

자전거도로의 경사기준을 고려한 자전거도로 노선 선정 The Bicycle Road Route Selection which Considers the Slope Standard of the Bicycle Road

백승헌¹⁾ · 한동엽²⁾ · 진홍성³⁾

Baik, Seung Heon · Han, Dong Yeob · Jin, Hong Seong

Abstract

The bicycle use activation plan reduces a greenhouse gas exhaust, and economic convenience, movement timely shortening, health effect will be able to expect but the bicycle user is few. The nationwide bicycle road projects is advanced by the countermeasure for a bicycle use activation. It is advanced a bicycle road basic plan even from each local government. The research against a route selection is advanced actively. But the research against a data process is not coming out the accurate research method. It follows a financial one bicycle road design standard from ministry of land, Transport and maritime affairs. But vertical grade in bicycle road design standard is exception becoming that about unavoidable case with geomorphic environments. From the research which it sees the existing bicycle road consider should have to make the terrain situation of yeosu, slope standard connection about under considering it presented the bicycle road route selection which is possible. It included a lane and road width with additional element and establishment in the bicycle road was produced suitable bicycle road route. The area where the mountain district is many when selecting bicycle road, will be used with application plan of slope standard.

Keywords : GIS, route selection, slope, Vertical grade

초 록

자동차 보유대수 증가에 따른 고유가와 온실가스 배출로 자전거이용의 중요성이 대두되고 있지만, 자전거이용률은 현저하게 낮은 실정이다. 자전거이용 활성화를 위한 대책으로 전국자전거도로 사업이 진행되고 있으며 각 지방자치단체에서도 자전거도로 기본계획을 수립하여 진행하고 있다. 노선 선정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만, 자료 처리에 대한 연구는 명확한 결과를 도출하기엔 부족한 실정이다. 자전거도로 설계 기준에 명시되어진 종단경사도 지형상황 등으로 인하여 부득이하다고 인정되는 경우에는 예외로 한다고 되어 있다. 본 연구에선 기존 자전거도로가 여수시의 지형상황을 고려하여 개설되어졌는지, 종단경사 기준을 고려하여 연결 가능한 자전거도로 노선 선정을 제시했다. 추가요소로 차선 수, 도로 폭을 포함시켜 개설 가능한 자전거도로 중 적합한 자전거도로 노선이 산출되었다. 향후 산지가 많은 지역을 대상으로 자전거도로 선정 시 종단경사 기준의 활용 방안으로 이용될 것이다.

핵심어 : GIS, 노선 선정, 경사도, 종단경사

1. 서 론

1.1 연구목적 및 필요성

자전거는 단거리의 이동성과 접근성, 환경오염부하

저감을 위한 가장 효율적인 교통수단이 될 수 있다(손유진 외,2009). 녹색교통수단인 자전거의 이용을 증대시키기 위해 2008년에는 전국 자전거 시범도시 15곳에 15,000대의 시민자전거를 제공함과 더불어 공공시설물에 자전거

1) 정희원 · 전남대학교 대학원 건설 · 환경공학과 석사과정(E-mail : kindtmdgjs@naver.com)
2) 교신저자 · 정희원 · 전남대학교 공학대학 건설 · 환경공학과 교수(E-mail : hozilla@chomam.ac.kr)
3) 정희원 · 전남대학교 공학대학 응용수학과 교수(E-mail : hjin@chonnam.ac.kr)

거주차시설의 의무화 및 공무원들의 자전거 출선수범하여 타기 등의 다양한 자전거 정책이 시행되었고, 2010년 6월 행정안전부에서는 모범도시 사례를 창출·확산하기 위해 '10대 자전거 거점도시' 대상지역을 선정 및 발표했다(여수시, 2010). 선정된 도시들은 행정안전부의 지원을 받아 다양한 인프라 구축과 자전거 이용활성화를 부추길 계획이다.

자전거 노선을 선정할 때에는 다양한 결정 요인과 변수들이 작용하며, 또한 전문가의 숙련된 경험 및 이론과 광대한 자료들을 요구함과 동시에 많은 시간과 경제성을 요구하고 있으며, 이러한 요소와 자료들을 이용하여 합리적인 노선 선정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. GIS기반 구축데이터 자료들의 기준은 국토해양부(2010)에서 발표한 '자전거 이용시설 설치 및 관리 지침'을 설계기준으로 자전거 도로를 설치하고 있지만, 지형상황 등으로 인하여 부득이하다고 인정되는 경우에는 예외로 하고 있다. 지형에 있어서 경사는 우리나라 전 국토의 64%가 산지로 구성되어 있고, 경상북도, 강원도, 부산, 울산, 순천, 여수 등의 지역에 따른 경사도의 기준 설립에 명확한 정보를 제공할 수 있는가 하는 것이다. 국내에선 아직 GIS기반을 이용하여 자전거도로 선정 시 경사도 기준이 불분명하게 정해져있다. GIS기반의 계층분석기법을 활용한 손유진 등(2009)의 사례를 보면 경사도의 범례를 10도 간격으로만 나누어 분석 되어 있고, 양인태 등(1997)은 DEM을 이용한 지형경사도의 분석을 100m 및 10m 간격으로 격자를 만들어 지형의 경사도 분석을 실시한 결과 경사도가 매우 중요한 영향을 미친다고 하였다. 기존 연구에서는 경사기준이 아닌 자의적으로 경사 범례를 적용시켰다. 본 연구에서는 대상지역인 여수시에 종단경사별 제한길이를 적용시켰고, 기준에 맞는 개설 가능한 노선을 선정해 보았다. 따라서 설계기준을 고려하고, 나아가 차선 수, 도로 폭을 적용하여 적합한 자전거도로 노선 선정 하는데 목적이 있다.

1.2 연구방법

이론적 접근 단계에서는 선행연구 및 관련문헌을 검토하여 GIS 노선선정 기술과의 통합을 위해 GIS 자료를 조사하고 평가의 지표로 이용하기 위해 기초자료의 구축 및 분석방안에 대한 연구를 수행하였다. 경사도로 쓰일 원시데이터 DSM(Digital Surface Model)/DTM(Digital Terrain Model)은 보도데이터와의 정성적 평가를 하였다. 정성적 평가를 통해 가로수와 위치부정확으로 보도데이터보다

도로현황도로 분석하는 방법을 선택했다. 원시데이터 해상도에 따른 경사도를 구축하고 필터링 작업을 통해 경사도의 시각적 효과와 경사 범례에 적합한 방법을 도입하였다. 전처리 과정을 통해 구축한 경사도는 기존 자전거도로 노선이 경사기준을 고려하였는지를 판단하고 추가요소를 포함시켜 개설 가능한 자전거도로 노선을 도출하였다.

2. 경사도

경사는 자전거도로의 이용에 직·간접적인 영향을 미친다. 그러므로 이러한 경사의 항목은 경제적, 기술적, 그리고 사회·환경적 측면에 영향을 미치는 요소로 판단된다(노태호, 2005). DEM에 기초한 경사정보는 강우유출, 지하수 유동과 같은 수자원분야는 물론 도시계획 및 도로 설계분야에서도 매우 유용하게 활용된다(이근상 등, 2006).

2.1 설계기준에서의 경사도

자전거 사업이 활발한 유럽은 평탄지의 비율이 높아 종단경사가 자전거 이용활성화에 크게 영향을 미치지 않는다. 세계 각국의 자전거도로의 설계기준에 있어서 종단경사는 주로 한계거리 측면에서만 다루어진다. 하지만 세계 각국의 한계거리는 규정되어 있고, 한계거리의 수치가 적은 국가는 영국, 미국, 독일, 일본, 우리나라 순으로 볼 수 있다. 우리나라의 제한 길이가 가장 높은 이유는 다른 국가에 비해 구릉지가 많은 특징이 있다(송창용 등, 1993). 표 1은 종단경사에 따른 제한 길이를 국가별로 정리하였다.

표 1. 국가별 종단경사에 따른 제한 길이

구분	한국	미국	독일	일본	영국
3%	470m	165m		300m	
4%	350m	120m	250m	200m	220m
5%	220m	90m	120m	100m	160m
6%	170m		65m		120m
7%	120m				90m

우리나라 자전거도로 설계 기준을 살펴보면, 설계속도와 장애물을 인지하고 안전하게 정지하기 위하여 필요한 설계속도, 정지시거, 종단구배, 자전거도로 도로 폭 등을 들 수 있다(국토해양부, 2010).

표 2. 정지시거(하향경사)

경사	설계속도				
	10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h
2%	9m	20m	37m	55m	79m
3%	9m	21m	38m	58m	81m
5%	9m	22m	40m	60m	85m
8%	9m	23m	41m	65m	93m
10%	9m	25m	44m	71m	102m

표 3. 정지시거(상향경사)

경사	설계속도				
	10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h
2%	8m	20m	35m	52m	72m
3%	8m	20m	34m	51m	71m
5%	8m	20m	33m	50m	70m
8%	8m	20m	31m	49m	68m
10%	8m	20m	31m	48m	64m

표 4. 종단경사별 제한 길이

종단경사(%)	제한 길이(m)
7이상	120 이하
6이상	170 이하
5이상	220 이하
4이상	350 이하
3이상	470 이하

표 5. 자전거도로 도로 폭

구분	유효 도로 폭
자전거 전용도로	도시지역 - 일방향 1.5m(양방향 2.4m) 지방지역 - 일방향 1.5m(양방향 3.0m) 공원, 하천등 - 일방향 1.5m(양방향 3.0m) 차도 - 일방향 1.5m (제한속도에 따라 분리대 설치)
자전거 보행자 겸용도로	도시지역 - 분리시(일방향 1.5m) 비분리시(3.0m) 하천변 - 분리시(양방향 2.4m) 비분리시(3.0m)
자전거 전용차로	자전거전용차로 폭 - 1.5m · 제한속도 60km/h 이하의 경우 - 0.5m · 제한속도 50km/h 이하의 경우 - 2.0m

국토해양부에서 재정한 경사는 하향경사(표 2)와 상향경사(표 3)로 분류하고 설계속도에 따른 경사를 2%, 3%,

5%, 8%, 10%로 구분하였다. 표 4와 같이 종단경사별 제한 길이를 두고, 종단경사 5%를 초과하는 오르막경사와 3%를 초과하는 비포장 자전거전용도로는 바람직하지 않다고 보고 있다. 표 5는 자전거도로 설계시 유효 도로 폭을 나타낸다.

2.2 여수시의 지형현황

여수시는 소백산맥이 남해로 향해 완만히 뻗어 형성된 반도형 지형으로 크고 작은 300여개의 부속도서를 포함하여 남북으로 긴 형상이다. 도서지역의 경우에는 돌산읍, 남면을 중심으로 봉황산, 대부산이 도서의 지형을 형성하고 있으며, 농경지가 대부분 산재되어 있고, 경사가 급하고 협소한 편이다. GIS를 이용한 경사분석에서 10도 이하 지역이 49.8%, 10-15도인 지역이 17.9%로서 경사가 15도 이하인 지역이 여수시 전체 면적의 67.7%를 차지하고 있다(여수시,2010).

3. 자전거 노선 선정 실험

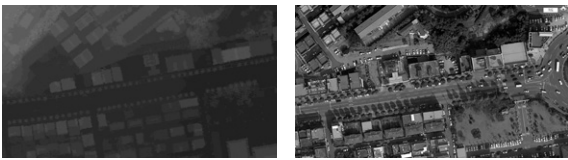
3.1 LiDAR 데이터

강준목 등(2006)은 기존의 지형도를 이용한 경사분석의 한계를 극복하고 최신 측량 기술인 LiDAR 시스템의 데이터를 활용해 지형의 경사도를 분석하여 LiDAR에 의한 지형경사도의 분석 가능성을 보여 주었다. 또한 데이터에 의해 생성된 해상도 1m의 수치표고모형 자료를 이용하여 지형경사도를 활용한 분석이 수치지형도를 이용한 분석보다 대상지역 및 주변의 경사도를 비교적 상세하게 표현할 수 있다(강준목 등,2007). LiDAR 데이터를 이용한 수치지형모형은 지형 또는 표면과 관련된 형상을 해석하고 보여줄 수 있도록 모형화 하는 기능을 가지고 있어 대상지의 지형 및 경사도 해석에 그 활용 가능성을 보여주고 있다. 따라서 본 연구에서는 LiDAR 데이터를 활용해 대상지의 경사도해석에 있어서 좀 더 정밀한 DSM과 DTM을 사용하였다.

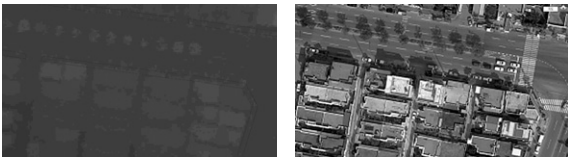
3.2 정성적 평가

DSM/DTM과 보도데이터를 중첩시켜 확인한 결과(그림 1) 보도데이터의 자료에 주변시설물이 포함된 것을 확인하였다. 여수시의 보도에는 가로수와 가로등과 같은 시설물이 설치되어 있었다. 보도데이터의 주변시설물은 경사도 분석에 고도데이터를 반영하여 경사가 높은 지역으로 인식되어 진다. DSM에 포함된 주변시설물은 DTM에

도 적용되어 미세한 경사를 나타낸다. 보도데이터와 DSM의 경사 왜곡은 건물에서도 나타났다. 일부 구간에선 보도의 위치가 건물을 통과하는 현상이 발생했다. 주변시설물과 건물을 관통하는 현상으로 인해 DSM과 도로데이터에 따른 정성적 평가를 실시하였다. 그림 2에서 보는 것처럼 도로데이터와 DSM간의 정성적 평가는 보도데이터보다 왜곡이 적어 교차로, 중앙 분리대, 도로폭 축소의 데이터 수정만으로도 경사 왜곡을 보정할 수 있다. 주변시설물에 대한 왜곡을 줄이고 경사도의 수치를 정확하게 측정하기 위해 DTM의 도로데이터를 경사도로 구축하였다.

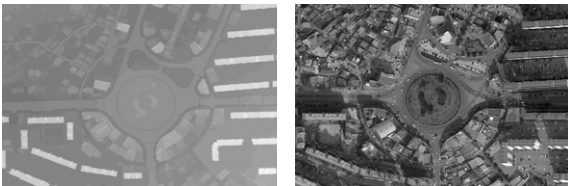


(a)가로수에 의한 경사 왜곡

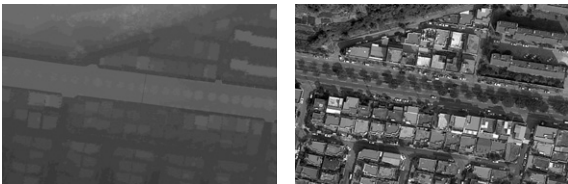


(b)건물에 의한 경사 왜곡

그림 1. DSM/DTM과 보도데이터간의 정성적 평가



(a)교차로에 의한 경사 왜곡



(b)중앙 분리대에 의한 경사 왜곡

그림 2. DSM과 도로데이터간의 정성적 평가

3.3 경사도의 분류와 구축

본 연구에서는 지상 자료를 포함하지 않은 DTM을 이용하여 경사도를 제작하였다. GIS 소프트웨어를 사용하여 DTM의 해상도를 1m, 2m, 3m로 적용하고, 각 해상도에

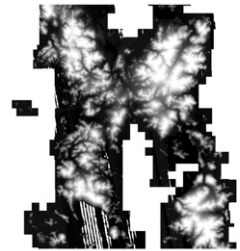
따른 경사 범례는 국토해양부에서 제시한 중단경사별 제한 길이 범례를 사용하여 3%는 3이상~4이하, 4%는 4이상~5이하, 5%는 5이상~6이하, 6%는 6이상~7이하, 7%는 7이상으로 구분하였다.

3.4 데이터 구축

그림 3은 자전거도로 노선을 평가하고 분석하기 위하여 경사도, 도로현황도, 보도폭, 자전거도로 데이터베이스를 구축하였다. 경사도는 DTM을 이용하여 구축하였고, 도로와 보도폭은 여수시에 협조를 받아 구축하였다.



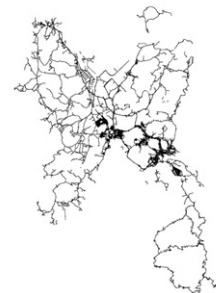
(a) 경사도



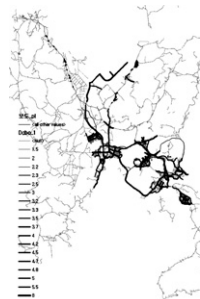
(b) DTM



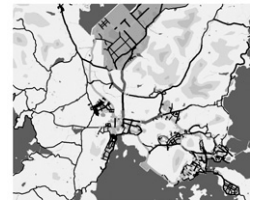
(c) 자전거도로



(d) 도로현황도



(e) 보도폭

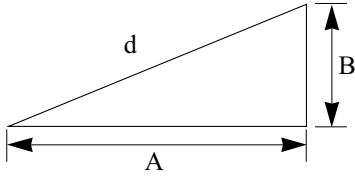


(f) 차선 수

그림 3. 데이터 구축

3.5 평면거리 환산

국토해양부에서 제시한 종단경사별 제한 길이는 경사 거리에 대한 내용을 나타낸다. GIS에서 사용하기 위해 평면 거리에 따른 거리환산을 하였다.



$$D = \frac{d \times A}{\sqrt{A^2 + B^2}} \quad (1)$$

표 6은 경사거리를 평면거리로 환산한 값이다. 평면거리로 환산한 결과와 경사거리와의 차이가 없어서 본 연구에서는 평면거리가 아닌 경사거리를 적용시켰다.

표 6. 평면거리 환산

구배 \ 구분	경사거리(d)	평면거리(D)
3%이상	470m	469.789m
4%이상	350m	349.720m
5%이상	220m	219.725m
6%이상	170m	169.695m
7%이상	120m	119.707m

3.6 실험결과

본 연구에서는 DSM과 DTM을 비교하여 경사도 평가에 적합한 원시데이터를 선정하였다. 지형정보가 포함된 DSM의 경우 보도데이터와 정확도를 확인한 결과, 보도데이터에 가로수와 가로등, 위치가 부정확한 결과가 나왔다. 경사도의 표현을 정확하게 하기 위해 보도데이터가 아닌 도로현황도를 사용하였다. DTM을 해상도 1m, 2m,

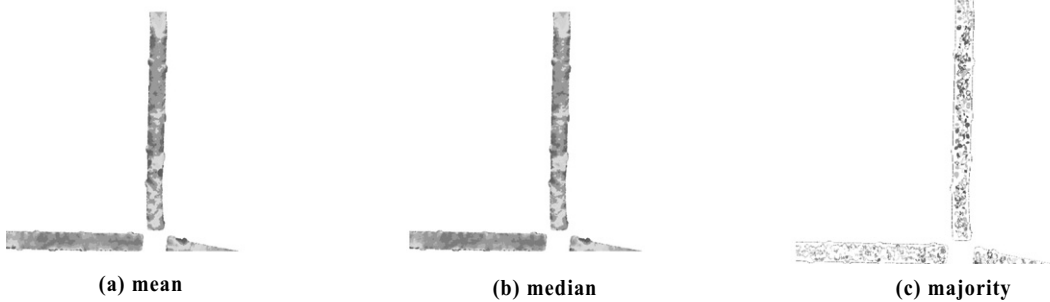


그림 4. 필터링

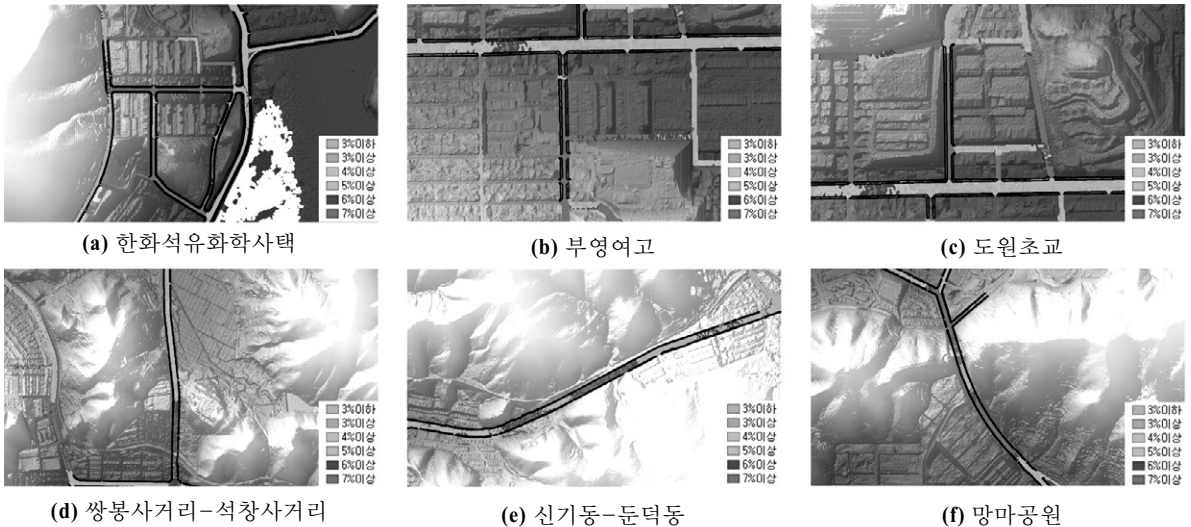


그림 5. 기존 자전거도로 중 종단경사 기준을 벗어난 지역

3m로 경사 추출하여 비교하였다.

해상도 3m는 1m와 2m를 비교했을 시 동일지역에 대한 왜곡이 심한 결과가 나왔다. 그래서 해상도에 따른 분석은 1m와 2m를 기준으로 필터링을 하였고, 필터링으로 쓰인 방법은 median 필터링을 사용하였다. 그림 4는 필터링 처리를 한 결과이고, median과 mean이 비슷한 결과가 나왔다. 동일 지역에 대한 경사범례를 확인한 결과 median의 결과값이 왜곡이 적게 발생하였다. 해상도가 1m와 2m인 경사도와 자전거 도로를 병합시켰으며, 필터링은 median을 이용하여 분석하였다.

그림 5의 자전거도로가 개설된 지역에 따른 경사도를 분석한 결과 국토해양부에서 제시한 종단경사별 제한 길이를 넘긴 구간을 확인하였다.

4. 처리 및 분석

그림 6의 종단경사 분석을 살펴보면 기존 자전거도로와 개설 불·가능한 지역을 알 수 있다. 종단경사의 결과를 가지고 기존 자전거도로와 연결 가능한 노선을 분류할 수 있고, 개설 가능한 노선에 차선수, 도로폭을 포함할 수 있다. 개설 가능한 노선 중 그림 7(a)지역은 충분한 도로차선으로 인해 도로 다이어트를 권장하여 자전거전용도로 개설가능하고, 경사 5%이상에 해당하는 거리를 220m에 맞게 조절한다면 자전거도로 개설에 만족한 노선이다. 그림 7(b)지역은 보도폭과 도로차선의 여유가 충분하며, 경

사 0~3%이상에 해당하여 자전거도로 개설에 만족한 노선이다. 그림 7(c)지역은 경사는 4%이하에 해당하지만, 보도폭과 도로차선의 여유가 충분하지 않다. 그림 7(d)지역은 보도폭과 도로차선의 여유가 충분하며, 경사 또한 0~4%이상에 해당하여 자전거도로 개설에 만족한 노선이다. 그림 7(e)지역은 보도폭과 도로차선의 여유가 충분하며, 경사 또한 0~3%로 자전거도로 개설에 만족한 노선이다. 종단경사별 제한길이, 차선수, 도로폭을 포함하여 자전거도로 개설에 그림 7(b), 그림 7(d), 그림 7(e) 지역의 노선이 제일 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 그림 7 및 표 7은 개설 가능한 지역 노선을 분석한 결과를 나타낸다.



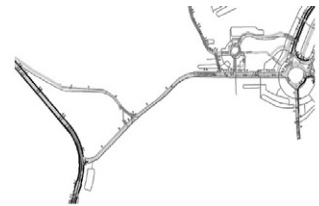
그림 6. 종단경사 분석



(a) 산단 도로



(b) GS칼텍스사택



(c) 여서동-웅천



(d) 서시장-이순신광장



(e) 어항단지

그림 7. 자전거도로 개설 가능한 지역 노선

표 7. 개설 가능한 지역 노선 분석

	(a)지역 노선	(b)지역 노선	(c)지역 노선	(d)지역 노선	(e)지역 노선
경사 (제한길이)	-0~5% 경사 -3%이상 : 190~400m -4%이상 : 260m -5%이상 : 253m	-0~3% 경사 -3%이상 : 70~80m	-0~3% 경사 -3%이상 : 360m	-0~4% 경사 -3%이상 : 90~181m -4%이상 : 40m	-0~3% 경사 -3%이상 : 20~109m
보도폭	3.5m	3~5.5m	2m	4.8m	3~4m
차선	8차선	4차선	2차선	6차선	4, 6차선

5. 결론

본 연구는 여수시의 경사도 영향력을 바탕으로 구릉지가 많은 도시에 중단경사의 제한 길이 반영할 수 있는 사례가 될 수 있다. 경사도 분석을 통해 다음과 같이 확인 할 수 있었다.

첫째, LiDAR 데이터의 DSM과 DTM 자료를 통해 보도 데이터의 주변시설물을 확인 할 수 있었다. DSM/DTM과 보도데이터간의 정성적 평가 과정을 통해 주변시설물은 DTM에서도 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

둘째, DTM의 해상도 결정은 1m와 2m간의 큰 차이를 보이지 않았지만, 필터링을 통한 결과는 3%에 해당하는 중단경사에 차이를 보인 것으로 나타났다.

셋째, 필터링은 mean, median, majority 중 median의 결과가 왜곡을 덜 시키는 것을 확인할 수 있었다.

넷째, 자전거도로가 개설된 지역 중 한화석유화학사택과 부영여고, 도원초교는 경사가 7%이상인 곳이고, 그 제한 길이 또한 국토해양부에서 제시한 120m를 넘는 곳으로 확인되었다. 이 지역에 대한 자전거도로 개선방안이 필요한 실정이다.

다섯째, 여수시의 자전거도로 개설 가능 지역으로 4곳을 선정할 수 있었고, 경사 7%에 해당하며 제한 길이를 넘는 구간은 자전거 리프트 도입과 같은 개선점이 마련되어야 할 것이다.

본 연구를 통해 경사에 따른 여수시 자전거도로의 영향력을 평가하였다. 경사는 자전거도로의 선정에 기하학적으로 반영되며, 자전거도로뿐만 아니라 자동차도로 개설에도 반영되어야 할 것이다. 향후 연구로 지형적, 환경적인 인구, 교통을 고려한 자전거도로 노선 선정 방안이 마련되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구과제는 환경부지정 전남지역환경기술개발센터의 연구비 지원에 의해 수행한 연구과제입니다.

참고문헌

국토해양부 (2010), 자전거도로 이용시설 설치 및 관리 지침, pp. 28-38.

노태호, 정인주, 이성록 (2005), 노선 선정에서 계층분석과정을 이용한 GIS의 적용, 한국지리정보학회지, 제 8권, 제 2호, pp. 55-67.

여수시 (2010), 여수시 시민자전거 도입·운영 기본계획 수립 용역, pp. 6-296

손유진, 황인식, (2009), GIS 기반의 AHP를 활용한 부산시 자전거도로망 선정에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 제 12권, 제 4호, pp. 1-9.

송창용, 장명순, 하동익 (1993), 자전거도로의 구배설계기준에 관한 연구, 대한교통학회지, 대한교통학회, 제 12권, 제 4호, pp. 21-23

이근상, 최연웅, 조기성 (2006), DEM 기반 조합방법에 의한 경사도 평가기법의 제안, 대한토목학회지, 제 12권, 제 1호, pp. 1019-1023.

조현준 (2010), 중단경사에 따른 자전거도로의 서비스수준 산정방안 연구, 석사학위논문, 서울대학교, pp. 5-59

최병길, 박흥기, 나영우 (2011), 주변 환경요소를 고려한 자전거 도로 설계 개선 및 정보제공에 관한 연구, 한국측량학회지, 제 29권, 제 1호, pp. 11-20

행정안전부, 국토해양부 (2009), 자전거도로 시설기준 및 관리지침, pp. 14-15.

(접수일 2011. 09. 20, 심사일 2011. 10. 04, 심사완료일 2011. 11. 09)