

■ 論 文 ■

통근시간대 자전거이용자의 이용행태특성 및 경로선택 영향요인 분석

Bicyclists' Behavioral Characteristics and Impacts on Route Choice Using Stated Preference Survey in Commuting Time

이 재 영

(대전발전연구원 연구위원)

목 차

- | | |
|--|---|
| <p>I. 서론</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 연구의 배경과 목적 2. 연구의 내용 및 방법 <p>II. 이론적 검토</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 확률선택이론과 로짓모형 2. 자전거이용자 행태분석 선행연구 검토 3. 경로레벨 및 링크레벨 영향요소관련 연구 | <p>III. 이용행태 및 경로선택 특성 분석</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 자료수집 및 방법 2. 이용행태적 특성 분석 3. 경로선택특성 <p>IV. 결론 및 향후 연구과제</p> <p>참고문헌</p> |
|--|---|

Key Words: 통근시간 자전거이용자, 링크레벨요소, 경로레벨요소, 경로선택, 로짓모형
Bicyclists in commuting time, Link level factors, Route level factors, Route choice, Logit Model

요 약

자전거시설의 공급에도 자전거이용자가 시설이용을 기피하거나 다른 루트를 이용하여 주행하는 이유는 시설이 자전거이용자의 선호를 충분히 고려하지 않았기 때문이다. 본 연구의 목적은 자전거이용활성화정책의 주요 대상이 되는 통근시간대 자전거이용자의 통행특성과 경로선택에 영향을 미치는 요소를 분석함으로써 자전거도로의 계획 및 설계에 필요한 시사점을 도출하는데 있다. 이를 위하여 SP조사기법을 이용하여 이용자의 선호를 조사하고, 링크레벨 및 경로레벨요소로 구성된 로짓 모형을 도출하였다.

결론적으로, 본 연구에서 검토된 9개 요소가 모두 자전거도로의 루트선택에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 특히, 보조간선도로, 분리형자전거차로를 선호하는 것으로 나타났다. 따라서, 차선만으로 설계할 경우에는 분리공간(buffer zone)을 설치하여야 하며, 자전거차로를 설치할 경우에는 자동차의 속도를 50km/시 이하로 제한할 필요가 있다.

In the last five years, Korea has supplied many more bicycle facilities than in the last several decades combined. However, have bicyclists increased in proportion to investment? If bicyclists are avoiding existing bicycle related facilities, including off-road bicycle facilities, it could be because suppliers did not consider bicyclists' preferences in their planning process.

In this paper, the authors tried to understand the bicyclists' behavioral and route choice characteristics using stated preference surveys and a logit model, using commuting time in Daejeon Metropolitan City, Korea. The results show that nine factors affect the route choice behavior of bicyclists. In particular, bicyclists preferred sub-arterial roads to off-road, dedicated bicycle facilities in residential area. It means that bicyclists like a seamless bicycle route and that a buffer zone between car lanes and bicycle lanes or 50 km/h speed limits for cars are necessary for bicycle lanes that are not physical separated.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

1995년에 ‘자전거이용활성화에 관한 법률(이하 자전거법)’이 제정된 이래 1998년부터 2006년까지 자전거이용을 활성화시키기 위하여 약 1조1,767원의 예산이 투입¹⁾되었으나 자전거의 수단분담률은 본격적인 자전거 정책 시행 이전 수준인 1.2%²⁾에 머물고 있는 실정이다.

자전거이용부진의 원인은 다양한 요소가 종합적으로 작용하였겠지만 기본적으로 이용자의 행태적 특성에 근거한 인프라구축보다는 성과에 급급한 단발적인 시설공급정책에 근본적인 원인이 있는 것으로 판단된다. 즉, 양적인 공급에 치중하여 우리나라의 자전거도로는 약 95% 이상이 자전거보행자겸용도로로 설치되어 주행의 편의성은 물론 안전사고에 심각하게 노출되어 있는 상황이다.

이러한 문제점을 인식하여 최근 각 지자체는 자전거 전용도로, 자전거전용차로 등 이전보다 서비스수준이 높은 자전거도로의 개설을 적극 검토하고 있다.

그러나, 자전거이용자의 행태분석 특히, 경로선택에 대한 합리적인 분석 없이 일률적인 서비스수준의 자전거도로를 공급한다면 또 다시 정책의 실패를 경험할 여지가 충분하다고 판단된다.

즉, 자전거도로의 질적수준을 제고하기 위해서는 자전거이용자가 전용차로를 선호하는지, 비록 보행자가 많아 불편하여도 안전한 도로를 선호하는지, 그리고 그 선호의 정도는 얼마인지 등 다양한 영향요소를 구체적으로 분석할 필요가 있다. 그 것이 곧 합리적인 자전거도로시설 공급의 논리적인 근거가 되기 때문이다.

따라서, 본 연구의 목적은 첫째, 자전거이용자의 통행특성을 행태적 관점에서 파악하고, 둘째, 자전거이용자의 경로선택에 영향을 미치는 요소를 다양한 관점에서 분석하고 이에 대한 효용함수 및 경로선택모형을 구축함으로써 자전거도로의 위치와 형태, 수준을 결정하는데 활용할 수 있도록 하는데 있다.

2. 연구의 내용 및 방법

자전거이용자의 이용행태분석 및 경로선택 영향요인을 분석하기 위하여 본 연구에서는 기초 통계 및 로짓모형을 이용하였다. 로짓모형은 대안을 선택할 확률이 0과 1사이에 존재하며, 그 대안들의 선택확률의 합 역시 1이다. 따라서, 제한적인 선택상황하에서 경로선택을 하여야 하는 자전거이용자의 선택상황을 재현하기에 적합하다. 또한, 비교적 다양한 선택상황을 재현할 수 있는 SP 조사의 장점과 그 영향의 크기를 분석할 수 있는 장점이 있기 때문에 본 연구에서는 로짓모형을 활용하였다.

이를 위하여, 본 연구에서는 경로선택에 대한 선호조사를 수행하였으며, 내용적으로는 크게 3부분으로 구성된다(<표 1> 참조).

행태분석 및 모형구축을 위한 SP조사는 통근시간대(07:00~09:00) 대전시 자전거이용자를 대상으로 230부를 수집하였다. 설문내용은 개인특성자료, 경로레벨(예, 통행시간)요소, 링크레벨(예, 포장상태)요소로 구성하였다. 모형의 정산은 데이터 스크린을 거쳐 limdep 8.0 및 NLOGIT 3.0 프로그램을 활용하였다.

<표 1> 연구 내용

구분	세부내용
행태분석 관련 문헌조사	<ul style="list-style-type: none"> • 행태분석 모형연구 • 자전거를 이용한 행태분석 연구 • 국내의 자전거이용 행태조사 자료 • 경로레벨 영향요소 및 관련연구
행태분석	<ul style="list-style-type: none"> • 이용특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 성별, 연령별, 직업별, 시간대별, 소득별 • 이용특성 분석
경로선택특성분석	<ul style="list-style-type: none"> • 자전거통근자의 경로선택에 영향을 미치는 요소 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 경로레벨(예, 통행시간)과 링크레벨(예, 포장상태)로 구분하여 각 영향요소가 선택에 미치는 영향수준 검토 • 계획 및 정책적 시사점 도출

II. 이론적 검토

1. 확률선택이론과 로짓모형

본 연구에 활용되는 로짓모형은 확률선택이론을 바탕

1) 행정자치부(2007.11), “자전거로 열어가는 건강한 사회 구현을 위한자전거 이용 활성화 종합대책(안)
 2) 이재영(2008), “자전거이용활성화를 위한 BIKE ZONE 구상과 추진전략”, 『제 4차 EST포럼 정책세미나-지속가능한 교통정책 추진실태와 개선 과제(2008.12.19)』 proceedings, 국토해양부·한국교통연구원

으로 개발된 개별행태모형중 하나이며, 경제학, 경영학, 도시계획, 환경학 등에서도 선택상황분석을 위한 도구로 활용하고 있다.

확률선택이론은 Oi · Shuldiner(1962), Warner(1962) 등에 의해서 교통수요예측에 분야에 처음 도입된 것으로 1970년대에 들어서면서 Domencich · McFadden(1974) 등에 의해 정립되었다.

그 후 Manheim, Ben-Akiva, Lerman(1979)등의 연구로 집계모형의 대체 보완 모형으로서 개별행태모형이 자리잡았다.

개별행태모형은 Adler · Ben-Akiva(1976)의 쇼핑통행의 목적지와 통행수단에 있어서 통행빈도의 동시선택, Ben-Akiva Gunn · Silman(1984)의 목적지 선택, Hamerslag의 통행경로선택 예측, McFadden(1978)의 주거지선택, Ruiter Ben-Akiva(1978)의 모든 단계의 교통수요예측에 대해 개별행태 모형의 적용 등 다양한 분야의 연구가 이루어졌다.

McFadden(1981)은 어떤 대안의 총효용(Total Utility)은 관측이 가능한 결정적 효용(Deterministic Utility or systematic utility)과 관측이 불가능한 확률적 효용(random utility or stochastic utility)로 구분된다고 하였다.

기본 모형구조는 다음과 같다.

$$U_{\epsilon} = X_{\epsilon} + \epsilon_{\epsilon} \tag{1}$$

- 여기서, U_{ϵ} : 개인 n 의 대안 i 에 대한 총효용
- X_{ϵ} : 개인 n 의 대안 i 에 대한 결정적 효용
- ϵ_{ϵ} : 개인 n 의 대안 i 에 대한 확률적 효용

또한, 선택상황이 2항이나 다항이나에 따라 이항로짓 모형과 다항로짓모형으로 구분된다.

따라서, 어떤 개인 n 이 대안 i 를 선택할 확률 $P_n(i)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$P_n(i) = Prob(U_{\epsilon} \geq U_{j\epsilon}, \forall j \in C_n) \tag{2}$$

$$P_n(i) = \frac{e^{\beta X_{\epsilon}}}{e^{\beta X_{\epsilon}} + e^{\beta X_{j\epsilon}}} \text{ (선택상황이 2항인 경우)} \tag{3}$$

한편, 로짓모형은 다음과 같은 세 가지 성질을 갖는다 (Train, 1986).

첫째, 각 대안을 선택할 확률값은 0과 1사이에 있다.

즉, 어떤 대안 i 가 선택자에게 전혀 매력적이지 않은 경우에는 대안 i 의 결정적 효용은 - 무한대가 될 것이고, 이때, $P_n(i)$ 는 0에 가까워질 것이다.

반대로, 어떤 대안 i 가 선택자에게 매우 매력적인 경우에는 대안 i 의 결정적 효용은 + 무한대가 될 것이고, 이때, $P_n(i)$ 는 1에 가까워질 것이다.

둘째, 각 대안에 해한 선택확률의 합은 1이다. 이는 선택할 수 있는 대안들이 상호 배타적이고, 선택자는 그 중 하나만을 선택할 경우를 가정했을 때 발생가능하다.

$$P_n(i) = \frac{e^{\beta X_{\epsilon}}}{e^{\beta X_{\epsilon}} + e^{\beta X_{j\epsilon}}} = 1 \tag{4}$$

셋째, 어떤 대안의 선택확률과 그 대안의 결정적 효용과의 관계는 S자 모양을 보인다.

본 연구에서는 경로에 따른 선택요소의 영향을 검토하기 위한 것으로 선택상황은 2항 선택이 된다.

또한, 일반적으로 모형의 적합도를 나타내는 값으로 ρ^2 을 사용하는데, 본 연구에서는 영향정도를 검토하기 위한 것이므로 계수의 크기를 중심으로 검토하였다.

2. 자전거이용자 행태분석 선행연구 검토

행태모형을 이용한 자전거경로선택 모형 연구는 시카고 지역의 자전거이용 통근자의 경로선택 영향요소를 도출한 Monique A. Stinson and Chandra R. Bhat(2003), 피닉스지역의 통근자를 대상으로 한 Howard, C., and E. K. Burns(1994) 그리고 통행특성과 공간적 속성간의 관계를 연구한 Shafizadeh, K.,와 D. Niemeier(1997) 등의 연구가 있다.

이외에도 Hulse, L., and K. Shafizadeh(1996), Hyodo, T.,N.Suzuki, and K.Takahashi(2000) 등의 연구가 있다.

자전거관련한 국내연구는 비교적 최근에 활발하게 수행되고 있다. 그러나, 자전거도로의 선택행태와 관련한 논문은 없는 것으로 확인되었다. 다만, 자전거이용자의 행태적 특성이나 자전거도로의 설계기준과 관련된 선행 연구들은 문대식의(2007), 신희철외(2007), 황정훈외(2005), 손영태외(2002), 김수성외(2009), 이재영(2010)^{a) b)} 등의 연구가 있다.

<표 2> 국내 자전거 관련 최근 연구

연구자	제목	주요 내용
문대식외 (2007)	대전시를 중심으로 한 자전거 이용 실태분석에 따른 개선방안	자전거이용에 대한 설문조사 및 분석
신희철외 (2007)	이용자 중심의 자전거도로 유형 재정립	위치, 분리여부, 타도로 분리방식 등에 따라 유형구분
황정훈외 (2005)	자전거 주행환경 개선방안의 평가에 관한 연구	자전거도로의 개선방안에 대한 평가
손영태외 (2002)	자전거 교통류의 기본 특성에 관한 실험 연구	자전거교통류 조사 분석 -속도-밀도-용량값
김수성외 (2005)	지역특성에 따른 자전거이용 활성화 접근방안과 영향요인에 관한 연구	자전거 경사도, 도로연장을 고려하여 지역을 구분하고 지역여건별 자전거도로환경의 정비시에 나타나는 영향도를 분석
이재영 ^{b)} (2010)	u-Bike 서비스의 개념 및 적용 우선순위 연구	IT기술을 이용하여 적용가능한 서비스의 평가
이재영 ^{a)} (2010)	자전거이용행태 기반 TOD(B-TOD)의 개념 및 계획권의 설정연구	자전거기반 TOD를 위한 공간적 계획범위 추정

이 중 주요 연구를 살펴보면, 손영태등(2002)은 자전거가 차지할 수 있는 면적에 따른 주행의 용이성을 자전거 운전자 주행 영역으로 표시하였는데 점유면적이 0.96m~2.47m 이하일 경우 자전거 운전자는 충돌의 위험을 느끼게 되며, 2.21m~4.1m 이상일 경우에는 쾌적한 상태에서의 통행이 가능한 것으로 분석하였다.

김수성외(2009)는 자전거 경사도, 도로연장을 고려하여 지역을 구분하고 지역여건별 자전거도로환경의 정비시에 나타나는 영향도를 분석하였다.

이재영(2010)^{a)}은 B-TOD(Bicycle base Transit Oriented Development)의 개념을 도입하여 B-TOD의 계획범역을 최대 2.21~2.54km로 제시하였다.

3. 경로레벨 및 링크레벨 영향요소관련 연구

본 연구는 자전거이용자가 경로를 선택하는데 다양한 요소에 의하여 영향을 받는다는 가정으로부터 출발한다.

일반적으로 자전거이용자가 경로를 선택하는데 있어서 영향을 받는 요소들은 경로레벨 요소와 링크레벨요소를 구분할 수 있다(Monique A. Stinson and Chandra R. Bhat, 2003). 본 연구에서 링크는 두개의 교차로간의 도로구간을 의미한다. 또한, 경로선택에

서는 연령, 성별과 같은 개인적인 요소들이 영향을 미칠 수 있는 바, 이들 요소들을 고려하였다. 예를 들면, 나이가 많은 사람은 젊은 사람에 비하여 좀더 평탄하고, 경사가 없는 도로를 더 선호할 것이다.

1) 링크레벨 요소와 관련연구

경로선택에 영향을 주는 링크관련 요소는 자전거시설의 상태, 자동차교통류의 특성, 자동차주차 특성, 자전거도로의 노면상태, 경사도 등이다. 지금까지의 연구결과들을 보면, 이러한 링크레벨 요소들이 경로선택이나 자전거이용 의사결정에 실질적인 영향을 미치고 있음을 보여주고 있다.

자전거이용에 미치는 영향요소에 관한 연구는 Landis, B. W.(1994), Sorton, A., and T. Walsh.(1994), Epperson, B.(1994), Allen, D. P., N. Roupail, J. E. Hummer, and J. S. Milazzo II.(1998) 등의 연구가 있는데, 이들은 자전거이용에 따른 서비스수준을 평가하고 구체화하기 위해서 이러한 요소들을 활용하였다.

Landis, B. W.(1994)는 교차로에서의 자전거위험도를 점수화하여 서비스수준을 평가하였고, Sorton, A., and T. Walsh.(1994) 등은 자전거이용시 느낄 수 있는 스트레스를 항목별로 정리 및 평가하였는데, 링크레벨 요소들이 포함되어 있다. 또한, 자전거 경쟁력지수를 개발하면서 링크레벨 요소와 통행레벨 요소들이 포함되어 있는 연구도 있었는데, Epperson, B.(1994)의 연구가 그것이다.

미국의 경우에는 AASHTO(1991)나 ITE(1999), MUTCD(2002), HCM(2002) 등에서 이미 이러한 요소들을 이용하여 시설의 가이드라인을 제시하고 있다.

이와 같은 연구들을 종합하여 링크레벨 요소를 정리하면 다음과 같다.

- 기하구조 : 자동차로폭, 차선수, 보도 유무 등
- 자동차관련 요소 : 속도, 교통량, 중차량 비율
- 자전거시설 관련 요소 : 자전거차로의 폭, 자전거도로의 위치(우측차로), 전용도로 등
- 포장관련 요소 : 평탄성, 요철포장, 보도블럭 등
- 주차관련 통제여부
- 인접지역 토지이용 등

2) 경로레벨 요소와 관련연구

경로레벨 요소들은 통행시간이나 자전거시설의 연속

성(예, 자전거도로의 교차로, 자동차진출입로 등으로 인한 간섭횟수), 교통신호로 인한 지체 등을 의미한다.

앞서 검토한 링크레벨 요소와는 2가지 측면에서 다르다고 할 수 있다.

첫째, 링크레벨 요소가 시설자체의 특성을 나타내는 자료라면, 경로레벨 요소는 자전거이용자들을 직접 설문 조사하거나 측정을 통해서 얻을 수 있다는 것이다.

둘째, 경로레벨 연구들은 링크레벨 특성치들을 함께 고려하여 분석을 하는 반면에 링크레벨관련 연구들은 자체적인 특성분석을 하며, 경로레벨 요소를 고려하지 않는다는 것이다.

경로레벨 연구에서는 SP, RP, Delphi기법 등이 고루 사용되었다.

RP조사는 자전거이용자들로부터 실제 선택상황에 대한 정확한 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다. 따라서, 실제 환경을 정확하게 구현된 상황에서 선택된 자료라는 것이다. 그러나, RP자료는 충분한 자료를 얻는데 시간과 비용이 많이 소요되는 한계가 있을 뿐 아니라 대안경로를 비교하는데 있어서 전적으로 응답자의 판단에 의존해야 하기 때문에 응답자들이 고려한 요소들이 실제상황과 다를 수 있다.

RP관련 연구는 Howard and Burns(2001), Shfizadeh and Niemeier(1997), Hulse and Shafizadeh(1996) 등의 연구가 있다. 이들 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 자전거통근자들은 직장까지 직접 연결된 도로를 선호하나 자전거시설(예, 자전거도로)을 이용하기 위해서 약간 우회하기도 한다.
- 자전거통근자들은 회전, 언덕, 주간선도로 그리고 비포장도로를 피하고 신호교차로가 있는 도로를 좋아하지 않는다.
- 또한, 소득이 높은 경우와 노인들은 통행시간에 좀 더 민감한 것으로 나타났다.

한편, SP조사는 적은 비용으로 큰 샘플을 획득할 수 있는 장점이 있어 행태조사에서 자주 활용되고 있다. 또한, 선택대안을 나타내는 속성간에 나타날 수 있는 다중공선성을 사전에 예방할 수 있으며, 선택대안셀을 사전에 구체화시킬 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 응답자의 속성에 따라 상당한 편기(bias)가 생길 수 있는 위험성도 있다.

SP기법을 이용한 연구는 Bovy and Bradley(1985)

<표 3> 링크레벨 및 경로레벨에 관한 연구

구분	연구자	연구내용
링크레벨	Landis, B. W.(1994)	▪ 교차로에서의 자전거위험도를 점수화하여 서비스수준을 평가
	Sorton, A. and T. Walsh(1994)	▪ 자전거이용시 느낄 수 있는 스트레스 항목별로 정리 및 평가
	Epperson, B.	▪ 자전거 경쟁력지수를 개발하면서 링크레벨 요소와 통행레벨 요소 포함
경로레벨	Howard and Burns(2001) Shfizadeh and Niemeir (1997) Hulse and Shafizadeh (1996)	▪ 자전거통근자들은 직장까지 직접 연결된 도로를 선호하나 자전거도로를 이용하기 위해 약간 우회하기도 함 ▪ 자전거통근자들은 회전, 언덕, 주간선도로 그리고 비포장도로를 피하고 신호교차로가 있는 도로 비선호 ▪ 소득이 높은 경우와 노인들은 통행시간에 좀 더 민감함
	Bovy and Bradley (1985)	▪ 통행시간이 주요한 경로선택 요인 ▪ 노면상태, 교통수준, 자전거도로의 종류 등으로 나타남 ▪ 나이가 많은 자전거이용자는 젊은 자전거이용자보다 안락한 이용상황이나 교통상황에 대하여 더 민감
	Abraham et al(2002)	▪ 캐나다의 켈고리에서 자전거이용자를 대상으로 조사를 실시하였는데, 자전거이용여부에 대한 결정요소는 통행시간, 어떤 경로를 선택할 것인가는 자전거시설에 따라 영향

와 Abraham et al(2002) 등의 연구가 있다.

Bovy and Bradley(1985)는 네덜란드 텔프트에서 조사를 진행하였는데, 통행시간이 가장 중요한 경로선택 요인으로 나타났고, 다음으로 노면상태, 교통수준, 자전거도로의 종류 등으로 나타났다. 또한, 나이가 많은 자전거이용자는 젊은 자전거이용자보다 안락한 이용상황이나 교통상황에 대하여 더 민감한 반응을 보인 것으로 나타났다.

Abraham et al(2002)등은 캐나다의 켈고리에서 자전거이용자를 대상으로 조사를 실시하였는데, 자전거이용여부에 대한 결정요소는 통행시간, 어떤 경로를 선택할 것인가는 자전거시설에 따라 영향받는 것으로 나타났다.

3) 본 연구의 차별성

선행연구결과를 종합하면, 국내에서는 아직 일반정책 연구가 주를 이루며 선택행태 등 구체적인 연구는 미진한 것으로 판단된다. 외국의 경우는 통행선택 및 경로선택에 대한 연구를 찾아볼 수 있으나 통근시간대로 한정하지 않고 있다. 따라서 자전거이용활성화의 주요 타겟이 되는

통근통행자에 대한 특성을 구체적으로 제시하지 못하고 있다. 또한, 통행선택 특히 경로선택은 통행목적, 자전거 이용지역의 고유환경 등에 영향을 받는데, 국내 지역을 대상으로 한 경로선택특성 연구는 파악되지 않고 있다.

이러한 측면에서 본 연구는 국내의 다양한 자전거이용 환경을 고려하여 모형을 구축하고 특히 통근통행에 초점을 맞추었다는 데서 기존 연구와의 차별성을 찾을 수 있다.

III. 이용행태 및 경로선택 특성 분석

1. 자료수집 및 방법

자전거이용자의 경로선택 특성을 분석하기 위해 본 연구에서는 SP조사기법을 활용하였다. 즉, 가상의 시나리오를 작성하여 자전거를 이용하는 통근자에게 면접 설문하여 자료를 수집하였다. 시나리오는 9개가 제시되었으며, 시나리오를 구성하는 속성은 4개 정도로 구성하여 복잡한 판단으로부터 바이어스(bias)를 제거하고자 하였다(<표 5> 참조).

<표 4> 링크 및 통행경로레벨 영향변수 구성

구분	변수	설명
링크 레벨 변수	도로등급	·주간선도로 ·보조간선도로 ·국지도로 ·6차로 이상 ·4차로 이상 ·2차로 이하
	자전거 도로형태	·자전거전용 ·자전거차선 ·자전거보행자겸용 도로 ·구분없는 겸용도로 ·그림으로 설명
	도로주차 여부	·노상주차차량 있음 ·노상주차차량 없음 ·평행주차차량
	경사	·경사있음 ·경사없음 ·5% 이상경사 ·체감 경사
	포장상태	·거친노면 ·평평한 노면 ·보도블럭 등 ·아스콘, 콘크리트
통행경로 레벨 변수	연속성	·연속적인 도로 ·단절된 도로 ·구간중 25% 이상 단절된 도로 ·그 외 도로
	신호등 여부	·신호등여부 ·신호등 있음 ·1km당 신호등 개수 2-3개 이상 ·1km당 신호등 개수 2-3개 이상
	보행자 여부	·많음 ·적음 ·보행자가 주행에 방해할 정도 ·그 외 경우
	일반차로 교통량 및 소통상태	·교통량많고 소통상태 좋지 않음 ·교통량적고 소통상태 좋음 ·일반차로의 교통량이 많아 차로주행이 부담되는 경우 ·그 외 경우

<표 5> SP 설문지 구성 예

Route 1	Route 2
주간선도로 연속성 교통량 및 소통상태 => 혼잡 도로 포장상태 => 양호	보조간선도로 연속성 교통량 및 소통상태 => 양호 도로포장상태 => 거칩
어떤 경로(Route)를 선택하시겠습니까?	
1. Route 1	2. Route 2

영향변수는 링크레벨 변수와 통행경로레벨 변수로 구분하였다. 링크레벨(Link Level Factors) 요소는 도로 등급, 주차가능여부, 자전거도로 형태, 경사도, 자전거도로 노면포장상태 등으로 구분하였다. 또한, 통행경로레벨(Route Level) 변수는 통행시간, 자전거도로의 연속성, 1km당 신호등의 개수, 보행자 정도, 일반차도의 교통량 및 소통상태 등으로 구분하였다(<표 4> 참조).

한편, 본 연구에서 어떤 개인이 경로 i 를 선택할 확률은 다음과 같이 정의된다.

$$P_n(i) = Prob(U_{\in} \geq U_{jn}, \forall j \in C_n)$$

$$P_n(i) = \frac{e^{\beta X_{\in}}}{e^{\beta X_{\in}} + e^{\beta X_{jn}}}$$

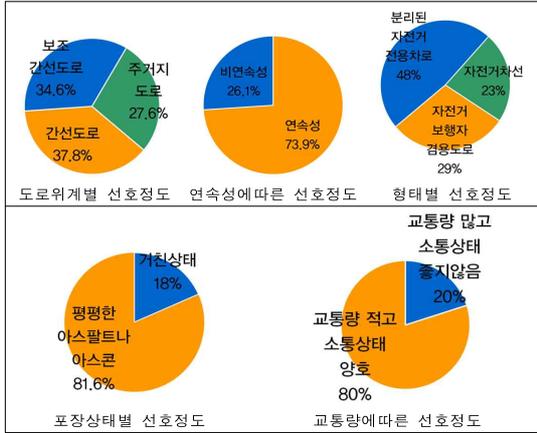
여기서, i : 경로 대안($i=1$ 혹은 2 , 모든 선택시나리오는 2가지 상황으로 설정하였기 때문)
 n : 선택주체인 개인
 X_{\in} : 개인 n 의 경로 i 의 대안특성변수의 속성값 벡터
 β : 추정된 파라메타의 계수
 U_{\in} : 개인 n 의 경로 i 에 대한 효용
 ε_{jn} : 관측되지 않는 효용(확률적 효용)

2. 이용행태적 특성 분석

1) 자전거도로 특성별 상대적 선호정도

도로의 위계에 따른 선호정도는 간선도로가 37.8%로 가장 높고, 보조간선도로 34.6%, 주거지도로 27.6% 순으로 나타났다. 자전거도로 형태별 선호정도는 분리된 자전거 전용도로가 47.7%, 자전거 보행자 전용도로는 29.6%, 자전거차선은 22.7%로 조사되었다.

포장상태별 선호정도는 도로노면 포장이 잘 되어 있어 주행에 어려움이 없는 평평한 아스팔트나 아스콘이

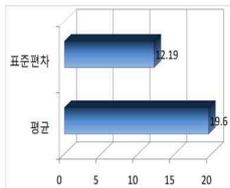


<그림 1> 자전거도로 선호정도

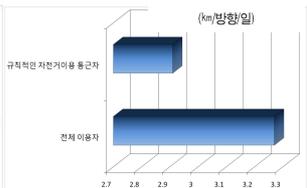
81.6% 도로의 노면이 고르지 않은 거친상태의 노면이 18.4%로 4배 이상의 차이를 보이고 있다.

2) 통행시간 및 거리

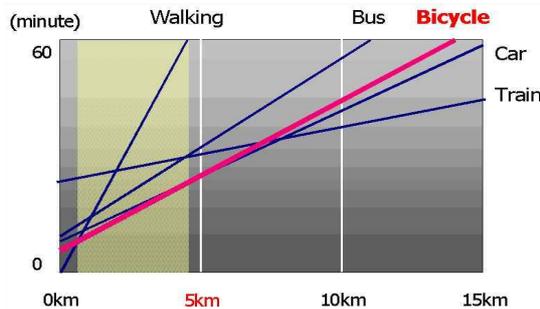
전체 이용자의 이동거리는 평균 3.27km인 것으로 나타났으며, 자전거이용이 비교적 규칙적인 통근자는 이보다 짧은 2.91km를 이용하는 것으로 나타났다. 또한, 자전거통행 소요시간은 평균 19.6분으로 전체 90% 이상이 30분내로 이동 가능한 곳은 자전거를 이용하는 것으로 조사되었다.



<그림 2> 통행시간



<그림 3> 평균통행거리



<그림 4> 이동거리에 따른 교통수단별 통행시간

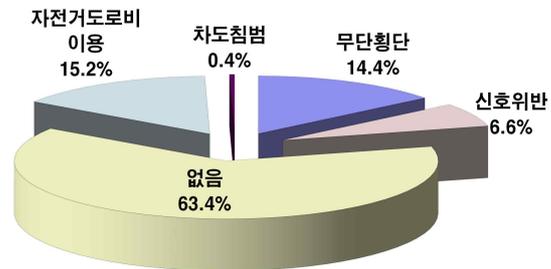
이러한 결과는 “자전거이용거리는 대체로 5km를 넘지 않으며 평균 3km 내외의 이용거리를 보이며 기능적으로는 연계 및 단말수단으로 사용된다”는 사실을 뒷받침해 주고 있다.

3) 자전거이용시 위반종류 및 불편한 점

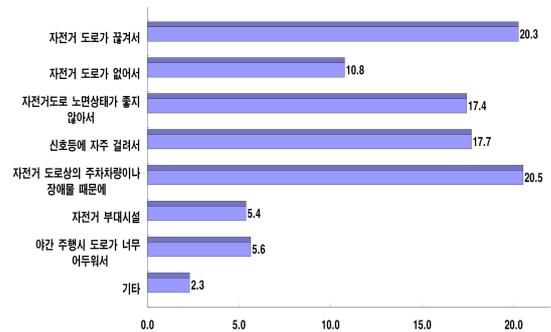
자전거이용시 교통위반의 종류를 조사한 결과, 자전거도로를 이용하지 않거나, 무단횡단, 신호위반 등의 순으로 나타났다.

또한, 자전거도로 이용시 불편사항에는 자전거도로가 끊기거나 주차차량으로 인한 불편이 가장 크고, 자전거도로의 노면상태나, 자동차위주의 신호운영으로 인한 잦은 정지 및 하차로 인한 불편도 각각 17.4%와 17.7%로 나타났다. 이는 자전거도로의 설계수준 미달로 인한 이용불편을 의미하며, 이용자의 행태를 고려하지 않은 공급편의적 설치에 따른 결과로 판단된다.

통근시간대의 자전거이용자를 대상으로 한 경로선택 관련 주요 조사결과는 <표 6>과 같다.



<그림 5> 자전거도로 이용시 교통위반 종류



<그림 6> 자전거도로 이용하지 않는 이유

<표 6> 통근시간 자전거이용자의 일반 특성 요약

자전거도로 선호도	<ul style="list-style-type: none"> 자전거도로위치별 선호정도 - 간선도로상(37.8%)>보조간선도로상(34.6%)>국지도로상(27.6%) 자전거도로 형태별 선호정도 - 분리된 자전거 전용도로(47.7%)>자전거보행자전용도로(29.6%)>자전거차선(22.7%) 포장상태별 선호도 - 평탄한 아스팔트나 아스콘(81.6%)> 도로의 노면이 고르지 않은 거친상태의 노면(18.4%)
통행목적	출퇴근 및 통학목적이 각각 19.9%
통행시간 및 이동거리	<ul style="list-style-type: none"> 이동거리는 평균 3.27km 규칙적인 통근자는 이보다 짧은 2.91km 자전거통행 소요시간은 평균 19.6분

3. 경로선택특성

조사결과를 바탕으로 통근시간대 자전거이용자의 경로선택 특성을 분석하였다.

전체적으로, 세부 영향변수를 포함한 모든 변수들은 통계적으로 경로선택에 있어서 유의미한 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 또한, 부호면에서 일부 자전거도로의 형태, 연속성 등에서 기대했던 부호와는 다른 결과를 나타냈으나 전체적인 모형의 설명에는 무리가 없는 것으로 나타났다.

첫째, 자전거이용자는 경로선택에 있어서 주거지도로보다 보조간선도로와 간선도로를 선호하며, 간선도로보다 보조간선도로를 더 선호하는 것으로 나타났다. 이는 일반적으로 안전하여 선호할 것으로 판단되는 주거지도로가 오히려 더 위험하고 주행성이 좋지 않기 때문으로 풀이된다.

이러한 사실은 자전거사고자료에서도 확인되고 있는데, 2008년 기준으로 전체 자전거사고의 약 67%가 9m 미만의 도로에서 발생하고 있다(<표 7> 참조).

따라서, 이들 세가로 중심의 자전거 안전대책 마련이 필요하다 하겠다.

둘째, 자전거도로의 형태중 자전거차선 및 구분되지 않은 도로의 경우, 마이너스(-) 부호를 나타내고 있는데, 이는 자전거차선에 대한 경험이 거의 전무한 상황에서 일반차로 옆에 설치되는 자전거차선이 갖는 위험성에 대한 두려움이 작용한 것으로 판단된다. 따라서, 차로설치 초기에는 보다 넓은 분리공간이 필요할 것으로 판단된다.

<표 7> 도로폭별 자전거관련 사고건수

구분	2007년		2008년	
	건수	비율(%)	건수	비율(%)
3M 미만	1,513	17.94	1,706	16.43
3M~6M 미만	2,668	31.64	3,318	31.95
6M~9M 미만	1,453	17.23	1,932	18.60
9M~13M 미만	877	10.40	1,104	10.63
13M~20M 미만	809	9.59	1,068	10.28
20M 이상	682	8.09	868	8.36
기타/서비스구역	430	5.10	389	3.75
합계	8,432	100	10,385	100

자료 : 경찰청 내부자료

<표 8> 경로 선택 모형의 주요 변수 분석결과

구분	변수명	구분	Coeff.	t-ratio
도로등급	주간선도로	P11	18.9259	118.813
	보조간선	P12	42.9162	894.78
	주거지도로	P13	-30.7273	-422.847
자전거도로 형태	자전거전용	P51	39.538	196.405
	자전거차선	P52	-230.069	-478.412
	자전거겸용도로	P53	123.911	876.251
	구분없는보행자도로	P54	-207.407	-824.682
주차여부	주차차량 있음	P61	-50.3937	-357.664
	주차차량 없음	P62	96.1752	634.975
경사여부	경사심함	P71	-48.6493	-160.776
	경사없음	P72	60.4136	205.616
포장상태	거칠	P41	-454	-1227.12
	양호	P42	92.0827	206.25
연속성	연속	P21	264.063	1279.15
	단절	P22	100.518	994.218
신호여부	신호 여러 번	P91	-37.8171	-273.704
	신호없음	P92	176.653	570.093
보행자여부	보행자많음	P81	-3.86251	-17.423
	보행자적음	P82	342.698	1504.93
교통상태	혼잡	P31	-147.76	-874.451
	양호	P32	-31.4409	-79.1688

Log-likelihood value(with no coefficient) : -982.1896
 No Parameters : 21
 No route choice observations : 1971

셋째, 자전거주행시에 주차차량이 있는 경우에는 마이너스 부호로 나타나 주차된 차량이 자전거이용자에게 매우 큰 위협을 주는 것으로 해석할 수 있다.

넷째, 경사도는 경사가 심할수록 마이너스 영향을 나타내며, 포장상태도 평탄한 노면을 선호하는 것으로 나타나 일반적인 기대와 다르지 않다.

경로영향요소에 대한 분석결과는 다음과 같다. 첫째, 연속성 역시 기대한 바와 같이 나타났다. 즉, 보도겸용 자전거도로에 비하여 연속성이 좋은 자전거전용도로와 같은 도로를 선호하는 것으로 해석된다. 다만, 특이한 것은 단절인 경우에도 플러스(+) 영향력을 갖는 것으로 나타났는데, 이는 자전거도로가 잘 갖추어져 있지 않고 단절이 일상화된 우리나라의 여건에서 자전거도로의 단절은 경로선택에 있어서 비선호로 나타날 만큼 크지 않다는 것으로 해석된다.

둘째, 자전거이용자는 신호와 보행자가 적은 루트를 선호하는 것으로 나타났다. 특히, 보행자는 보행자겸용도로가 대부분인 우리나라의 자전거도로에서 매우 큰 위해요소로 작용되고 있는 것으로 나타났다.

마지막으로 교통량과 혼잡상황을 설명하는 교통상태는 자전거이용자의 루트선택에 모두 마이너스(-)영향을 주지만 수치가 볼 때, 부득이한 경우에는 혼잡하지 않은 도로에 설치하는 것이 더 바람직하다고 볼 수 있다.

<표 9> 경로선택모형 주요 결과 요약

<ul style="list-style-type: none"> • 경로선택에 있어서 도로위계가 플러스영향을 미치고 있으며 그 영향의 크기는 보조간선도로, 간선도로 - 주거지도로는 간섭으로 인하여 선호하지 않음
<ul style="list-style-type: none"> • 연속성이 좋은 도로가 단절 도로에 비하여 약 3배의 선호 - 신호등, 교차로 등으로 인한 끊김이 적은(seamless), 자전거 전용차로나 자전거전용도로의 중요성을 의미
<ul style="list-style-type: none"> • 자동차 교통량이 있는 경로 회피 - 도로혼잡 있는 경우가 그렇지 않은 도로에 비하여 약 5배 비선호됨
<ul style="list-style-type: none"> • 포장상태에 대한 계수가 매우 크게 나타나 노면상태의 중요성 큼
<ul style="list-style-type: none"> • 자전거도로의 형태(종류) 자전거전용도로와 자전거겸용도로의 플러스 영향력, 구분되지 않은 도로는 마이너스(-)영향
<ul style="list-style-type: none"> • 주차여부는 노상주차가 많지 않은 지역에 설치된 자전거도로를 더 선호
<ul style="list-style-type: none"> • 보행자가 적은 도로 선호, 주행단절 없는 도로 선호 - 특히, 보행자가 적은 경우가 전체 영향요소 중에서 가장 높은 계수를 나타냄

IV. 결론 및 향후 연구과제

자전거도로를 이용자가 선호하는 방향으로 계획하고 건설하기 위해서는 이용자의 행태분석이 선행되어야 함에 따라 본 연구는 자전거이용자의 통행특성과 경로선택 특성을 분석하였다.

이를 위하여 SP조사기법을 이용하여 이용자의 선호를 조사하고, 행태적 특성을 분석하고, 로짓 모형을 이용하여 경로선택 특성을 분석하였다.

결론적으로, 본 연구에서 도출된 결과를 이용하여 자전거도로 계획 및 설계에 반영할 시사점을 도출하면 다음과 같다.

첫째, 자전거도로는 교통량, 속도, 자전거교통량 등의 요소를 고려하여 노선을 계획하되, 보조간선급에 우선적으로 설치를 검토하여야 한다.

둘째, 주행환경에서 노상주차는 배제되어야 하며, 보행자가 없거나 전용차로를 차도에 설치함으로써 보행자를 원천적으로 배제하는 방법을 검토할 필요가 있다.

셋째, 단절지점, 경사, 신호 등에 따른 지연 등을 주요한 변수로 고려하여야 하는데, 특히, 신호등, 주차차량, 속도가 빠른 일반차로, 경사 등에 대한 거부감이 크므로 이러한 요소를 고려하여 노선을 계획하여야 한다.

넷째, 현재 계획하고 있는 차도상 자전거차로는 분리형을 원칙으로 하고, 차선만으로 설계할 경우에는 분리공간(buffer zone)을 충분히 확보하도록 하고, 자동차의 속도를 50km/시 이하로 제한할 필요가 있다³⁾.

다섯째, 현재 보행자겸용도로로 활용하고 있는 도로는 양호한 여건일 경우를 제외하고는 설치를 지양할 필요가 있다.

한편, 본 연구는 자전거이용자의 경로선택 영향요소와 크기를 제시함으로써 통근시간 자전거도로 이용자의 행태를 이해할 수 있었으며, 자전거차로 등의 계획에 대한 논리적 근거를 마련하였다. 또한, 외국의 경우와 다른 특성을 보이기도 하는 등 한국에서 자전거이용자의 행태적 특성을 구분하였다.

3) 독일(FGSV, 1996, Empfehlungen für Radverkehrsanlagen - ERA 95)에서는 분리공간의 폭과 자동차도로의 속도에 따른 자전거도로 설계를 주문하고 있음.

그러나, 자전거이용자의 통행경로선택은 차량경로선 택과 같이 보다 복잡하고 다양한 요인이 작용할 것으로 판단된다. 특히, 날씨나 시간대에 따라서 달라질 수 있다. 따라서, 본 연구에서 고려한 영향요소 외에 날씨(온도, 바람, 강수 등), 통근시간이외의 통행시간대, 루트요인 외의 도시의 상황(자전거 친화도, 시설수준 등) 등 보다 구체적인 영향요소를 포함한 광범위한 모형을 구축할 필요가 있다. 이는 변수설정에 따라 전체 모형의 설명력 및 변수들의 영향력이 달라질 수 있기 때문이다. 또한, 통행목적, 도시의 특성을 고려하여 그 특성을 분석할 필요가 있다. 자전거이용행태는 도시 및 생활권별로 공통적일 수 있으나 도시여건에 따라 다르게 나타날 수 있기 때문이다.

참고문헌

1. 김수성·송기욱·정현영(2009), “지역특성에 따른 자전거이용 활성화 접근방안과 영향요인에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제27권 제4호, 대한교통학회, pp.17~30.
2. 문대식·김명수·황현중(2007), “대전시를 중심으로 한 자전거 이용 실태분석에 따른 개선방안”, 교통기술과정, 제4권 제4호, 대한교통학회, pp.97~119.
3. 신희철·조항영(2007), “이용자 중심의 자전거도로 유형 재정립”, 교통기술과정, 제4권 제1호, 대한교통학회, pp.7~19.
4. 손영태·김정현·오영태·김홍상·박우신(2002), “자전거 교통류의 기본 특성에 관한 실험 연구”, 대한교통학회지, 제20권 제4호, 대한교통학회, pp.19~26.
5. 오창수·이종철·최주남·박형현·박대룡·김현곤(1999), “자전거도로의 시설기준에 관한 연구”, 대한교통학회 제36회 학술발표회 논문집, 대한교통학회, pp.275~280.
6. 이재영외(2010)^{a)}, “자전거이용행태 기반 TOD(B-TOD)의 개념 및 계획권 설정 연구”, 국토계획, 국토도시계획학회.
7. 이재영·임윤택·이상호(2010)^{b)}, “u-Bike 서비스의 개념 및 적용 우선순위 연구”, 대한교통학회지, 제28권 제3호, 대한교통학회, pp.7~17.
8. 이재영(2005), “Space Syntax를 이용한 대전시 자전거도로 구축방안”, 대전발전연구원 정책세미나 ‘지속가능한 교통체계와 자전거교통’ 자료집, 2005.11. 23.
9. 황정훈·김갑수(2005), “자전거 주행환경 개선방안의 평가에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제23권 제8호, 대한교통학회, pp.203~213.
10. AAHOTO(1991), Guid for the development of bicycle facilities, Washington, D.C.
11. Adler, T. J. and Ben-Akiva, M. E.(1976), Join-choice Model for Frequency, Destination and Travel Mode for Shopping Trips, Transportation Research Record Vol.596, pp.136~150.
12. Allen, D. P., N. Rouphail, J. E. Hummer, and J. S. Milazzo II.(1998), Operational Analysis of Uninterrupted Bicycle Facilities. In Transportation Research Record 1636, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.29~36.
13. Ben-Akiva, M. E., Gunn, H.F. and Silman, L.A.(1984), Disaggregate Trip Distribution Models, Proc. of JSCE No.347, pp.1~17.
14. Ben-Akiva Moshe and Steven R. Lerman(1985), DISCRETE CHOICE ANALYSIS:THEORY & APPLICATION TO TRAVEL DEMAND, MIT Press series in transportation studies;9. → 저자체크확인
15. Bovy, P. H. L., and M. A. Bradley.(1985), Route Choice Analyzed with Stated Preference Approaches. In Transportation Research Record 1037, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.11~29.
16. Dixon, L.(1985), Bicycle and Pedestrian Level of Service Performance Measures and Standards for Congestion Management System. In Transportation Research Record 1538, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.1~9.
17. Epperson, B.(1994), Evaluating Suitability of Roadways for Bicycle Use : Toward a Cycling Level-of-Service Standard. In Transportation Research Record 1438, TRB, National Research Council, Washington,

D.C., pp.9~16.

18. Howard, C., and E. K. Burns.(2001), Cycling to Work in Phoenix: Route Choice, Travel Behavior, and Commuter Characteristics. In Transportation Research Record 1773, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.39~46. → 저자체크확인
19. Hulse, L., and K. Shafizadeh(1996), Bicycle Travel to Work Patterns. Proc., 10th National Conference on Undergraduate Research: Vol. II (R.D.Yearout,ed.), University of North Carolina at Asheville, July 1996, pp.1162~1166.
20. ITE(1999), Implementing bicycle improvements at the local level, Washington, D.C.
21. Landis, B. W.(1994), Bicycle Interaction Hazard Score : A Theoretical Model. In Transportation Research Record 1438, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.3~8.
22. Manheim, M. L.(1979), Fundamental of Transportation Systems Analysis, Basic concepts, Vol.1, The MIT Press, Cambridge.
23. McFadden.D(1981), “Econometric Models of Probabilis Choice”, In Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications, C. F. Manski and D. McFadden, eds., Cambridge, The MIT Press.
24. Monique A. Stinson and Chandra R. Bhat(2003), “Commuter Bicyclist Route Choice Analysis Using a Stated Preference Survey”, 『TRR』, Journal of the transportation research board, No.1828, p.107.
25. Oi, W. Y. and Shuldiner, P. W.(1962), An Analysis of Urban Travel Demands, Northwestern University Press.
26. Ruiter, E.R.and Ben-Akiva, M.E.(1978), Disaggrgate Travel Demand Model for the San Francisco Bay Area -System Structure, Component Models and Application Procedures-, Transportation Research Record Vol. 673, pp.121~128.
27. Shafizadeh, K., and D. Niemeier.(1997), Bicycle Journey to Work: Travel Behavior Characteristics and Spatial Attributes. In Transportation Research Record 1578, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.84~99.
28. Sorton, A., and T. Walsh.(1994), Bicycle Stress Level as a Tool to Evaluate Urban and Suburban Bicycle Compatibility. In Transportation Research Record 1438, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.17~24
29. Warner, S, L.(1962), Stochastic Choice of Mode in Urban Travel - A Study in Binary Choice, Northwestern University Press.

✉ 주 작성 자 : 이재영
 ✉ 교 신 저 자 : 이재영
 ✉ 논문투고일 : 2010. 9. 26
 ✉ 논문심사일 : 2010. 10. 13 (1차)
 2010. 10. 18 (2차)
 ✉ 심사판정일 : 2010. 10. 18
 ✉ 반론접수기한 : 2011. 2. 28
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필