM이 비사용가치를 포함하여 피해를 법적으로 평가하는 출발점이 되기에 충분히 믿을만한 추정치를 제공할 수 있다"는 결론을 내렸다.

이에 이러한 CVM 기법은 기존 경제성 분석을 활용한 편익산출로는 한계가 있는 도로건설분야중 교량건설에 따른 경관평가, 관광지와 같은 특수성을 지

닌 도로건설, 환경개선에 따른 편익, 삶의 질 향상 등에 널리 활용될 수 있으리라 판단되며, 유사정책관련 사업의 비용편익분석에 CVM의 응용 및 확대할 필요성이 있다는 시사점을 얻을 수 있었다.

5. 결론 및 요약

현재, 우리 사회에서의 자전거도로에 대한 관심과 이용가치의 증대는 계속되고 있는 반면, 이에 대한 평가가 제대로 이루어지지 않고 있으며, 특히 자전거도로 건설에 따른 경제적인 가치측정에 대한 방법론과 연구 등이 미흡한 실정이다.

이에 본 고에서는 자전거도로에 대한 설치효과 및 경제적인 타당성(편익 등)을 분석하기 위해 고려될 수 있는 사항으로 국외의 연구결과 등을 검토하였으며, 이를 바탕으로 가치측정을 위한 선행단계로서 자전거도로 수요예측 분석 방법론 검토를 통해 새롭게 유발될 수 있는 자전거 이용자 수요를 산출하는 과정 등을 고찰하여 보았다.

자전거도로 수요예측 방법은 크게 전통적인 수요예측기법(자전거 교통특성에 따라 수단선택을 제외한 3단계 기법적용 가능 등)과 Sketch-Planning 기법을 검토하였고, 효과분석시 함께 사용하게 되는 편익항목에 대해서는 정량적 평가가 가능한 항목과 정성적인 편익을 정량적으로 평가할 수 있는 방안 등으로 나누어 검토하였다.

특히, 일반적인 도로건설에 따른 정량적인 편익항목 계측으로서 자전거도로의 경제적 가치를 산출하기 어려운 정성적인 편익항목에 대한 정량적 평가 방안은 자전거도로 건설이 비시장재화의 성격을 띄고 있다는 가정하에, 조건부가치추정법(CVM; Contingent Valuation Method)을 활용한 편익추정방법을 기술하였으며, CVM에 대한 적용시사점 등을 함께 기술하였다.

향후, 자전거도로 및 시설은 지속적으로 계속 확충될 것으로 전망하고 있으며, 자전거 이용 활성화도 강

조될 예정인 바, 이를 뒷받침해 줄 수 있는 정량적인 평가와 수치의 국내 적용을 위한 연구 등이 빠른 시일 안에 활발히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

끝으로, 자전거도로 건설이 중앙정부 및 지자체별 각각의 계획에 따라 지속적으로 확충되고 건설될 경우, 자전거도로가 언제(When?), 어디에(Where?), 어떻게(How?), 어느 형태(What?)의 도로로 건설되고 확충되어야 하는지에 대한 여부와 우선순위(또는 시범사업 선정 등)를 정함에 있어서의 기준 등은 자전거도로 가치를 평가하는 편익항목에 대한 연구가 활발히 이루어질 때 가능하리라 판단된다.

참고문헌

1. 고은미, CVM에 의한 급행전철도입으로 인한 편익추정에 관한 연구, 1999
2. 이병주의 3인, CVM을 이용한 관광지 접근도로 신설에 따른 편익추정, 2005
3. 한국개발연구원 문화·과학시설의 가치추정 연구, 2004
4. 한국개발연구원 도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제4판), 2004
5. 한국개발연구원 예비타당성 조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제4판), 2004
6. Betz, C., J. Bergstrom, and J. M. Bowker, A Contingent Trip Model for Estimating Rail-trail Demand. *Journal of Environmental Planning and Management*, 46(1) : p. 79-96, 2003
7. Fix, P, and J. Loomis. Comparing the Economic Value of Mountain Biking Estimated Using Revealed and Stated Preference. In *Journal of Environmental Planning and Management*, No 41, pp. 227~236. 1998
8. Glenn W. Harrison and Bengt Kristrom, "On the Interpretation of Response to Contingent Valuation Survey", 1995
9. Harrison, G.W., and B. Kristrom. *On the Interpretation of Response to Contingent Valuation Survey*. Manchester University Press 1995
10. Lindsey, G. and G. Knaap, Willingness to pay for urban greenway projects. *Journal of the American Planning Association*, 65(3): p. 297-301, 1999
11. Litman, T., Economic Value of Walkability. *World Transport Policy & Practice*, 10(1): p. 5-14, 2004
12. NCHRP 7-14 Guidelines for Analysis of Investments in Bicycle Facilities, TRB, 2005
13. Nelson, A. C. and D. P. Allen, If You Build Them, Commuters Will Use Them. *Transportation Research Record*, 1578 : p. 79-83, 1997
14. Sharples, R., A Framework for the evaluation of facilities for cyclists-Part 1. *Traffic Engineering and Control*, p. 142-149, 1995
15. W. Michael Hanemann., "Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Response", *American Journal of Agricultural Economics*, 66, pp. 332~341, 1984
16. W. Michael Hanemann, "Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Response: Reply", *American Journal of Agricultural Economics*, 71, pp. 1057~1061, 1989.
17. *Bicycle and Pedestrian Travel Demand Forecasting : Literature Review*, TTI, FHWA/TX-98, 1997
18. Shawn Turner, Aaron Hottenstein, and Gordon Shunk *Bicycle and Pedestrian Travel Demand Forecasting(Literature Review)*, Texas Transportation Institute, 1997