

자전거도로 조사장비를 이용한 포장상태 평가 기준 연구

김경남* · 조신행** · 안지현*** · 김낙석****

Kim, Kyungnam*, Jo, Shin Haeng**, An, Ji Hun***, Kim, Nakseok****

A Study on the Evaluation Criteria of Pavement Condition Using Investigation Equipment of Bicycle Road

ABSTRACT

The purpose of this paper is to establish an evaluation criteria for pavement condition in bicycle road. The suggested criteria would help in the activation policy of bicycle use. The conventional evaluation criteria is difficult to be applied for the bicycle road since the bicycle road is sensitive to changes in the driving environments such as obstacles and bumps. This study presents the evaluation criteria that is suitable for bicycle road. The criteria was suggested in 5 grades through the impact acceleration range of RMSI (Road Monitoring System using ICT). The grades of the criteria are divided into a range of grade A to E. The grade A is a very good condition, while the grade E is a state that requires immediate maintenance. This study were confirmed the validity through the survey of user's satisfaction. According to the results of survey, the grade A was shown correlation of 91%. The grade E requiring immediate repair was presented correlation of 94%. It showed that the results of surveying the bicycle road users are highly correlated with the suggested criteria for pavement condition. It showed that the criteria are highly correlated with the survey results. Suggested criteria using the RMSI is expected to be effective for maintenance of the bicycle road. In addition, it is expected to ensure the serviceability and safety for the bicycle users.

Key words : Bicycle road, Pavement condition, Grade system of pavement condition, Impact acceleration, Pavement maintenance

초 록

자전거 이용 활성화를 위해 자전거도로 이용자의 안전성 및 승차감을 고려한 포장상태 평가 기준을 제시하고자 하였다. 자전거도로는 주행환경의 변화에 민감하게 반응하기 때문에 일반적인 도로에 적용하는 포장상태 평가기준을 도입하기에 무리가 있다. 본 연구에서는 자전거도로에 적합한 새로운 포장상태 평가기준을 제시하였다. 제시된 자전거도로 포장상태 평가기준은 자전거 조사장비(RMSI; Road Monitoring System using ICT)를 통해 측정된 충격가속도 값을 기준으로 5등급으로 구분하였으며, 자전거도로 이용자의 만족도조사를 통해 제시 기준의 타당성을 검토하였다. 제시된 기준의 등급은 포장상태가 매우 양호한 A 등급부터 즉각적인 보수가 필요한 E 등급으로 구분된다. 이용자 만족도조사 결과 A 등급의 경우 91%, E 등급은 95%의 상관성을 보여 만족도조사 결과와 제시된 기준의 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 이를 통해 자전거도로 조사장비를 이용한 자전거도로 유지관리에 상당히 효과적이며 자전거도로 이용자의 안전성 및 주행성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

검색어 : 자전거도로, 포장상태, 포장등급체계, 충격가속도, 유지보수

* 정희원 · 경기대학교 토목공학과 석사 (Kyonggi University · kimgoon000@gmail.com)

** 경기대학교 토목공학과 공학박사 (Kyonggi University · roadcreator@gmail.com)

*** 정희원 · 교신저자 · 경기대학교 토목공학과 석사과정 (Corresponding Author · Kyonggi University · jihun428@gmail.com)

**** 중신희원 · 경기대학교 토목공학과 교수 (Kyonggi University · nskim1@kgu.ac.kr)

Received August 31, 2016/ revised September 20, 2016/ accepted September 23, 2016

1. 서론

국민소득의 증가로 삶의 질이 향상됨에 따라 편리한 교통수단으로서 자동차 보유대수가 지속적으로 증가하고 있다. 급격한 자동차 이용의 증대는 교통체증 및 도시 환경의 심각한 문제를 발생시키고 있으며, 이에 따라 정부는 자동차에 의한 대기오염, 소음 등 환경오염 문제 및 교통체증, 교통사고로 발생하는 직·간접적인 문제 해결을 위해 자전거 이용 활성화 정책을 추진하고 있다. 자전거는 비동력, 무탄소 교통수단으로 환경오염 해결, 국민 복지 증진 등 다양한 이점으로 지속가능한 녹색교통수단으로 각광받고 있다. 정부는 적극적인 자전거 활성화 정책을 통해 2018년까지 전국 자전거도로 네트워크 구성을 목표로 확대 건설을 추진 중에 있다(행정자치부, 2014).

자전거 이용과 자전거 시장규모는 지속적으로 증가하고 있으나, 자전거 교통사고 또한 꾸준히 증가하는 추세를 나타내고 있다. 도로교통공단(2014)에서 제시한 자료에 따르면 2009년부터 2014년까지 자전거 사고 발생건수는 연 평균 8.5%씩 증가하였으며, 2014년에는 자전거 교통사고의 비중이 전체 교통사고의 5.7%를 차지하고 있다. 전체 도로 교통사고가 감소하는 추세임을 감안해 볼 때 자전거 정책이 타 교통수단에 비해 상대적으로 도로 관리가 열악하다는 것을 나타낸다.

기존 고속도로, 국도 등의 도로 조사는 자동화 전문조사 장비를 이용하여 포장상태 및 평탄성을 평가하나, 자전거도로의 경우 측정 및 분석 장비 차량의 진입이 어려워 안전행정부(2013)에서 제시한 포장상태 서비스 수준에 따라 인력 현장 육안조사에 의존하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 RMSI (Road Monitoring System using ICT)를 적용한 3륜 전기 자전거 주행으로 측정되는 충격가속도를 이용하여 자전거도로 포장상태를 평가하고자 하였다. 측정되는 충격가속도 분석을 통해 자전거도로 포장상태를 정량적으로 평가하고 실제 도로를 이용하는 주행자의 설문조사를 통해 그 부합성을 검토하여 자전거도로 포장상태 평가방법 및 기준을 마련하고자 한다. 포장상태의 평가를 위해 주행 속도 및 충격가속도 별 단차 예측식을 제시하였다. 현장 적용성 판단을 위해 수도권 이스트팔트 자전거도로 주행을 통해 구간별 충격가속도 측정과 자전거도로 이용자 만족도 설문조사 등을 통해 자전거도로 포장상태 평가를 실시하였다.

2. 자전거도로

안전행정부(2013)의 “지속가능하고 안전한 자전거인프라 구축을 위한 설계가이드 핸드북”에서는 자전거도로를 안전표지, 위험함

지용 울타리나 그와 비슷한 공작물로써 경계를 표시하여 자전거의 교통에 사용하도록 된 도로, 국토교통부(2013)의 “도로용량편람”에서는 일반도로 교통류와 분리하여 통행하도록 하는 도로로 정의하고 있다.

자전거도로는 크게 자전거 전용도로, 자전거·보행자 겸용도로, 자전거 자동차 겸용도로로 구분되며, 도로 이용자에게 안전하고 쾌적한 주행환경을 효율적으로 제공할 수 있도록 충분한 미끄럼저항성, 주행성 등을 고려해야 한다(경기도, 2012). 그러나 자전거 도로 포장 또한 일반 도로와 마찬가지로 공용기간이 경과함에 따라 교통 특성 및 환경적 요인에 의해 노면 요철과 포트홀 등의 파손을 발생시킨다. 이는 도로 주행의 쾌적성을 저해하여 주행 시 자전거 흔들림, 전도에 의한 교통사고 등 안전상의 문제를 초래할 수 있으므로 자전거도로 포장은 안전성 측면에서 객관적인 포장상태 평가와 적절한 유지보수가 이루어져야 한다.

최근 자전거 이용 증가에 따라 자전거 교통사고 또한 증가하고 있다. Kim (2013)의 연구에 따르면 국내 자전거 사고는 2005년 이후 꾸준히 증가하였으며, 전체 교통사고에서 차지하는 비중은 늘어나는 추세를 보여 자전거 수단 분담률이 증가함에 따라 사고 위험성이 상대적으로 높아짐을 알 수 있다. 또한, 연도별 사고종류별 발생건수가 2005년 이후 꾸준히 증가하고 있어 적절한 대응책이 필요하다.

3. 자전거도로 포장상태 평가

기존 차량통행 도로는 자동화 전문조사 장비를 이용하여 포장상태를 평가하나 자전거도로의 경우 전문조사 장비의 진입이 어려워 안전행정부(2013)에서 제시한 자전거도로 포장상태 서비스 수준에 따라 인력투입 현장 육안조사에 의존하고 있는 실정이다.

일반적으로 자전거도로는 환경하중의 영향에 따라 포장하부 미소변동이 발생하는 파손이 대부분으로 현재 적용하고 있는 주관적인 포장상태 평가는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 자전거도로 전용 조사 장비를 이용하여 포장상태를 정량적으로 평가하고 실제 도로를 주행하는 이용자의 만족도 조사를 통해 자전거도로 포장상태 평가방법 및 기준을 마련하고자 한다.

자전거도로 포장상태 분석을 위해 Fig. 1의 RMSI 장치와 센서 측정용 모듈을 적용한 3륜 전기 자전거를 사용하여 자전거도로 포장상태를 조사하였다. 자전거도로 전용 모니터링 시스템(이하 자전거도로 조사장비)은 포장상태 평가를 위해 평탄센서를 통해 필터링한 주행 정보를 측정한다. 또한, 주행 정보를 검출하는 속도·브레이크 레버 센서로 이루어져 있는 주행 시스템, GPS 센서, 데이터 저장 컨트롤러·메모리로 이루어져 있다.

자전거도로 포장상태 조사는 주행 중 측정되는 충격량을 전용

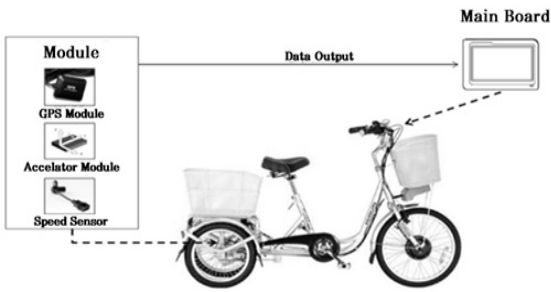


Fig. 1. Investigation Equipment of Bicycle Road Pavement

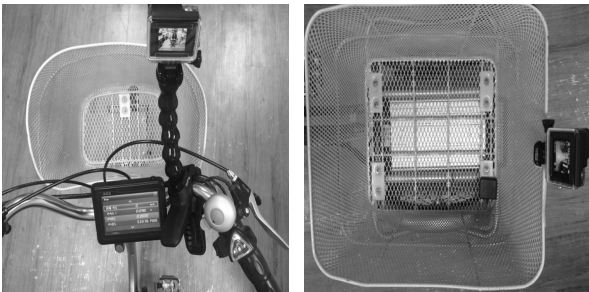


Fig. 2. Video Camera and GPS



Fig. 3. Simulation of Bumpy Road

컴퓨터 프로그램을 통해 분석하였으며, 육안상태·측정데이터의 캘리브레이션을 위해 Fig. 2와 같이 전·후면에 동영상 촬영 카메라와 GPS를 장착하였다.

3.1 포장 단차 예측식 제안

포장 단차 예측식 수립을 위해 Fig. 3과 같이 포장 단차모사 요철 설치 후 다양한 속도에서 충격량을 측정하였다. 예비 측정간 단차모사 요철의 두께는 5, 10, 13, 20, 28 mm이며, 주행속도는 5~20 km/h에서 2 km/h 차이로 각 단차·속도에서 5회 반복 수행하였으며 측정된 평균값은 Table 1과 같다.

단차별 측정 속도변화에 따른 충격가속도 G값은 Fig. 4와 같으며, 속도 증가에 따라 단차로 인해 발생하는 충격량은 일차함수인 $y = ax + b$ 의 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 정지 상태에서 G값은 0이므로 절편 b는 0이며, 동일 단차에서는 속도에 따른

Table 1. Simulation of Bumps Road Data

Velocity (km/h)	Thickness (mm)				
	5	10	13	20	28
5	0.214	0.315	0.290	0.364	1.010
7	0.226	0.329	0.462	0.690	1.082
9	0.244	0.374	0.587	0.875	1.758
11	0.270	0.452	0.562	1.050	2.053
13	0.387	0.497	0.720	1.091	2.303
15	0.396	0.565	0.805	1.243	2.815
17	0.404	0.609	0.823	1.312	3.202
20	0.412	0.792	0.846	1.338	3.554

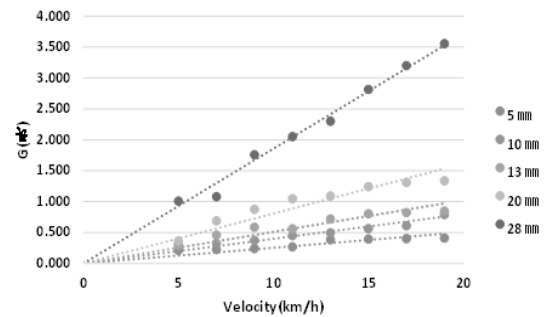


Fig. 4. Velocity Slope Per Bumps Road

Table 2. Velocity Slope Per Bumps Road Data

Bumpy Road (mm)	a (Velocity Slope)
5	0.1857
10	0.0808
13	0.0512
20	0.0398
28	0.0254

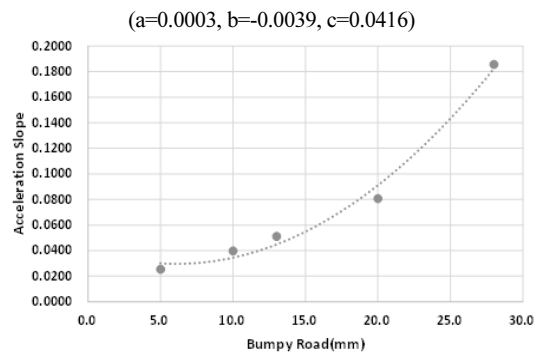


Fig. 5. Acceleration Slope Per Bumps Road

기울기 a에 의해 값이 결정되는 것으로 나타났다.

각 단차에 따른 기울기 a는 Table 2와 같고 a의 변화는 Fig.

5에 나타난 바와 같이 2차함수의 형태로 단차 증가에 따라 a 가 증가하는 것을 알 수 있다.

측정을 통해 단차 속도 관계와 속도에 따른 기울기를 반영한 포장의 단차를 예측할 수 있는 단차 예측식 Eq. (1)을 얻을 수 있었다. Eq. (1) 중 상수 a, b, c 는 단차에 따른 가속도 기울기 그래프를 2차함수로 회귀분석하여 도출하였으며 이는 측정 장비 고유 값으로 장비에 따라 변화한다.

$$T = \frac{a \pm \sqrt{b \times \frac{G}{V}}}{d} \quad (1)$$

T : Predicted Bumpy Road

G : Measure Acceleration

V : Measure Velocity

a : 0.0039

b : 0.0012

d : 0.006

주행간 속도별로 실측된 단차와 예측된 단차의 R^2 는 측정 속도에 따라 0.75~0.95로 비교적 높은 상관성을 나타내었으며 측정 속도 및 단차가 증가할수록 더 정확한 값을 얻을 수 있었다. 단차가 5 mm, 5 km/h로 측정하는 경우는 측정되는 G값이 매우 작아 측정값 자체 편차가 증가하여 예측식 인자결정 과정에서 오차누적으로 측정값과 예측값 차이가 크게 나타났다. 실제 현장 조사속도인 20 km/h의 경우 비교적 정확한 단차 예측이 가능한 것으로 나타나 현장조사 적용에는 무리가 없을 것으로 판단되었다.

단차 예측식 검증을 위해 자전거도로 현장 주행 후 측정된 G값을 통해 단차 크기를 예측하고 측정구간 단차 실측값을 비교하였다. 측정 속도는 자전거 이용시설의 구조시설 기준에 관한 규칙의



Fig. 6. Investigation Section of Anyangcheon Stream on the Bicycle Road

자전거도로의 최대설계속도 30 km/h와 실제 자전거도로 이용자의 평균 주행속도, 그리고 전기자전거의 최대주행속도를 감안하여 20 km/h로 결정하였다. 측정은 Fig. 6의 경기도 안양천 자전거도로 중 기아대교부터 박석교까지의 구간에서 실시하였다.

측정 중 5 mm 이상으로 예측되는 단차 발생지점 120개소를 선정하고 현장 실측을 실시한 결과 예측값과 실측값의 차이는 최소 0 mm에서 최대 5 mm, 평균오차 1.4 mm, 0.82의 R^2 로 매우 높은 정확도를 나타내었다. 따라서 자전거도로 평균 주행속도인 20 km/h로 측정 시 이용자 안전에 문제가 될 만한 큰 단차에서 예측이 더욱 정확해져 자전거도로 조사장비 활용을 통해 단차를 비교적 정확히 조사할 수 있는 것으로 판단되었다.

3.2 자전거도로 상태 등급의 결정

본 연구는 이용자 중심의 자전거도로 포장상태 기준 제시를 위해 주행 G값 측정 후 실제 자전거도로 이용자 설문 실시하여 측정구간 만족도를 조사하였다. 설문은 조사 목적을 충분히 설명한 후 A(매우 만족)-E(매우 불만족)로 5등급으로 나누어 이용자에게 등급을 표시하도록 하였다.

설문 수행전 조사장비 측정결과 및 육안조사를 통해 잠정적인 A-E 구간을 나누었으며 포장상태별로 약 10~20 m 구간에 대해 이용자 의견을 조사하였다. 파손이 없는 매끄러운 도로 상태의 A등급 구간의 경우 71.1%의 이용자가 A, B 등급을 선택하였으며, 정상 주행이 어려워 보수가 필요한 E등급 구간은 96.6%의 이용자가 D, E등급을 선택하여 등급선정과 만족도가 일치하는 것으로 나타났다. 반면 B, C, D등급 구간의 경우 만족도가 B등급에서 D등급까지 다소 넓게 분포하였으나 측정 G값과 육안조사 결과를 감안하였을 때 타당한 것으로 판단되었다.

측정 G값, 연구진 포장상태 평가와 이용자 설문조사 결과를 바탕으로 Table 3의 자전거도로 포장상태 등급체계를 제시하였다. C, D등급의 경우 보수 계획의 수립이 필요한 구간이며, E 등급은 보수 필요 구간을 의미한다. 통행이 불가능하여 즉각적인 보수가 필요한 수준의 경우 측정자체가 불가능하므로 자전거도로 조사장비 등급체계에 분류하지 않았다. 통행 불가능한 포장상태의 경우 측정의 등급으로 별도 관리하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

육안조사 결과로 5가지 등급의 G값을 측정된 결과 A등급 0.10~0.15, E등급의 경우 0.10~0.20으로 나타났다. 이는 측정 G값의 크기가 작고 변동 폭이 크며 국부적인 파손특성에 따라 특정 구간 평가 시 정상·파손부 측정값이 서로 상쇄되어 평균 G값이 포장상태를 구분할 수 있을 정도로 명확히 나타나지 않게 된다. 따라서 본 연구에서는 조사구간 내 측정 단차, 포트홀 등 국부적 파손부 개소수를 측정 G값에 가산한 Eq. (2)를 제안하였으며, 제안된 Eq. (2)에 의해 보정된 G값을 기준으로 포장상태 서비스

Table 3. Grade System of Pavement Condition on the Bicycle Road

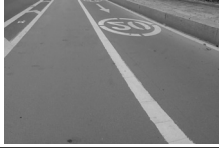

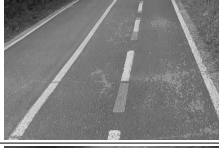


Pavement Grade	Service Index of Pavement Condition		
	Correction G (Ⅷ%)	Classification	
A	Less than 0.15	Smooth pavement condition (Pavement surface of not damaged)	
B	0.15 ~ 0.25	Supply comfortable riding quality while deteriorating pavement surface (Pavement surface of 10% to 20% damaged)	
C	0.25 ~ 0.60	Supply high-speed riding quality although uncomfortable of riding quality (Pavement surface of 20% to 50% damaged)	
D	0.60 ~ 0.80	Not to provide high-speed riding quality because of damaged, Need maintenance plan (Pavement surface of 50% to 80% damaged)	
E	Above 0.80	Require immediately maintenance (Pavement surface of damaged over 80%)	

Table 4. Investigation Section of Pavement Condition on the Bicycle Road

	Classification	Road Extension(m)
Anyangcheon Stream	Ogeum Bridge ~ Kia Bridge	7,500
	Kia Bridge ~ Bakseuk Bridge	5,000
Hangang River	Mapo Bridge ~ Banpo Bridge	7,000
Suwon Stream	Gwanggyo Reservoir	1,500
YangJae Stream	Yeongdong Bridge 6th ~ Yeongdong Bridge 4th	1,000
Jungnang Stream	Sungdong Bridge ~ Yongbi Bridge	1,500
Cheonggye Stream	Sageun Three-way Intersection ~ Majang Bridge 2th	1,500
Tan Stream	Tan Stream Bridge 2th	1,500

수준의 등급을 Table 3과 같이 분류하였다.

$$G_a = G + G \ln x \quad (2)$$

G_a : Correction Acceleration

G : Measured Acceleration

x : Upper than 15 mm Number of Bumpy Road

3.3 자전거도로 현장 조사

수도권의 자전거도로를 조사하여 자전거도로 조사장비를 통한 자전거도로 조사의 효율성을 살펴보기 위해 Table 4와 같이 수원천, 한강, 안양천 등 총 7개 구간을 대상으로 조사를 수행하였다.

자전거도로 평가 시 조사구간의 구간길이가 매우 상이하여 보수 구간 선정을 위해 구간설정이 필요하다. 적정 포장상태 분석 단위길이 결정을 위해 단위길이 100 m, 50 m, 20 m, 10 m 별 G값을 산출하여 비교하였다. 분석결과 Fig. 7과 같이 단위길이 100 m의

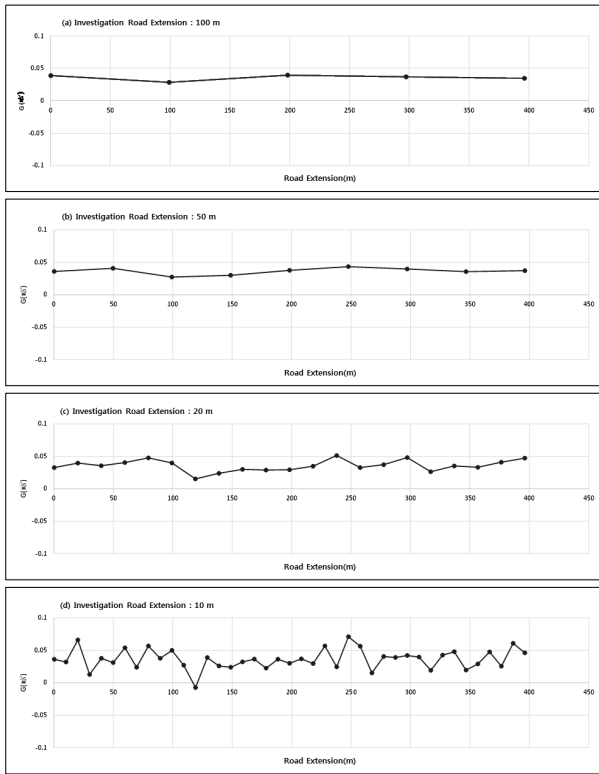


Fig. 7. Measured Acceleration Per Investigation Road Extension

경우 부분적인 포장불량 구간과 양호한 구간의 G값이 합산되어 정확한 포장상태 파악이 어려운 것으로 나타났다. 구간 단위길이가 짧아질수록 포장상태 수준을 명확히 알 수 있었으며, 긴급보수를 요하는 구간의 경우 그 길이가 수 m에서 십여 m에 이르는 경우가 대부분이기 때문에 10 m 단위로 구간을 나누어서 평가한 경우가 가장 타당한 것으로 판단되었다.

조사결과는 Table 5와 같으며 안양천 구간의 경우 자전거도로 포장상태 조사 결과 B, C 등급이 주를 이루는 것으로 나타났으며,

Table 5. Measured Data of Anyangcheon Stream on the Bicycle Road

Classification		Road Extension (m)	Service Index of Pavement Condition (Count)	
Anyangcheon Stream	① Kia Bridge ~ Bakseuk Bridge	5,110	A :	67
			B :	197
			C :	236
			D :	9
			E :	2
	② Bakseuk Bridge ~ Kia Bridge	4,910	A :	55
			B :	148
			C :	256
			D :	26
			E :	6

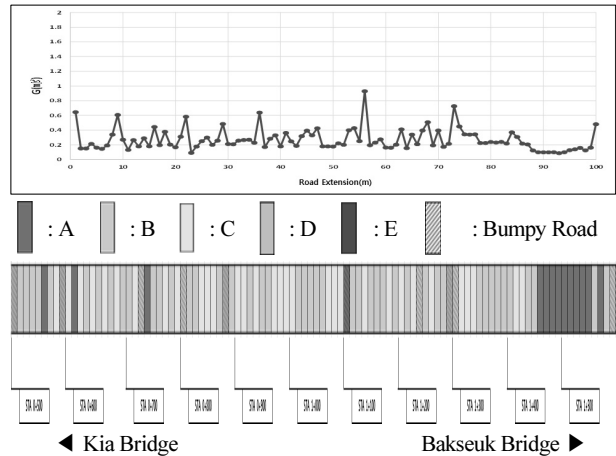


Fig. 8. Result Diagram of Pavement Condition on the Bicycle Road

20 mm 이상 단차의 경우 ①구간 17개소, ②구간은 60개소로 측정되었다.

Fig. 8은 자전거도로 포장상태 기준을 이용하여 안양천 ①구간중 일부 500 m 구간을 이미지화한 평가도표이다. 측정결과 포장 단차를 포함 즉각적으로 보수가 필요한 구간, 추후 보수가 필요한 구간 등 자전거도로 포장상태를 확인할 수 있으며 이는 자전거도로 유지관리에 상당히 효과적인 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구는 자전거도로 포장상태를 평가하기 위해 단차규모 예측식 개발과 자전거도로 포장 등급체계를 제시하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

조사장비로부터 측정되는 충격가속도(G)는 주행속도 빠를수록 단차의 크기가 클수록 증가하며 단차 크기 및 속도에 따른 G값 측정 후 회귀분석을 통해 단차 크기 예측식을 제시하였다. 현장

검증 결과 예측값과 실측값의 R^2 는 0.85로 매우 높게 나타났으며, 오차는 5 mm 이하로 나타나 조사장비 측정을 통해 현장 단차를 파악할 수 있는 것으로 확인되었다.

측정되는 G값 범위를 기준으로 5등급의 자전거도로 포장상태 기준을 제시하였다. 제시된 포장상태 등급 기준의 타당성 검증을 위해 자전거도로 이용자 설문조사를 실시하였으며, 등급상태에 따라 A등급의 경우 포장상태에 만족한다는 응답이 71%, E등급의 경우 불만족 한다는 응답이 94%로 제시된 자전거도로 포장상태 등급체계가 타당함을 알 수 있었다.

자전거도로 포장상태 조사간 조사 구간길이는 보수 계획 수립 및 측정 자료 분석의 용이성을 감안하여 10 m로 평가하는 것이 적합하였으며, 수도권 자전거도로의 7개 구간을 조사한 결과 즉시 보수가 필요한 구간은 총 9개로 나타났다. 연구 결과 자전거도로 조사장비를 이용한 도로 포장상태 조사는 이용자의 안전성 및 주행성 확보와 자전거도로 유지관리에 상당히 효과적인 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2016학년도 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었습니다.

References

- Gyeonggi Province (2012). "Guidelines for bicycle road construction of life type." (in Korean).
- Kim, D. J. (2013). "Status and characteristic on the Korea bicycle accident." *The Korea Transport Institute Monthly KOTI Magazine on Transport*, Vol. 190, pp. 6-12 (in Korean).
- Kim, K. N. (2015). "A study on the evaluation criteria of bicycle road pavement condition from user's perspective." MSc Thesis, Kyonggi University (in Korean).
- KoROAD (2014). "Comparative of traffic accident in the OECD-Member." (in Korean).
- KoROAD (2014). "Statistical analyses of traffic accident." (in Korean).
- Ministry of Security and Public Administration (2013). "Design guide handbook on construction of bicycle infrastructure for sustainable and safety." (in Korean).
- Ministry of Government Administration and Home Affairs (2014). "A study on maintenance plan of bicycle pedestrian multiuse road for safety and convenience." (in Korean).
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2013). "Korea highway capacity manual." (in Korean).
- The Korea Transport Institute (2014). "Preliminary study of the introduction of multimodal level of service in urban streets." (in Korean).