

■ 論 文 ■

자전거 주행환경 개선방안의 평가에 관한 연구

A Study on Evaluation of Plan to Improve Cycling Environment

황 정 훈

(영남대학교 도시공학과 강사)

김 갑 수

(영남대학교 도시공학과 교수)

목 차

- | | |
|---|--|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경 및 목적</p> <p>2. 연구의 내용 및 방법</p> <p>II. 기존 문헌검토</p> <p>III. 연구대상지구의 개요</p> <p>IV. 자전거 주행환경 개선안</p> <p>1. 개선안 A</p> <p>2. 개선안 B</p> <p>V. 시뮬레이션 분석</p> | <p>1. 시뮬레이션 과정</p> <p>2. 통행발생량의 산정</p> <p>3. 도로종류별 주행속도 설정</p> <p>4. 교통수단선택모델의 구축</p> <p>VI. AHP수법을 이용한 종합적 평가</p> <p>1. 각 평가측면에서의 평가</p> <p>2. AHP수법을 이용한 종합적 평가</p> <p>VII. 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|---|--|

Key Words : 자전거주행환경, 자전거도로, 자전거도로망, 평가수법, 계층분석법(AHP)

요 약

자동차교통에 의한 환경오염의 대책으로서 대중교통서비스의 향상과 함께 자전거이용 촉진이 주목되고 있다. 본 연구에서는 지구교통을 대상으로 자전거이용을 촉진시키기 위한 자전거 주행환경의 개선방안을 제시하고, 그 효과를 평가할 수 있는 평가수법에 대해 연구하였다. 먼저, 자전거 주행환경 개선을 위한 개선안으로서 기존의 자동차를 중심으로 이뤄진 지구교통체계와 자전거가 중심인 네덜란드의 하우텐시를 참고로 한 2가지 개선안을 제시하고, 연구 대상지역에 각 개선안을 적용한 지구교통정비를 가정하여 개선안의 효과를 종합적으로 평가하였다. 평가방법은 현재와 두 개선안을 환경, 안전, 편리측면에서 비교평가를 수행하고, 또한 AHP수법을 이용하여 각 평가측면의 가중치를 산정하여 종합적인 평가를 수행하였다. 이때 평가지표로서는 환경측면에서 이산화탄소 배출량, 안전측면에서 교차점에서의 교통수단 간 교착가능횟수, 편리성측면에서 누적빈도곡선을 이용한 접근성 지표이다. 분석결과, 자동차를 중시한 현재의 지구교통환경과 비교하여 도로공간의 재배분에 의한 자전거도로 설치와 자동차와 분리된 자전거도로망을 구성한 개선안이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

Recently, with the increase of the interest to global environmental problems, bicycle has been recognized as the most environmentally friendly transportation mode. To promote cycling, it is necessary to ensure road space that bicycle can keep running safely and smoothly. This paper aims to evaluate the district with rearranged road space and network, given priority to bicycle, comparing the traditional district which are given priority to car from viewpoints of environment, safety and accessibility. As evaluation indicators, the carbon dioxide emission on the environment, the number of collision between car and bicycle on safety and an accumulated frequency measure on accessibility were used.

As the result, it was clarified that bicycle road measures to create bicycle road by reallocation of road space and form bicycle exclusive network were effective.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 선진국을 중심으로 지구환경문제에 대한 관심이 고조되고 있으며, 자전거는 친환경적 교통수단으로서 주목받고 있다. 특히, 「자전거 천국」이라 불리는 네덜란드의 경우, 자전거전용도로나 자전거 주차장 등의 자전거이용을 촉진시키기 위한 시설정비가 광범위하게 이루어져 많은 국민이 자전거를 적극적으로 이용하고 있다. 또한 자전거 주행환경의 정비를 실시 한 지자체에 대해 표창하는 제도를 실시하고 있으며, 「사이클 타운(Cycle town)」형성을 적극적으로 추진하고 있다.

또한 도심부를 대개조하여 물(mall)화한 덴마크, 자전거의 안전성확보, 자전거도로와 자전거 주차장의 확충, 자동차의 주행속도규제, 공공교통과의 제휴를 강화한 독일, 1996년부터 3년간에 150km의 자전거도로를 정비하고, 최든 렌터사이클(rent cycle) 사업을 실시한 프랑스 등, 장래 친환경적 교통수단으로서 자전거의 역할을 증시하는 국가가 점점 증가하고 있다.

일본의 경우, 1997년 지구온난화방지 교도회의(COP3)에서 이산화탄소를 비롯한 오염물질 배출량의 삭감목표가 결정된 후, 교통부문의 지구온난화 방지대책 중 하나로서 자전거에 주목하여 도로구조평의 개칭이나 자전거주행환경정비 가이드라인의 책정, 자전거시책 선진도시의 육성 등 기본적인 정책의 변화가 있었다.

그러나 최근 자전거정책의 목표는 지구온난화나 도시환경의 개선이지만, 자전거이행 확대에 따른 안전성의 확보나 자전거 주차장의 부족으로 인한 방치문제 등의 부차적인 문제를 고려하지 않으면 안 된다. 또한 교통의 근본적인 역할로서 이동의 편리성을 확보하는 것도 중요할 것이다.

한편 자전거이용을 촉진하기 위한 자전거 주행환경 개선책들이 실시되고 있지만, 그 효과의 파악에 있어서는 다음과 같은 과제들이 남아 있다. 자전거 주행환경의 개선으로 자동차로부터 자전거로의 전환이 이뤄져 환경질의 개선, 안전성의 향상이 기대되지만, 자동차교통에 대한 제약은 이동의 편리성이 저하될 수 있다는 우려가

있을 것이다. 이와 같이 안전, 환경, 편리, 세 측면에서 일정의 효과가 확인되지 않는다면, 자전거 주행환경 정비는 주민의 합의를 이끌어 내는데 있어 곤란할 것이다.

이에 본 연구에서는 지구교통을 대상으로 자전거이용을 촉진시키기 위한 대책으로서 효율적인 자전거 주행환경의 개선방안을 제시하고, 그 효과를 평가할 수 있는 평가수법의 개발을 연구의 목적으로 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

필자는 기존 연구(Nitta and Hwang, 2002)에서 가상(假想)지구모델⁵⁾을 구축하고, 자전거주행환경 개선을 위한 7가지의 안⁶⁾을 적용하여 안전, 환경, 편리성 측면에서 비교평가를 하였다. 그 결과, 도로공간의 재배분에 의한 자전거도로설치와 자전거 우선형 도로망 구성을 동시에 실시하는 것이 가장 효과적이라는 결과를 도출하였다.

본 연구에서는 기존 연구에서 개발한 수법을 바탕으로 스이타(吹田)시 소재의 센리(千里)뉴타운의 키타센리(北千里)역을 중심으로 한 북부지구에 두 가지의 자전거 주행환경 개선안을 적용하고, 안전, 환경, 편리의 세 측면에서 비교평가를 수행한다. 이를 위해 본 연구에서는 다음과 같은 내용을 수행한다.

첫째, 자전거 주행환경 개선을 위한 개선안을 제시하고, 이를 대상지구에 적용한 뒤, 시뮬레이션분석을 통해 안전, 환경, 편리의 세 측면에서 비교평가를 수행한다.

둘째, 종합적인 평가를 위해 AHP수법을 이용하여 각 평가항목의 가중치(weight)를 구하고, 이를 통해 제안한 개선안 중 보다 효과적인 자전거 주행환경 개선안을 제시한다.

II. 기존 문헌검토

일본의 자전거관련 연구로서는 시민들을 대상으로 자전거도로정비에 대한 설문조사를 실시하여 찬반의식이나 정책적 방향을 분석한 연구(山根, 1999), 자전거 주행경로의 선택에 관한 연구(鈴木, 1998; 渡辺, 2002), 자전거도로의 설계나 운용분석에 관한 연구(宮城, 1999;

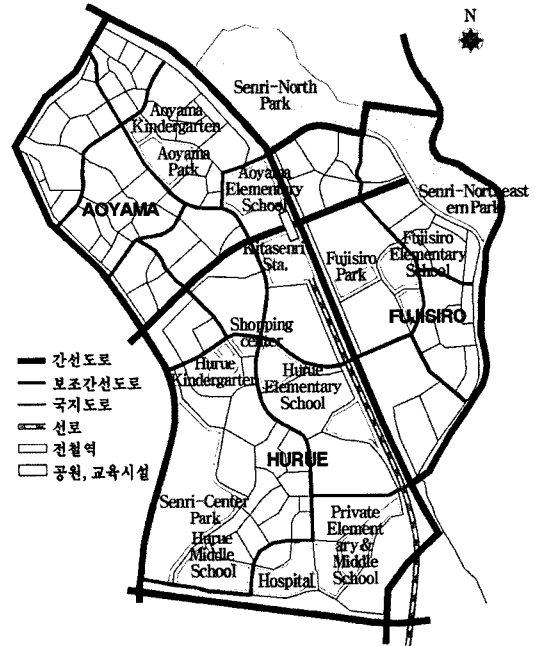
5) 면적 400ha, 인구 4만명 규모의 양면 2km의 정사각형 형태의 가상지구(地區)로서 지구 외곽은 간선도로, 1km 간격의 보조간선도로, 국지도로의 도로체계도로체계를 갖고 있다.

6) 간선 및 보조간선도로의 도로공간 재배분을 통해 자전거도로를 설치, 자동차와 분리된 독립적인 자전거도로망 구축, 지구내 자동차교통의 통과규제에 의한 주행환경개선과 같은 기본적인 세가지의 개선안과 각 개선안의 조합을 포함한 7개의 안

山中, 2001) 등이 있다.

한편, 국내의 자전거도로와 관련된 최근 연구로는 대도시내 자전거도로 도입방안 및 이용활성화 방안에 관한 연구(최은옥, 1996; 정용기, 2003)가 다수 있으며, 공학적인 접근으로서 이행렬(1996)은 자전거 전용도로의 구축을 위하여 지리정보체계모델의 개발을 시도 하였으며, 손영태외(2002)는 주행실험을 통해 자전거 교통류의 기본 특성을 파악하였다. 또한 정남지(1996)는 자전거 이용을 증진시키기 위해 장기적으로 이용여건의 조성과 자전거도로 네트워크 구축을 제안하였다. 김용수의(1999)는 설문조사를 통해 자전거 전용도로의 이용환경에 대한 만족의식과 이용환경 조성을 위한 선호의식을 파악하였다.

그러나 설문조사를 통해 자전거이용에 대한 시민의 식과 문제점, 자전거도로 및 도로망의 구축 필요성에 대해서는 기존 연구를 통해 파악되었지만, 자전거 주행환경 개선을 위한 대안개발 및 정량적 지표에 의한 평가방법에 관한 연구는 매우 적다.



〈그림 1〉 연구대상지구

III. 연구대상지구의 개요

센리뉴타운은 1970년대 개발된 일본 최초의 대규모 뉴타운으로서 그 후 각 뉴타운의 개발에 많은 영향을 주었다. 초기 입주부터 30여년이 지나, 주민의 연령구성 변화, 뉴타운 주변의 도시화, 지역상업의 쇠퇴와 재생, 교통망의 재정비 등 새로운 과제에 직면하고 있다.

센리뉴타운은 기타센리역을 중심으로 아오야마다이(青山台), 후루에다이(古江台), 후지시로다이(藤白台) 세지구로 구성되어 있다. 인구는 약 2.6만 명이며, 면적은 약 285ha이다. 역주변에는 대형쇼핑센터를 중심으로 각종 상업시설이 입지하고 있으며, 그 외곽에는 고층주택과 저층주택이 이어져 있다. 도로는 〈그림 1〉과 같이 역을 중심으로 동서·남북으로 간선도로가 배치되어 있으며, 이를 축으로 보조간선도로, 국지도로가 접속하는 형태이다.

이 지역을 연구대상지구로 선택한 이유는 1993년 주민을 대상으로 실시한 설문조사에서 도로혼잡, 대기오염, 교통안전에 대해서 각각 70%이상이 「문제가 있다」라고 응답하였으며, 그 해결방안으로서 제안한 자전거 주행환경개선을 중심으로 한 자전거도로정비에 대해서 「찬성」이 73%로 주민의 합의를 얻을 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다.

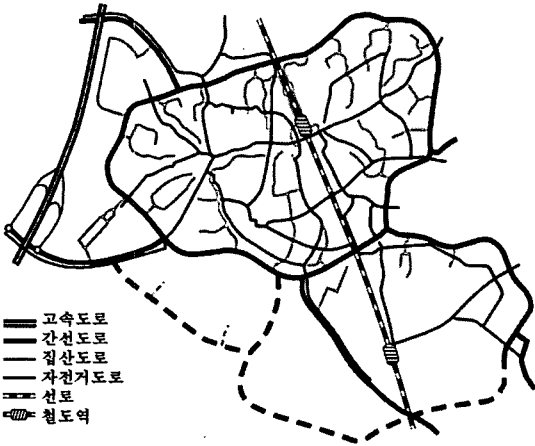
IV. 자전거 주행환경 개선안

대상지구에 적용할 자전거 주행환경 개선안으로서 두 가지를 고려하였다. 〈표 1〉에 나타난 것과 같이 첫 번째 안은 자전거도로가 설치되어 있지 않는 도로를 대상으로 도로공간의 재배분을 통해 자전거도로를 설치하는 것이다. 두 번째 안은 네덜란드의 하우텐(Houten)시의 도로망배치와 교통운용을 참고로 한 것으로 자전거도로정비와 더불어 자동차의 지구내 통행을 규제하는 장치를 병행한 안이다.

하우텐시의 도로체계는 〈그림 2〉와 같이 외부 환상도로가 약 8km가 정비되어 있으며, 뉴타운 내부는 자전거와 도보가 중심이 되어 있다. 중심부를 가로지르는 자전거전용도로가 간선도로의 역할을 하고 있으며, 이 도로를 축으로 각 주거지로 이어지는 지선이 연결되어 자동차와 분리된 자전거 및 보행자의 도로네트워크가 구성되어 있다. 그러나 자동차는 지구내 통과가 불가능하며, 외곽의 환상도로를 이용하여 이동해야만 한다. 또한 교차

〈표 1〉 자전거 주행환경 개선안

개선안	주된 특징
A	도로공간 재배분에 의한 자전거 주행공간의 창출
B	자동차와 분리된 자전거 도로망의 형성

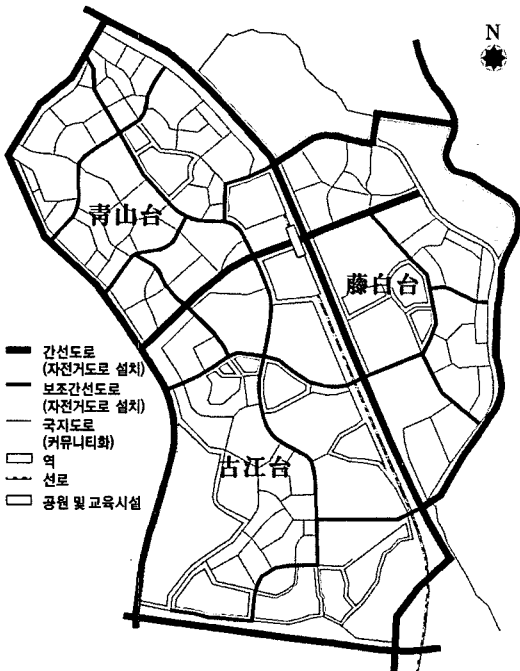


〈그림 2〉 하우텐(Houten)시의 도로망체계

점에서는 자전거가 우선하는 형태를 취하고 있으며, T자로, L자호가 조합되어 자동차 이용을 억제하며 주행속도를 저하시키는 방식을 취하고 있다.

1. 개선안 A

개선안 A에서는 〈그림 3〉과 같이 도로공간의 재배분에 의해 기존의 간선 및 보조간선도로의 차로폭원을 삭감하

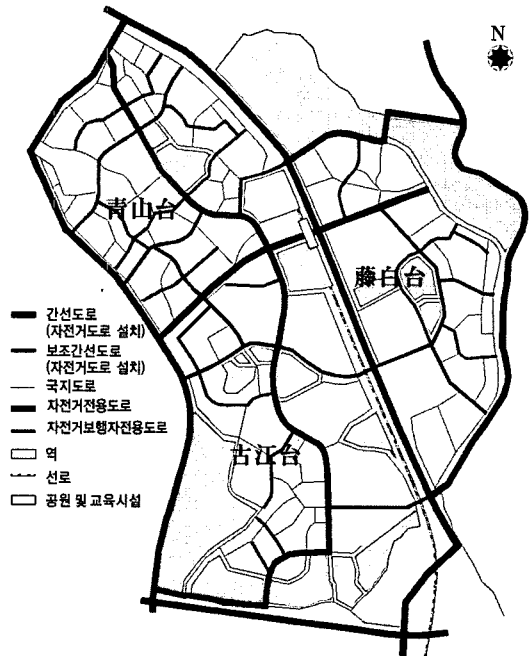


〈그림 3〉 개선안 A

고 자전거도로를 설치한다. 또한 국지도로는 커뮤니티 (community)화하여 자동차 주행속도의 저하를 도모한다.

2. 개선안 B

개선안 B에서는 개선안 A의 자전거도로 설치에 더하여 자동차와 분리된 자전거 도로망의 구축을 행한다. 〈그림 4〉와 같이 아오야마다이와 후루에다이지구의 중심부를 가로지르는 보조간선도로를 자전거전용도로로 전환시킨다. 또한 일부 국지도로를 자전거·보행자전용도로로 바꾼다. 즉, 이와 같은 형태를 취한 이유는 자전거전용도로가 지구 중심을 가로지르는 하우텐시의 도로망에 가급적 유사한 형태로 하기 위함이다. 또한 각 거주지로부터 자동차가 국지도로를 경유하여 보조간선 및 간선도로로 유출입 가능하도록 고려하여 자전거전용도로 및 자전거·보행자전용도로를 배치하였다.

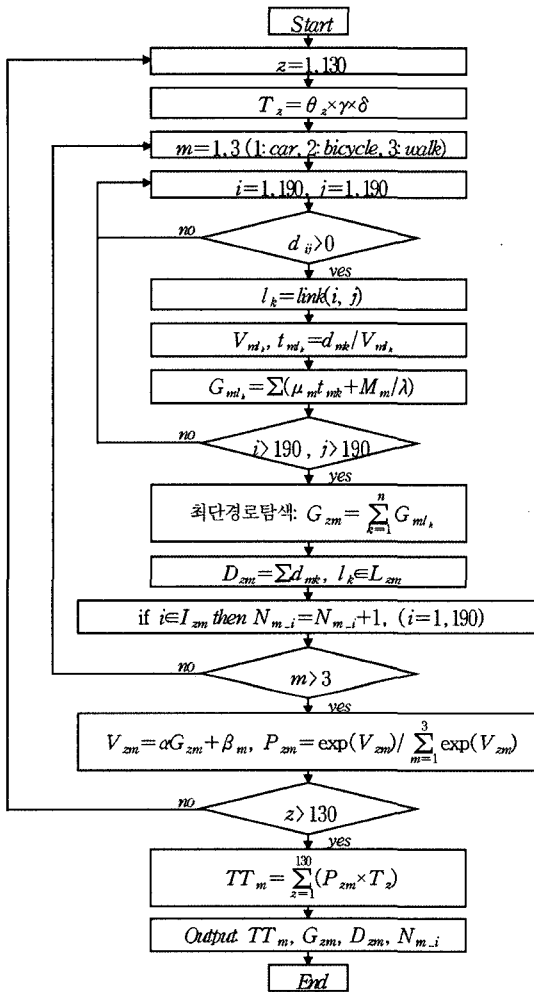


〈그림 4〉 개선안 B

V. 시뮬레이션 분석

1. 시뮬레이션 과정

시뮬레이션 과정은 〈그림 5〉에 나타난 것과 같으며, 그 전제조건 및 계산순서는 다음과 같다.



- z : 존
- T_z : 존 z의 통행발생량
- θ_z : 존 z의 인구
- γ : 취업자·통학자수의 비율
- δ : 통근·통학목적의 통행발생률
- m : 교통수단
- i, j : 노드
- l_k : 노드 i, j에 연결되어 있는 k번째의 링크
- d_{ij} : 노드 i, j간의 거리
- V_{mlk} : 교통수단 m의 링크 k 상의 속도
- t_{mlk} : 교통수단 m의 링크 k 상의 소요시간
- G_{mlk} : 교통수단 m의 링크 k 상의 일반화시간
- μ_m : 교통수단 m의 등가시간계수
- M_m : 교통수단 m의 비용
- λ : 시간가치
- G_{zm} : 존 z에서 목적지까지의 교통수단 m의 일반화시간
- D_{zm} : 존 z로부터 목적지까지의 교통수단 m의 주행거리
- L_{zm} : 최단경로의 링크집합
- I_{zm} : 최단경로의 노트집합
- $N_{m,i}$: 교통수단 m의 노드 i의 통과횟수
- V_{zm} : 존 z의 교통수단 m의 효용
- α, β : 교통수단선택모델의 파라미터
- P_{zm} : 존 z의 교통수단 m의 선택확률
- TT_m : 교통수단 m의 총 통행량

〈그림 5〉 시뮬레이션 과정

- ① 각 거주지 존(z)으로부터 발생하는 통행목적은 통근·통학목적으로 한다.
- ② 통행은 각 존의 중심으로부터 키타센리역으로 향한다. 존수는 총 130개이며, 통행발생량의 계산 방법은 2절에 나타낸다.
- ③ 교통수단(m)은 도보, 자전거, 승용차를 대상으로 한다. 상세한 내용은 4절에 나타낸다.
- ④ 각 교통수단별 각 링크(l_k)상을 주행하는데 소요되는 일반화시간(G_{mlk})을 구하며 상세한 내용은 4절에 나타낸다.
- ⑤ 각 통행의 교통수단선택과 경로선택은 각 교통수단별 일반화시간이 최소가 되는 경로를 가정한다. 즉, 도보, 자전거, 승용차 각각에 대해서 하나의 경로가 추출되며, 그 경로에 대한 일반화시

- 간(G_{zm})이 구해진다.
- ⑥ 최단경로를 이용할 때의 이동거리(D_{zm})를 계산함과 동시에 통과경로상의 노드 i를 확인하고, 통과한 경우, $N_{m,i}=1$ 로서 각 노드별 교통수단별 통과횟수를 누적시킨다.
- ⑦ 교통수단별 목적지까지의 일반화시간을 효용함수로 교통수단선택률(P_{zm})을 계산한다.
- ⑧ 각 존으로부터 발생하는 통행량(T_z)에 교통수단 선택률을 곱하여 존별 교통수단별 통행발생량을 구한다. 그리고 지구전체에 대해 집계하여 교통수단 m의 총 통행량(TT_m)를 계산한다.
- ⑨ 자동차의 경우, K&R, 주차장이용, 동승 등의 다양한 형태의 통행이 있을 것이나, 여기서는 주차비용이 무료인 경우의 주차장이용을 가정한다.

시물레이션분석을 위한 도로망데이터는 GIS데이터를 이용하여 작성하며, 각 링크별 거리를 계측하였다. 또한 각 도로폭원은 정밀주거지도를 이용하였다. 시물레이션 분석에 사용하기 위해 작성된 도로망은 노드 190개, 링크 784개로 구성되어 있다. 존 분할은 링크의 연결상태를 고려하면서 행하였다. 시물레이션에 사용한 프로그램 언어는 Fortran90이며, 교통행동데이터는 1997년 대 상지구에서 실시한 주민 설문조사의 데이터를 이용하였다.

2. 통행발생량의 산정

각 존의 중심으로부터 통행을 발생시킨다. 각 존의 통행발생량은 <표 2>의 존별 인구에 <표 3>의 취업자·통학자수의 비율과 통근·통학목적의 통행발생률 0.8247)를 곱하여 구한다. 총 통행발생량은 11,587통행/일이다.

<표 2> 각 존의 인구나 통행발생량

町丁目	인구	통근통학인구	통행발생량
青山台	三丁目	1,186	698
	四丁目	1,869	994
	二丁目	2,220	1,181
	一丁目	2,997	1,594
古江台	三丁目	2,092	1,113
	四丁目	1,966	1,046
	二丁目	590	314
	一丁目	870	463
	六丁目	758	403
	五丁目	3,476	1,849
藤代台	一丁目	3,102	1,650
	三丁目	3,452	1,836
	二丁目	886	471
	四丁目	967	514
	26,431	14,061	11,587

자료 : 吹田市住民基本台帳, 2001년 10월 1일 기준

<표 3> 大阪府의 취업자수와 통학자수의 비율

총인구	취업자수	취학자수
8,805천인	4,134천인	549천인
취업자·통학자수의 비율 = (4,134 + 549) / 8,805 = 0.532		

주 : 2000년 국제조사의 결과로부터 취업자와 통학자수는 15세 이상을 대상

3. 도로종류별 주행속도 설정

도로공간 재배분과 도로망 재구성에 의해 각 교통수단의 주행속도는 변하게 된다. 각 도로종류별 주행속도는 기존 문헌조사를 통해 <표 4>와 같이 가정하였다. 승용차의 주행속도는 도시계획메뉴얼(日本都市計劃學會, 1985)의 도로종류 및 도로의 구분에 의한 설계속도에 기초하여 개 선안을 적용하지 않은 현재형에서는 간선도로 60km/h, 보조간선도로 40km/h, 국지도로 30km/h, 커뮤니티도로 20km/h로 하고, 가감속을 고려하여 그의 3/4의 값으로 하였다. 또한 자전거는 天野(1986) 등이 보차공존도로의 정비효과를 분석하기 위해 정비 후 실시 한 관측결과를 참고하여 보도주행 시는 10.6km/h, 차로주행 시는 12.7km/h로 하였다. 그리고 자전거전용도로에 대해서는 대상지구의 자전거전용도로를 실험주행에 의한 평균치 18km/h로 하였으며 도보는 모든 도로에 대해 5km/h로 하였다.

<표 4> 도로종류별 주행속도 설정

	간선도로			보조간선도로			국지도로		
	C	B	W	C	B	W	C	B	W
현재형	45.0	10.6	5.0	30.0	10.6	5.0	22.5	10.6	5.0
개선안A	30.0	12.7	5.0	22.5	12.7	5.0	15.0	10.6	5.0
개선안B	45.0	12.7	5.0	30.0	12.7	5.0	22.5	10.6	5.0
	-	18.0 ^a	5.0 ^a	-	12.7 ^b	5.0 ^b	-	-	-

주 : 1. C: 자동차, B: 자전거, W: 도보, 단위: km/h
2. 개선안 B의 a는 자전거전용도로, b는 보행자·자전거전용 도로에서의 주행속도

4. 교통수단선택모델의 구축

교통수단선택모델의 구축에 이용한 데이터는 센리뉴타운을 대상으로 실시된 교통행동조사(1997년) 데이터이다. 이중 통행목적이 통근·통학이며, 목적지가 철도역, 이용교통수단은 자동차, 자전거, 도보의 조건을 만족하는 데이터만 이용한다. 교통수단선택모델은 식(1)과 같이 세 선택지를 가지는 다항로짓모델이며, 파라미터 추정결과는 <표 5>와 같다.

<표 5> 파라미터 추정결과

파라미터	추정치	t-값	적중률	우도비(σ²)
α	-0.1194	-4.749	79.6%	0.657
β _c	-5.2306	-3.757		
β _b	-4.7873	-3.964		

주 : 모든 파라미터 값은 유의수준 1%에서 유의

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum \exp(V_i)} \quad (1)$$

$$V_i = \alpha G_i + \beta_i$$

- 여기서, P_i : 교통수단 i 의 선택확률
- V_i : 교통수단 i 의 효용
- i : 교통수단(a :자동차, b :자전거, c :도보)
- G_i : 교통수단 i 의 이용에 대한 일반화시간
- α : 일반화시간 파라미터
- β_i : 교통수단 i 의 더미 파라미터

이 때 각 교통수단을 이용하여 목적지까지 소요된 일반화시간은 다음 식에 의해 구한다.

1) 자동차의 경우

역까지의 소요시간 t 분, 하차 후 도보 3분, 비용 M (주차비용, 주행비용)

$$G_c = \mu_c t + \mu_w \times 3 + M/\lambda$$

- 여기서, M : ml (m =속도별 주행경비 원단위(國土交通省, 1996), l =주행거리)
- μ_c : 자동차의 등가시간계수(0.57)
- μ_w : 도보의 등가시간계수(3.18)
- λ : 시간가치(7.21엔/분)

2) 자전거의 경우

역까지의 소요시간 t 분, 하차 후 도보 3분, 비용 M (주차비용 100엔)

$$G_b = \mu_b t + \mu_w \times 3 + 100/\lambda$$

- 여기서, μ_b : 자전거의 등가시간계수(1.2)

3) 도보의 경우

역까지의 소요시간 t 분, 비용 없음

$$G_w = \mu_w t$$

VI. AHP수법을 이용한 종합적 평가

본 연구에서는 자전거주행환경 개선안에 대한 효과 평가를 위해 편리성, 환경성, 안전성의 3가지 관점에서 비교 평가를 행하고, AHP수법을 이용하여 각 평가항목의 가중치를 구하여 종합적 평가를 행한다.

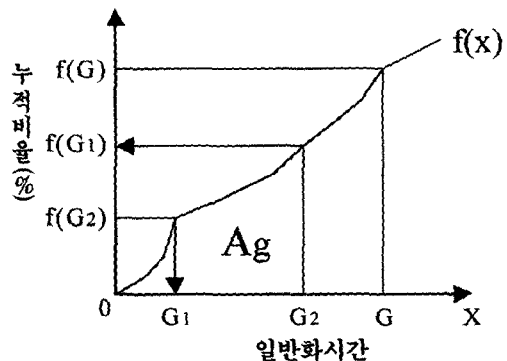
1. 각 평가측면에서의 평가

1) 편리성 측면

본 연구에 있어 통행의 편리성이란 교통행동을 역으로의 접근으로 가정하였으므로, 접근성(accessibility)을 의미한다. 즉, 접근성은 어떤 활동목적지에 대한 접근의 용이성을 나타내며, 혹은 편리함으로 표현된다.

본 연구에서 이용한 편리성 평가지표는 <그림 6>에 나타난 것과 같이 어떤 시간(한계시간) 내에 목적지까지 도달할 수 있는 활동의 기회의 합(누적비율)을 이용한다.

구체적으로 소요시간은 물리적인 시간만이 아니라 교통수단 간의 부담감의 차이를 나타내기 위한 일반화시간을 이용하며, 시뮬레이션 결과 중 각 존에서 역으로의 교통수단별 일반화시간(G_m)의 누적분포곡선을 작성하고 식(2)를 이용하여 평가치 A_g 값을 계산한다. 이때, A_g 값이 크면 클수록 편리성은 높은 것을 의미하며, <표 6>에 나타난 임계시간을 이용하여 각 개선안에 대한 편리성을 비교 평가한다.



<그림 6> 편리성 평가지표 산정 개념도

$$A_g = \int_0^G f(x) dx \quad (2)$$

〈표 6〉 편리성 측면의 비교평가 결과

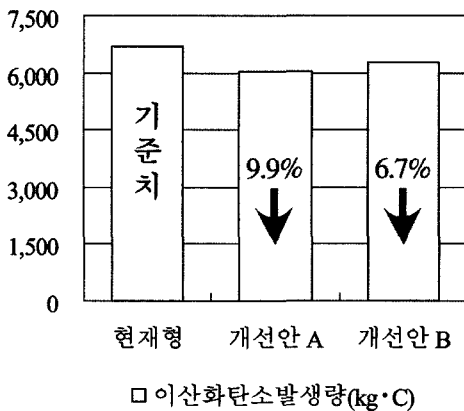
한계시간	현재형	개선안 A	개선안 B
20분	649	658	657
40분	2,314	2,326	2,327
60분	4,298	4,311	4,311
80분	6,298	6,311	6,311

〈표 6〉에 나타난 것과 같이 모든 한계시간 내에서 두 개선안의 A 값이 다소 크며, 편리성은 약간 개선되는 것을 알 수 있다. 이 경우 자동차에게는 종전보다 서비스수준이 저하되는 대책이었지만, 대체교통수단으로서 자전거의 주행환경을 정비함에 의해 전체적으로는 편리성의 저하는 일어나지 않았으며, 오히려 편리성의 증가를 기대할 수 있다는 가능성을 나타내었다고 말할 수 있다. 그러나, 개선안 간에는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

2) 환경성 측면

환경성의 평가방법은 지구온난화의 원인이 되는 이산화탄소 배출량을 기준으로 하며, 시뮬레이션 결과 중 각 존별 교통수단별 총 주행거리(D_m)와 이산화탄소 발생원단위⁸⁾를 이용하여 계산한다. 이 때 이산화탄소를 배출하는 교통수단으로서는 자동차만을 고려한다.

현재형을 기준으로 이산화탄소 배출량은 〈그림 7〉에 나타난 것과 같이 두 개선안 각각 9.9%, 6.7%의 감소를 나타내어 환경측면에서 다소 효과가 있음을 알 수 있다. 개선안 B 보다는 A가 보다 감소한 것은 B의 경우 지구내의 자동차주행은 규제되어 있기 때문에 자동차를 이용하는 경우 외곽을 순환하게 되어 결국 주행거리의 증가를



□ 이산화탄소발생량(kg·C)

〈그림 7〉 환경성 측면의 비교평가 결과

가져왔기 때문으로 판단된다.

3) 안전성 측면

지금까지 지구교통계획은 통과교통의 배제와 歩車분리를 중심으로 진행되어 왔다. 즉 자동차와 보행자가 교차하는 가능성을 어떻게 감소시킬 것인가가 관건이었다고 말할 수 있다. 일본의 시가지에 있어서 사망사고의 50%이상이 교차점과 그 부근에서 발생하고 있으며, 보행자·자전거의 사망사고의 60%이상이 교차점과 그 부근에서 발생하고 있다. 본 연구에서는 교차점에서의 교차가능성에 착안하여 안전성을 평가하였다. 평가지표로서 이용하는 교차가능성 S는 시뮬레이션 결과 중 교통수단별 노드별 통과횟수($N_{m,i}$)를 이용하여 식(3)과 같이 각 교차점에서의 자동차와 자전거의 통과횟수의 최소값으로 구해진다. 평가는 모든 교차점의 교차가능성의 합을 평가지표로 한다.

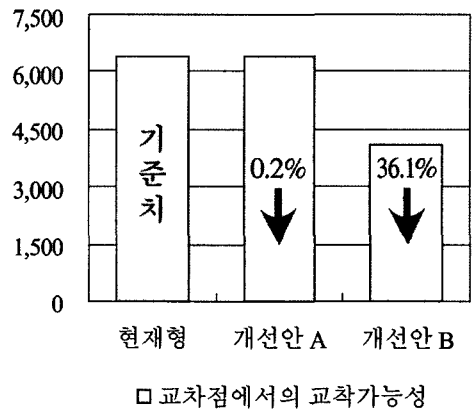
현재형을 기준으로 각 개선안의 변화를 보면, 개선안 A에서는 거의 변화가 없었으며, 개선안 B는 약 40%의 큰 감소를 나타내어 안전성 측면에서 상당한 효과가 있음을 나타내었다.

$$S = \sum_{i=1}^n \min(N_{c,i} + N_{b,i}) \tag{3}$$

여기서, S : 안전성지표(교차가능성 횟수)

$N_{c,i}$: 교차점 i에서의 자동차 통과횟수

$N_{b,i}$: 교차점 i에서의 자전거 통과횟수



□ 교차점에서의 교차가능성

〈그림 8〉 안전성 측면의 비교평가 결과

8) 4.46kg·C/km (中村, 1998)

2. AHP수법을 이용한 종합적 평가

이상으로부터 각 평가측면에서의 결과는 파악되었지만, 종합적으로는 어느 안이 효과적인지는 알 수 없다. 그러므로 종합적으로 평가하기 위해서는 각 평가지표의 가중치를 구하여 종합적으로 평가할 필요가 있다. 본 연구에서는 다음의 식(4)를 이용하여 종합평가를 시도한다.

$$P = \sum_{i=a, e, s} W_i G_i \quad (4)$$

여기서, P : 종합평가지표

W_i : 각 평가지표의 가중치

G_i : 각 평가지표의 현재형 대비 개선률

i : 각 평가지표(a :편리성지표, e :환경성지표, s :안전성지표)

이때, 각 평가지표에 있어서 현재형 대비 개선률과 AHP수법을 응용한 각 평가지표의 가중치 산정방법은 다음과 같다.

1) 각 평가지표의 개선률

각 평가항목의 결과를 이용하여 <표 7>과 같이 현재형을 기준으로 두 개선안의 개선률을 계산한다.

<표 7> 두 개선안의 개선률

평가항목	개선형 A	개선형 B
편리성(G_a)	1.005	1.006 (40분값을 채용)
환경성(G_e)	$1/(1-0.099)=1.110$	$1/(1-0.067)=1.072$
안전성(G_s)	$1/(1-0.002)=1.002$	$1/(1-0.361)=1.565$

2) 평가지표의 가중치 추정

(1) AHP수법을 응용한 가중치의 계산방법

AHP수법(Analytic Hierarchy Process: 단층분석법)은 미국의 Saaty교수가 제창하였으며, 부정확한 상황이나 다양한 평가기준에 의한 의사결정수법이다. AHP수법은 일반적으로 종합목적, 평가항목, 대체안이라는 단층구조를 가지며, 상위레벨로부터 하위레벨의 가중치를 구한다. 본 연구에서는 이와 같은 AHP이론을 응용하여 종합목적으로부터 평가항목의 가중치를 구

한다. 즉, 향후 교통정책의 방향을 종합목적으로 하고, 평가항목으로서 안전, 환경, 편리를 들어 평가항목의 가중치를 구한다. 이하 AHP의 수학적인 이론과 계산방법에 대해서 기술한다.

(2) 일대비교행렬의 성질

n 개의 평가항목 I_1, \dots, I_n 이 있으며, 그 본래의 가중치가 w_1, \dots, w_n 이라 하자. 이때 항목 I_i 와 I_j 의 중요도의 일대비교치 a_{ij} 는,

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$$

가 된다. 따라서 일대비교행렬 $A=[a_{ij}]$ 는 <식 5>와 같은 형태가 된다.

A 의 좌측으로부터 가중치의 벡터를 곱하면, 식(6)이 되며, 이 관계식으로부터 가중치 벡터는 A 의 고유벡터이며, n 은 고유치임을 알 수 있다. 게다가 n 은 행렬 A 의 최대고유치이다. 그러므로 A 의 최대고유치와 고유벡터를 구하면, 그 고유벡터가 각 평가항목의 가중치로서 채용될 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

$$AW = \lambda_{\max} W \quad (6)$$

여기서, λ_{\max} : 일대비교행렬 A 의 최대고유치

W : λ_{\max} 에 대한 정규화한 고유벡터

이와 같이 AHP수법은 일대비교에 의해 얻어진 결과를 이용하지만, 일대비교에 있어서 판단의식의 논리성, 즉 전체로서 수미일관한 정합도를 검증할 필요가

있다. 일반적으로 사용되는 것은 정합도(Consistency Index, C.I)라 하는 평가지표이며, 그것은 식(7)로부터 구해진다. 이 값은 적으면 적을수록 정합도가 높지만, 일반적으로 0.1이하일 때에는 문제가 없다고 말해진다(木下, 2000).

$$C.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

(3) 분석데이터와 일대비교행렬의 작성

평가지표의 가중치 추정을 위해 대상지역의 시민(15세 이상)을 대상으로 실시한 설문조사(회답자수 2,531인) 결과를 이용한다. 조사표에는 안전, 환경, 편리에 대해서 일대비교방식으로 중요성에 대해 질문하였다. 구체적으로는 이러한 세 지표에 대해서 다음과 같이 정의하였다.

안전:교통사고가 적은 안전한 교통환경
 환경:대기오염이 적은 친환경적 교통환경
 편리:원하는 곳으로 편리하게 갈 수 있는 교통환경

예를 들어, 안전(s)과 환경(e)의 일대비교의 경우, 「1. 안전이 중요」 「2. 안전이 다소 중요」 「3. 어느 쪽이라 말할 수 없다」 「4. 환경이 다소 중요」 「5. 환경이 중요」 중 하나를 회답하는 것으로 하였다. 그 외의 경우도 동일하다.

이때 중요도를 정량화하기 위해서는 「중요: 5점」 「다소 중요: 3점」 「어느 쪽이라 말할 수 없다: 1점」으로 설정하였다 예를 들어 안전(s)과 환경(e)에 대해서 안전을 기준으로 하여 환경과 비교하여 「안전이 환경보다 중요」라고 답하였다면, 일대비교치(a_{es})를 5로 둔다. 반대로 환경을 기준으로 한 경우, 이 경우에는 $a_{es} = 1/a_{se}$ 이므로 1/5가 된다.

이와 같이 해서 각 설문조사 회답자에 대해서 일대비교행렬을 작성하고 정합도를 구하여 정합도가 0.1이하의 표본만(1,351개)을 대상으로 안전, 환경, 편리 세 지표의 가중치를 구하면, 각각 0.46, 0.37, 0.17이 된다.

3) 종합평가

식(4)에 각 평가항목의 가중치를 대입하여 종합평가치를 구하면 다음과 같다.

- 개선형 A의 종합평가치
 $= 1.005 \times 0.17 + 1.110 \times 0.37 + 1.002 \times 0.46 = 1.042$

- 개선형 B의 종합평가치
 $= 1.006 \times 0.17 + 1.072 \times 0.37 + 1.565 \times 0.46 = 1.288$

이상의 결과로부터 세 평가지표에 의한 종합평가의 결과는 개선안 B가 뛰어나다는 것을 나타내었다.

Ⅶ. 결론

본 연구에서는 친환경적 교통수단으로서 자전거에 주목하여 기존의 자동차 중심적인 지구교통체계에서 자전거를 중시하는 지구교통정비로서 자전거주행환경 개선안을 제시하고, 그 유효성 검증을 목적으로 하였다. 즉, 자전거주행환경정비를 통해 자전거 및 보행자에게 우선권을 부여하기 위한 개선안으로 도로공간 재배분에 의한 자전거도로의 설치와 도로망의 재구성으로 자동차와 분리된 자전거도로망의 구성을 제안하였다. 이와 같은 개선안을 센리뉴타운에 적용하여 환경, 안전, 편리라는 세 측면에서 종합적인 평가를 행하였다.

이상의 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 자전거 주행환경 정비를 실시하면, 자동차의 경우 기존보다 서비스의 저하가 예상되지만, 대체교통수단으로서 자전거의 주행환경이 개선되어 전체적으로 편리성은 증가할 수 있는 가능성이 있다.

둘째, 다른 교통수단과 분리된 자전거의 주행공간의 확보는 안전성 향상에 이바지하며, 특히, 자동차와 분리된 자전거도로망의 구축은 안전성 향상에 상당히 효과가 있다.

셋째, 자전거 주행환경 정비는 자동차로부터 교통수단 전환을 촉진시켜 대기환경 개선에 효과가 예상되지만, 본 연구의 개선안 B와 같이 자동차 주행거리의 증가에 따른 정비효과의 반감이 발생할 수 있으므로 이 부분은 추후 연구를 발전시킬 필요가 있다.

넷째, AHP수법을 이용한 종합적 평가결과, 자전거도로의 설치뿐만 아니라 이와 병행하여 자동차와 분리된 자전거도로망을 구축하는 자전거 주행환경 정비가 효과적인 것으로 나타났다.

끝으로 본 연구에서는 자전거이용의 장애요인으로서

지형적인 요인을 다루지 못한 한계점이 있다. 이에 추후연구과제로서 자전거이용에 있어 지형적인 요인이 미치는 영향과 이를 고려한 자전거 주행환경 정비방안에 관한 연구가 필요할 것이다. 또한 안전, 환경, 편리라는 세 가지의 측면에서 평가를 수행하였지만, 경제성 측면을 비롯한 보다 다차원적인 시각에서의 평가에 대해 연구가 필요하며, 보다 정도 높은 평가를 위해서는 제반 전제조건 및 분석에 필요한 데이터의 보완이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김용수·김수봉·박수미(1999), "자전거 전용도로의 이용환경에 대한 의식분석", 대한국토·도시계획학회지 34(5), pp.69~78.
2. 손영태·김정현·오영태·김홍상·박우신(2002), "자전거 교통류의 기본 특성에 관한 연구", 대한교통학회지, 제20권 제4호, 대한교통학회지, pp.19~26.
3. 정남지(1996), "레크레이션용 자전거도로 정비방안에 관한 연구-잠실지역을 사례로-, 홍익대학교 환경대학원 석사학위논문.
4. 정용기(2003), "대구시 자전거도로 정비 및 이용 활성화 방안", 대구경북연구원.
5. 이행렬(1996), "자전거 전용도로 구축을 위한 지리정보체계모델 연구", 상명여자대학교 산업과학연구, pp.159~172.
6. 최은옥(1996), "서부산권 신개발지역의 자전거도로 도입에 관한 연구", 부산대학교 환경대학원 석사학위논문.
7. Nitta, Y., Hwang, J.H(2002), "Comparative evaluation of the bicycle and road network planning by the indexes of accessibility, safety and CO2", Proceedings of International Symposium on City Planning 2002, Taipei, Taiwan, A4.3.1~A4.3.9.
8. 日本都市計画学会(1985), "都市計画マニュアルII-都市施設④道路編", pp.44~47.
9. 天野光三(1986), "計量都市計画-都市計画システムの手法と応用", pp.291~298.
10. 中村英樹·林良嗣(1998), "目標設定アプローチによる運輸起源のCO2排出削減施策の提示", 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.739~745.
11. 木下栄蔵(編著)(2000), "AHPの理論と実際", 日科技連.
12. 国土交通省(1996), "道路投資の効果分析手法の検討".
13. 山根浩三(1999), "地方都市における自転車利用環境の整備が通勤・通学交通手段に及ぼす影響", 土木計画学研究・講演集, Vol.22(2), pp.267~270.
14. 渡辺義則(2002), "自転車通勤する高校生の経路選択モデルを用いたの自転車道路の整備に関する考察", 土木学会論文集, No.695/IV-54, pp.171~176.
15. 鈴木紀一(1998), "自転車走行環境に着目した鉄道端末自転車需要予測方法の提案", 交通工学 Vol.33, No.5, pp.13~21.
16. 예를들어, 宮城祐貴(1999), "歩道上における自転車歩行者交通のサービスレベルに関する研究", 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, Vol.54, pp.466~467, 山中英生(2001), "自転車走行速度に着目した歩行者自転車混合交通の評価基準", 土木計画学研究・論文集, Vol.18, pp.471~476, 山中英生(2001), "利用者の安全性と挙動から見た自転車歩行者導におけるサイン表示の効果", 土木計画学研究・講演集, Vol.24(1), pp.193~196.

♣ 주 작 성 자 : 황정훈
 ♣ 논문투고일 : 2005. 10. 29
 ♣ 논문심사일 : 2005. 11. 30 (1차)
 2005. 12. 15 (2차)
 ♣ 심사판정일 : 2005. 12. 15
 ♣ 반론접수기한 : 2006. 4. 30