

## 자전거 모니터링을 위한 자료처리 프로세스 개발 및 응용 - GPS기반 자전거 속도자료를 중심으로

### Methodology for Processing GPS-based Bicycle Speed Data for Monitoring Bicycle Traffic

임희섭\*  
(Heesub Rim)

주신혜\*\*  
(Shinhye Joo)

오철\*\*\*  
(Cheol Oh)

#### 요약

최근 저탄소 녹색정책이 활발히 이루어지면서 자전거 이용자가 증가하고 있다. 효과적인 자전거교통 관련 제어·정보제공·계획수립을 위해서 모니터링은 필수적이며, 개별자전거의 주행 패턴을 미시적으로 수집하고 처리·가공하여 트래킹기반 자전거 모니터링 할 수 있는 기술이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 GPS속도계 등 센서를 장착하여 개별 자전거의 주행자료 수집이 가능한 프로브자전거의 자료처리 및 활용 방안에 관한 내용을 제안하였다. 본 연구에서는 수집된 프로브자전거의 자료를 유용한 정보로 가공하기 위해 1차적으로 전처리 하는 과정을 제시하였으며, 수집된 원시자료의 품질을 평가하고, 1차 가공을 통해 향상된 품질의 자료를 센터에서 관리 할 수 있도록 하는 일련의 과정을 제시하였다. 자료가 수집되게 되면 첫 번째로 자료 활용의 목적에 맞게 보간 과정을 거치게 된다. 두 번째 단계에서는 수집된 다수의 자료를 이용하여 통계적인 방법을 통해 데이터의 사용가치 향상을 위한 품질을 평가하는 과정을 거치게 된다. 세 번째 단계에서는 두 번째 단계에서 산출된 품질 기준을 향상시키기 위한 방법으로 스무딩 과정을 거치게 된다. 스무딩 된 데이터는 교통정보 센터에 저장되며, 자전거 시스템 모니터링 및 정보 생성을 위한 기초 자료로 활용된다. 본 연구에서 제시한 프로브 자전거 자료처리 기법은 현장에서 수집된 원시자료의 품질을 평가하고 1차 가공하는 과정의 가이드라인으로 활용될 수 있으며, 향후 자전거 시스템 모니터링 기법 개발의 기초 연구가 될 것으로 판단된다.

핵심어 : 자전거 모니터링, 프로브 자전거, 자료처리 프로세스, 통계적 품질관리, 데이터베이스

#### ABSTRACT

Bicycle is a useful transportation mode that is healthy, emission-free, and environmentally compatible. Although large efforts have been made to promote the use of bicycling to date, there still exist various hurdles and limitations. One of the key issues to increase bicycling is how to gather bicycle-related data from the field and to generate valuable information for both users and operations agencies. This study proposes a method to process bicycle trajectory data which is obtained from tracing global positioning systems(GPS) equipped bicycle, which is defined as the probe bicycle. The proposed method is based on the concept of statistical quality control of data. In addition, a data collection and processing scenario in support of public bicycle system is presented. The outcomes of this study would be valuable fundamentals for developing bicycle traffic information systems that is a part of future intelligent transportation systems(ITS).

**Key words** : Bicycle Monitoring, Probe Bicycle, Data Processing, Statistical Quality Control(SQC), Database

† 이 논문은 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0029449).  
\* 저자 : 한양대학교 교통·물류공학과 석사  
\*\* 공저자 : 한양대학교 교통·물류공학과 박사과정  
\*\*\* 공저자 및 교신저자: 한양대학교 교통·물류공학과 교수  
† 논문접수일 : 2014년 01월 21일  
† 논문심사일 : 2014년 04월 14일  
† 게재확정일 : 2014년 05월 19일

## I. 서론

현재 국내·외에서는 에너지 소비 및 탄소저감에 기여하는 친환경 녹색성장 기술개발 등 새로운 정책방향 제시 및 구체적 실천 방향에 대한 연구가 진행 중이다. 이와 같은 탄소저감정책의 일환으로 친환경·비동력 교통수단인 자전거에 대한 관심이 증대되고 있다. 지속적인 자전거 관련정책, 인프라 및 계획이 수립·추진 중으로, 이에 따른 자전거 관련 연구 및 기술개발의 전반적인 검토가 이루어지고 있다. 대부분의 자전거 관련 연구에서 지역별 자전거 이용실태 현황 조사 등 자전거 교통관련 조사를 실시하고 있으나 대부분의 조사가 단편적인 일회성 조사로서 관련 자료들의 주기적인 연속성이 없을 뿐만 아니라 설문조사 등에 의존하고 있는 한계가 있다. 또한 일관성이 갖추어지지 못하여 전국 차원에서의 일관성 있고 표준화된 자료수집, 가공 체계가 필요하며 자전거 교통데이터베이스 구축 및 운영을 위한 체계마련이 필요하다.

최근 국외에서는 자전거 주행특성을 분석하기 위한 다양한 검지체계를 이용한 자료수집방법론에 관한 연구가 진행 중이며 자전거 트래킹기반 연구가 진행되고 있다. 이와 같이 효과적인 자전거교통 관련 제어·정보제공·계획수립을 위해서 모니터링은 필수적이나 기존의 교통시스템 모니터링은 차량에만 국한되어 있으며 자전거교통의 특성을 반영한 검지체계 및 자료구축·처리 방안 연구가 전무하다.

자전거도로의 계획 및 설계, 자전거 이용자의 특성과 노선의 교통특성을 분석하기 위해 GPS속도계 등 센서가 장착된 프로브자전거를 활용하여 개별자전거의 주행 패턴을 미시적으로 수집하고 처리·가공하여 트래킹기반 자전거 모니터링 할 수 있는 기술이 필요하다. 또한 단순한 주행정보 저장 수준을 벗어나 다양한 자전거 관련 정책 수립 및 기술 개발 시 효과분석 및 지원가능한 원천정보로 가공 및 처리 기술이 필요하다.

본 연구에서는 프로브자전거를 이용한 자료처리 시나리오를 제시하고, 프로브자전거에서 수집되는 원시자료의 가공·처리 기법을 제시하였다. 또한 속

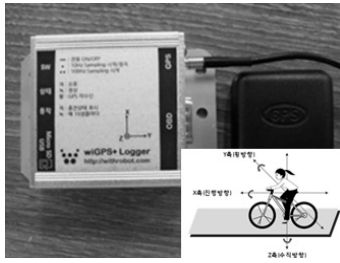
도자료의 경우 도로교통시스템의 효과 및 효율성을 평가 할 수 있는 중요한 효과적으로도 사용된다. 따라서 자전거 주행 환경 평가 및 안전성 평가를 위한 기초자료로 활용되는 자전거 속도자료를 중심으로 자전거 자료처리 시나리오를 적용하였다.

본 연구의 2장에서는 자전거 모니터링 및 자료처리 관련 국내·외 기존문헌 및 연구를 고찰하였으며, 3장에서는 자전거 자료처리 시나리오를 제시하였다. 4장에서는 프로브자전거 자료처리기법 및 활용 방법론을 제시하였으며, 5장에서는 제시한 활용 방법론을 적용한 분석결과를 제시하였다. 6장에서는 활용방안을 제시하였으며, 마지막으로 본 연구에서 도출된 결론 및 향후과제를 7장에 제시하였다.

## II. 기존연구 고찰

### 1. 자전거 모니터링 관련 문헌

이정환 등(2009)은 스마트폰을 이용한 자전거 GPS자료 수집에 관한 연구에서 스마트폰-GPS 연계형 자전거 GPS를 개발하였다. C를 이용하여 기본폼을 구현하고 이를 스마트폰에 적용시켜 상용화된 자전거 GPS와 비교하였으며, 스마트폰을 통한 자전거 자료 수집의 가능성을 도출하였다.[1] 김의명(2010)은 이용자 측면에서 저탄소 녹색성장을 위한 서비스를 개발하였으며, 블루투스를 지원하는 저가형 GPS로거를 사용하여 시·공간적 정보 및 이용자정보(체중) 자료를 수집하여 이용하였다.[2] 정성학(2010)은 유비쿼터스 센서 네트워크의 융합기술을 활용하여 자전거 시설물의 보안과 안전 기능을 향상시키는 목적으로 유니버설 센서 네트워크 기술을 활용한 U-bike 시스템 개발에 대한 연구를 수행하였다. 또한, USB를 활용한 자전거 및 시설물의 안전 인프라 구축방안 제시하였다.[3] 주신혜 등(2012)은 관성센서 및 GPS Receiver를 이용하여 자전거 자료를 수집하였으며, 수집된 자료를 활용해 자전거 주행 안정성과 이동성을 평가하였다.[4] Lin 등(2011)은 도난방지, 증명, 경기 등을 관리하기 위해 RFID(Radio Frequency Identification)를 이용하여



(a) Inertial Sensor



(b) Bicycle Speed Meter



(c) Smart Phone

〈그림 1〉 자전거자료 수집 장치  
〈Fig. 1〉 Bicycle Data Collecting Measurement

자료를 수집하고 처리하는 방법론을 제시하였다.[5] 기존 연구에서 자전거 모니터링에 필요한 기초자료 수집을 위해 사용된 장비로는 가속도 센서, 자이로 센서, 자전거 속도계, 스마트폰 등이 있으며 <그림 1>에 각 장비의 예시를 제시하였다.

## 2. 자전거 주행환경 평가 관련 문헌

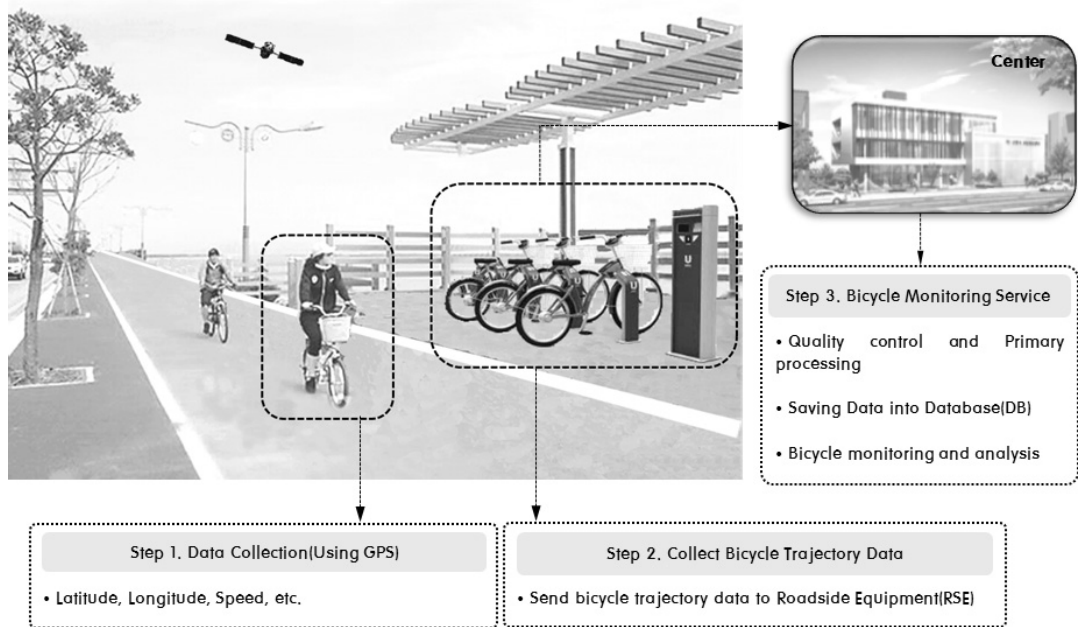
황정훈 등(2005)은 개선안 비교평가 방법과 계층화 분석법을 이용하여 자전거 주행환경의 개선방안을 제안하고 평가하였다. 평가지표로는 교차점에서의 교통수단 간 교차가능 횟수와 접근성을 선정하였다.[6] 이겨라 등(2009)은 자전거 이용자들의 자전거 도로 이용 만족도를 분석하여 서비스 수준을 제시하였으며, 분석 방법으로는 순서형 프로빗 모형을 이용하였다.[7] Landis 등(1997)은 자전거 주행시 자전거 전용도로 및 도로망에 적합한 자전거의 서비스수준 모형을 제시하였으며, 도로 노면상태 및 자전거 전용차로 구분이 서비스 수준 결정에 큰 영향을 미치는 것으로 제시하였다.[8] Harkey 등(1998)은 자전거-차량 혼용도로의 운영 및 기하구조 설계 시 사용할 수 있는 평가지표를 제시하였다.[9] Klobucar 등(2007)은 자전거 도로망의 서비스수준 분석을 적용하여 이용자의 자전거 주행안전성 만족도를 기반으로 한 자전거 도로망 평가기법을 제시하였다.[10]

## 3. 이력자료 관리 시스템 관련 자료

미국 캘리포니아 PeMS(Performance Measurement System)는 매 30초마다 고속도로에서 수집된 루프 검지기 자료를 저장한다. 수집된 자료 처리 및 진단 시스템이 존재하여 웹페이지 내에서 PeMS 자료의 품질을 관리 하며 결과를 조회 할 수 있다.[11] 버지니아 ADMS(Archived Data Management System) 교통관리시스템에서는 검지기 단위 및 지점단위로 자료를 평가 저장하며, 관측된 오류에 따라 별도의 방법론으로 평가 및 관리가 이루어진다. 실시간 결측 보정 시에는 과거 이력자료를 사용하고 결측된 값은 과거 패턴에 근거하여 평균값을 이용하고 있다.[12] 한국도로공사 고속도로 관리시스템(FTMS)에서는 고속도로에 설치된 루프검지기를 이용하여 교통량, 속도, 점유율 및 차량길이를 매 30초마다 집계하고 있다. 수집된 원시 데이터는 오류판단, 결측보정, 평활화 단계를 거쳐 가공된다.[13]

## Ⅲ. 자전거 자료수집 및 처리 시나리오

본 연구에서는 프로브 자전거를 이용한 자전거 자료 수집 시나리오를 수립하였다. 프로브 자전거란 유비쿼터스 환경에서 GPS를 이용하여 위치 정보, 속도정보 등이 수집 가능한 자전거이다. 프로브 자전거를 통해 자전거 주행행태 및 자전거 주행환경의 자료 추출이 가능하다. 유비쿼터스 환경에서 프로브 자전거를 이용하여 자료를 수집하고 정보를 생성하는 시나리오를 <그림 2>에 제시하였다. 프로



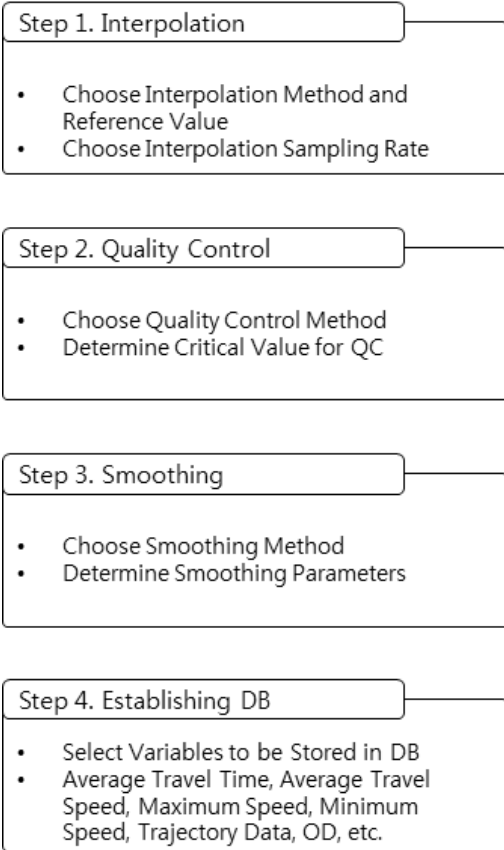
<그림 2> 자전거 자료처리 시나리오

<Fig. 2> Framework of bicycle data processing scenario

브 자전거에서 수집된 GPS 자료는 도로변에 설치된 단말기(RSE: Road Side Equipment)를 통해 교통정보 센터로 전송된다. RSE를 통한 자료수집 방법에는 크게 두 가지 경우가 있다. 첫 번째로 무선통신이 가능한 RSE의 통신 영역에 프로브 자전거가 존재 할 경우 지속적인 통신을 통해 현재까지 수집된 주행 자료를 RSE로 전송해 주는 방법이 있다. 두 번째로는 공공자전거를 이용할 경우 공공자전거 거치대와 공공 자전거가 물리적으로 결합될 경우 주행 시작점부터 종점까지 수집된 주행자료를 전송해 주는 방법이다. 전송된 원시 데이터(Raw Data)는 품질 평가 과정을 거치게 되며, 1차 가공과정을 거쳐 DB에 저장되고, 자전거 모니터링을 위한 기초 자료로 활용된다.

교통정보 센터에서 수행되는 품질 평가 및 1차 가공 과정을 <그림 3>에 제시하였다. 첫 번째 단계에서는 자료의 활용 목적에 맞게 보간(Interpolation)을 수행한다. GPS 자료의 경우 시간 기준으로 자료가 수집되며 본 연구에서 사용된 GPS Receiver의 경우 1초에 한 번씩 수집된다. 시간 기준으로 수집

된 자료의 경우 원하는 지점에서의 자료수집이 보장되지 않는다. 해당 지점을 통과하는 시점과 GPS Receiver의 데이터 수집 시점이 일치 할 경우에는 해당위치의 자료가 수집되지만 그렇지 않을 경우에는 해당 위치 이전, 혹은 이후의 자료가 수집되게 된다. 따라서 시간단위로 수집된 자료의 경우 각 개별 자전거의 주행 패턴, 현재 주행 상황 등 실시간 분석에는 용이 하나 교통정보센터(TMC) 등에서 수행하는 구간데이터 분석 및 활용에는 적합하지 않다. 또한, 자전거의 경우 자동차에 비해 주행속도가 느리기 때문에 보다 세밀한 위치의 자료가 수집이 요구된다. 도로의 연장이 비교적 짧은 구간을 분석 대상으로 하기 때문에 발생하는 특성이다. 따라서 자전거 자료를 이용한 분석을 수행하기에 앞서 분석방법론의 특성을 파악하고 분석방법론이 개별 자전거에 대한 모니터링을 수행할 경우에는 시간기준으로 보간을 수행하고, 자전거 도로 평가 등 위치, 구간기반의 모니터링을 수행 할 경우에는 위치를 기준으로 보간을 수행한다. 시간기준 보간의 경우 필요에 따라 생략도 가능하다. 보다 세밀한 주기의

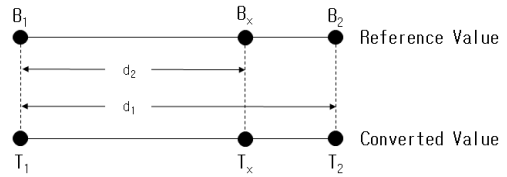


〈그림 3〉 품질관리 및 1차 가공 프로세스  
〈Fig. 3〉 Quality Control Process

자료가 필요 할 경우에는 보간을 수행하고, 원본 데이터의 특성이 크게 작용하는 분석을 수행 할 경우에는 생략하여 원본 데이터의 특성을 그대로 반영하여 분석에 사용한다.

두 번째 단계에서는 보간 된 데이터를 이용하여 품질을 평가하게 된다. 본 연구에서는 통계적 품질 관리(SQC: Statistical Quality Control) 기법을 선택 하였다. 품질 평가의 기준은 SQC를 이용해 산출한 데이터의 범위(Band Width)를 벗어나는 오차영역의 면적으로 설정 하였다.

세 번째 단계에서는 스무딩을 수행하게 된다. 적정 스무딩 파라미터를 결정하는 과정에서는 품질평가 단계에서 제시한 품질평가 기준을 이용한다. 스무딩 과정까지 거친 데이터는 DB에 저장되어 자전거 모니터링 정보로 활용된다. DB 데이터는 사용자



〈그림 4〉 보간법  
〈Fig. 4〉 Interpolation

의 선택에 따라 저장된다. 데이터 집계 간격과 데이터 종류를 선택하면 설정된 집계 간격마다 선택된 데이터를 생성하여 저장하게 된다.

## IV. 방법론

### 1. GPS 자료 보간(Interpolation)

본 연구에서는 선형 보간법(Liner Interpolation)을 이용하여 시간 기반 데이터를 위치 기반 데이터로 가공하였다. 선형 보간법의 원리는 <그림 4>, 식(1)에 제시하였다.

$$T_x = T_1 + (T_2 - T_1) \times \left( \frac{d_2}{d_1} \right) \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

- $B_1, B_2$ : 보간 기준 데이터의 실제 값
- $B_x$ : 보간법을 이용해 생성하는 데이터(보간 정도, 기준에 따라 사용자가 임의로 선택)
- $T_1, T_2$ : 보간 기준과 대응하는 데이터의 실제 값
- $T_x$ : 보간법을 이용해 생성하는 데이터(보간 기준  $B_x$ 에 대응하는 값)
- $d_1$ :  $B_1, B_2$ 의 거리
- $d_2$ :  $B_1, B_x$ 의 거리

GPS자료의 경우 위치 성분과 시간, 속도성분이 주요 정보로 활용된다. 위치 성분을 기준으로 보간 할 경우  $B_x$ 는 필요로 하는 임의의 위치가 되고,  $T_x$ 의 경우는  $B_x$ 에 대응되는 시간, 속도 정보가 된다.

### 2. Statistical Quality Control(SQC)

통계적 품질관리란 사용가치가 있고 시장성이 있는 제품을 가장 경제적으로 생산하기 위해 생산

활동의 모든 단계에서 통계적인 방법을 응용하는 기법이다. GPS 데이터는 교통정보 수집 및 활용에 사용되는 1차 기초 자료이며 교통 분야에서 생산하는 하나의 제품이라고도 할 수 있다.

통계적 품질관리는 크게 3가지 범주로 분류된다. 첫 번째로 기술통계가 있다. 기술통계는 통계적 분석을 수행하기 위한 기초 자료로 활용되며 평균, 표준편차, 자료의 범위(Range) 등이 주로 활용된다. 두 번째로 Statistical Process Control(SPC)이 있다. SPC는 자료의 품질을 평가하고 관리하는 기법이다. 대표적인 방법으로 Control Chart가 있다. 세 번째로 Acceptance Sampling이 있다. 자료를 샘플링 하는 기법으로 몇 개의 데이터를 어떠한 방법으로 샘플링 할 것인지에 대한 내용을 다룬다. 본 연구에서는 Control Chart를 중점적으로 활용하여 자전거 자료 품질평가에 활용하였다.

### 1) Control Chart

Control Chart는 자료의 품질을 평가하고 관리하기 위하여 작성한다. Control Chart의 예시를 <그림 5>에 제시하였다. 자료의 평균값을 이용하여 Center Line(CL)을 설정 하고 CL을 기준으로 표준편차를 이용하여 Upper Control Limit(UCL), Lower Control Limit(LCL)을 설정한다. CL과 UCL, LCL의 산출 방법은 식(2) ~ 식(4)과 같다.

$$Center\ Line(CL) = \bar{x} \quad \text{식(2)}$$

$$Upper\ Control\ Limit(UCL) = \bar{x} + z\delta \quad \text{식(3)}$$

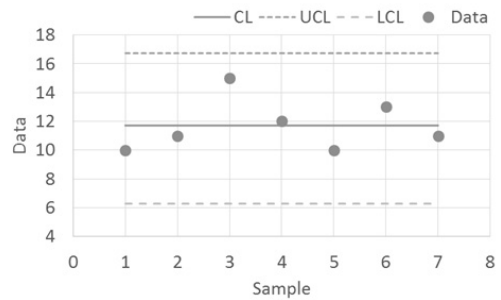
$$Lower\ Control\ Limit(LCL) = \bar{x} - z\delta \quad \text{식(4)}$$

$\bar{x}$ : 수집된 데이터의 평균

$\delta$ : 수집된 데이터의 표준편차

$z$ : 표준정규변수(신뢰구간 95.44%일 경우 2, 신뢰구간 99.74%일 경우 3)

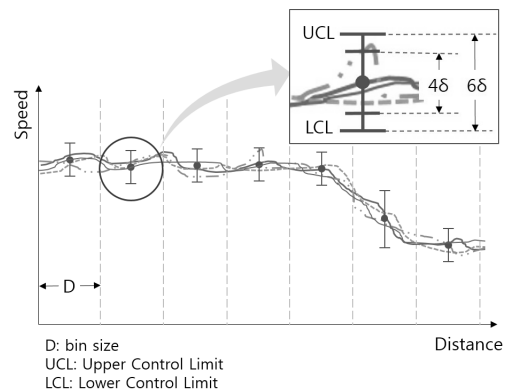
GPS자료를 이용하여 Control Chart를 작성 할 경우 고려되어야 하는 변수를 <표 1>에 제시하였고, <그림 6>에 도식화 하였다. Bin Size는 SQC를 수행하기 위한 자료의 범위를 의미한다. 본 연구의 경우



<그림 5> Control Chart 예시  
<Fig. 5> Example of control chart

<표 1> Control Chart 변수  
<Table 1> Control chart parameter

Variable	Description
Bin Size	Sampling Section Size for SQC
$\delta$ Range	Criteria for calculating UCL and LCL



<그림 6> Control Chart 변수  
<Fig. 6> Control chart parameter

에는 SQC를 수행하기 위한 구간의 거리를 의미한다. 보간 간격에 따라 동일 Bin Size내에 존재하는 자료의 수는 달라질 수 있다.  $\delta$  범위는 식(3), 식(4)의  $z$ 에 해당하는 변수이다.  $\delta$  범위의 크기가 커질 경우에는 UCL과 LCL의 범위가 늘어나게 된다. <그림 6>에 표현한  $4\delta$ ,  $6\delta$ 가  $\delta$ 범위에 해당한다.

### 3. 스무딩(Smoothing) 기법

#### 1) 지수 평활법(Exponential Smoothing)

지수평활법이란 가장 최근 자료에 가장 큰 가중치를 두고 시간이 지남에 따라 가중치가 기하학적

<표 2> 피 실험자 세부정보

<Table 2> Information of Subjects

ID	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Gender	Competence
1	50	153	52	F	Medium
2	50	159	53	F	Medium
3	50	170	65	M	High
4	50	172	72	M	High
5	40	160	62	F	Medium
6	40	158	52	F	Medium
7	40	170	80	M	Medium
8	30	160	63	F	High
9	30	170	86	M	High
10	20	174	85	M	High

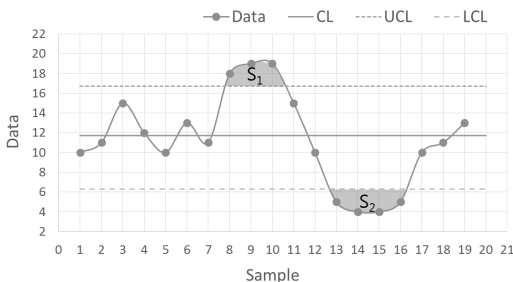
으로 감소되는 가중치 이동 평균 예측기법 중 하나로 지수함수에 따라 가중치를 갖는다. 지수평활법은 최근자료를 보다 의미 있는 자료로 사용할 수 있고 과거자료의 경우 그 가중치를 체계적으로 감소시킬 수 있다는 장점이 있으며, 계산이 쉽고 계산을 하기 위한 필요자료가 적기 때문에 일반적으로 예측 시스템에서 널리 사용된다.

$$S_0 = x_0 \quad \text{식(5)}$$

$$S_t = kx_t + (1 - k)x_{t-1}$$

식(5)은 지수평활화 기법을 수식으로 표시한 것으로 S는 평활화 된 속도 자료를 나타내며 x는 입력되는 원시자료이다. k값은 평활화 상수로 최근자료와 과거자료의 가중치를 부여하는 기준이 된다.

$$S = \sum_{i=1}^n s_i \quad \text{식(6)}$$



<그림 7> 오차영역  
<Fig. 7> Error area

k값이 작을수록 과거자료의 가중치가 높아져 평활화 정도가 커지게 된다.

#### 4. 품질결정 및 활용 방법론

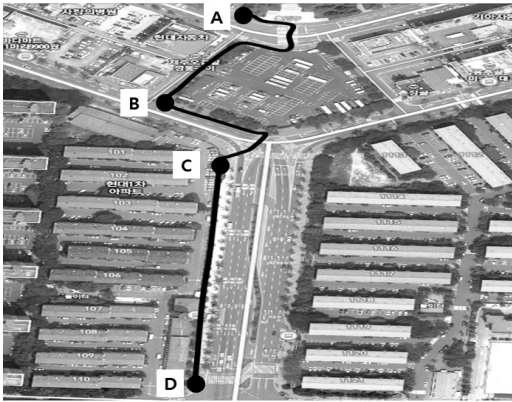
본 연구에서는 프로브 자전거 GPS 자료의 품질을 평가하기 위한 기준을 제시하기 위해 SQC 기법 중 대표적인 기법인 Control Chart를 이용하였으며, Control Chart의 산출물인 UCL, LCL을 기준선으로 제시하였다. UCL, LCL의 범위를 벗어나는 자료를 오차 영역으로 설정하고, 오차영역의 크기를 이용하여 상대적으로 품질을 평가하는 방법을 제안하였다. 본 연구에서 제시한 품질결정 방법론의 개념도를 <그림 7>에 제시하였다. UCL과 LCL의 범위를 벗어나는 오차 영역의 면적의 합을 S로 정의하였다. 식(6)에 오차영역 면적 합(S)의 계산식을 제시하였다. 오차영역 면적의 합(S)이 작을수록 상대적으로 품질이 우수하다고 할 수 있다.

GPS 자료에는 이상치 성분이 존재한다. 따라서 스무딩 과정을 거쳐 1차 가공을 하여 사용하는 것이 보편적이다. 스무딩 기법의 경우 스무딩 정도를 결정하는 파라미터가 존재한다. 지수평활법의 경우에는 평활화 상수 k가 존재한다. k 값에 따라 스무딩의 정도가 결정되며 적정 k 값을 결정해야 된다. 본 연구에서 제시한 품질결정 기준을 이용하여 오차영역 면적의 합(S)이 최소가 되도록 k를 결정한다.

### V. 분석결과

#### 1. 자료수집 및 기술통계

본 연구에서는 프로브 자전거를 이용하여 GPS 자료를 수집하였다. 자료수집 구간은 <그림 8>에 제시하였으며 실험에 참가한 피 실험자의 세부정보를 <표 2>에 제시하였다. 경기도 안산시의 자전거 도로에서 총 10명의 피 실험자의 자전거 주행 데이터를 수집하여 분석 데이터로 활용하였다. 피 실험자의 경우 남자 5명, 여자 5명으로 구성되어 있으며, 연령의 범위는 20 ~ 50세로 설정하여 자료를 수



〈그림 8〉 자료수집 구간  
〈Fig. 8〉 Study area

집하였다. 각각의 피 실험자 모두 중간 이상의 자전거 능숙도를 가진 자로 선별하였다. 대상구간의 왕복자료를 수집하여 방향성이 다른 동일 구간의 자료를 수집하였다. 구간을 세분화하기 위해 총 4개의 노드를 생성 하였으며, A-B, B-C, C-D 세 구간으로 분류하였다. 구간 별 도로 특성을 <표 3>에 제시하였다. 구간 1과 구간 2는 보행자 자전거 겸용 도로이고, 구간 3의 경우는 자전거 전용도로이다. 또한 구간 1과 구간 2는 상충지점이 두 번씩 존재하며, 연석이 4개씩 존재한다.

수집된 데이터의 기술통계량을 <표 4>에 제시하

〈표 3〉 구간별 도로 특성  
〈Table 3〉 Road characteristics

	Section		
	Section1 (A-B)	Section2 (B-C)	Section3 (C-D)
Road Types	Pedestrian & Bicycle	Pedestrian & Bicycle	Bicycle
Pavement	Asphalt	Asphalt	Asphalt
Speed Hump	-	-	-
Curb	Standard	-	-
	Mountable	4	4
Gradient	Uphill	-	1
	Downhill	-	-
Conflict Point	2	2	-
Intersection	-	1	-
Roadside Obstacles	Trees and Parked Veh.	-	Bus Stop

였다. 구간 1, 2에 비해 구간 3이 전체적인 주행속도가 높은 것으로 분석되었다. 구간 3의 경우 자전거 전용도로이며, 상충지점도 존재하지 않아 주행속도가 높게 나타나는 것으로 판단된다. 또한 속도 표준편차도 구간 3의 경우가 전반적으로 낮게 측정된다. 통행시간의 표준편차의 경우 구간 3이 가장 낮게 나타나며 구간 2의 경우 상대적으로 높게 나타난다. 구간 2의 경우 신호교차로가 존재하여 통행시간의 편차가 큰 것으로 판단된다.

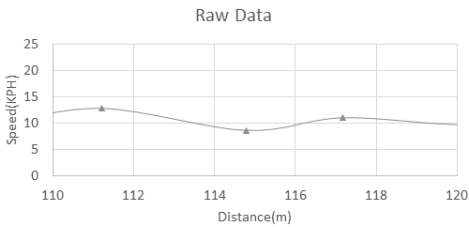
〈표 4〉 기술통계  
〈Table 4〉 Descriptive statistics

Variable		Value					
Section		Section 1		Section 2		Section 3	
		A -> B	B -> A	B -> C	C -> B	C -> D	D -> C
Distance		110m		70m		170m	
Speed	Ave.	8.88kph	10.85kph	11.46kph	11.77kph	14.92kph	15.76kph
	Med.	8.54kph	10.48kph	11.24kph	11.79kph	14.44kph	15.72kph
	Std.	3.27kph	3.94kph	4.45kph	5.66kph	2.97kph	2.38kph
	Max.	20.85kph	26.31kph	22.72kph	28.76kph	23.13kph	32.29kph
	Min.	0kph	0kph	0kph	0kph	1.57kph	0kph
Acceleration	Max.	7.74m/s <sup>2</sup>	6.66m/s <sup>2</sup>	5.77m/s <sup>2</sup>	4.07m/s <sup>2</sup>	5.72m/s <sup>2</sup>	11.27m/s <sup>2</sup>
	Min.	-7.95m/s <sup>2</sup>	-13.66m/s <sup>2</sup>	-5.33m/s <sup>2</sup>	-7.17m/s <sup>2</sup>	-8.49m/s <sup>2</sup>	-12.05m/s <sup>2</sup>
	Std.	0.64m/s <sup>2</sup>	1.03m/s <sup>2</sup>	0.66m/s <sup>2</sup>	0.74m/s <sup>2</sup>	0.50m/s <sup>2</sup>	1.21m/s <sup>2</sup>
Travel Time	Ave.	54.07s	43.37s	39.44s	31.25s	42.45s	43.34s
	Med.	53.41s	36.16s	31.00s	22.63s	43.48s	42.41s
	Max.	83.92s	82.32s	93.17s	70.74s	56.57s	68.59s
	Min.	27.34s	23.08s	9.54s	10.12s	29.30s	25.43s
	Std.	15.44s	16.39s	26.15s	19.18s	7.30s	10.53s

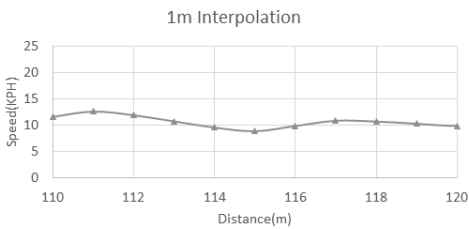


## 2. GPS 자료 보간 결과

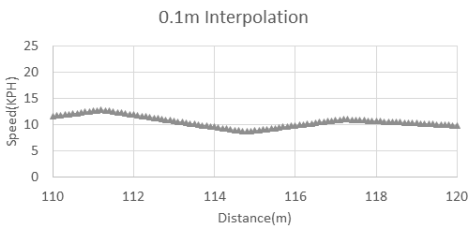
본 연구에서는 위치를 기반으로 GPS자료를 보간하였으며 보간 간격은 0.1m, 1m로 설정하였다. 보간을 수행한 자료의 예시를 <그림 9>에 제시하였다. GPS에서 수집된 위치와 속도의 관계를 <그림 9 (a)>에 표현하였다. 대상구간의 시작점에서 부터 110m 지점에서 120m 지점까지 3개의 데이터가 수집된 것을 관찰 할 수 있다. 또한 일정한 위치에서 데이터가 수집되는 것이 아니라 속도와 시간에 따라 수집되는 위치가 다른 것을 확인 할 수 있다. 1m 단위로 보간 한 결과를 보면 실제 데이터의 변화 추세를 따르면서 사용자가 원하는 위치의 데이터를 만들어 내는 것을 관찰 할 수 있다. 0.1m 단위 보간의 경우 1m 보간 결과와 같은 속도 변동 추세를



(a) Raw Data



(b) 1m 보간



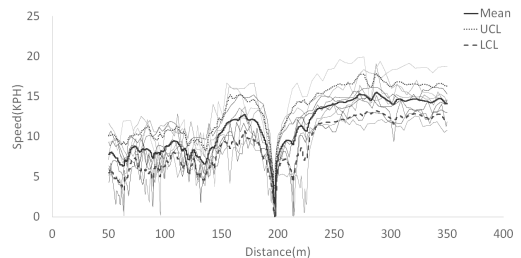
(c) 0.1m 보간

<그림 9> 보간 결과  
<Fig. 9> Interpolation result

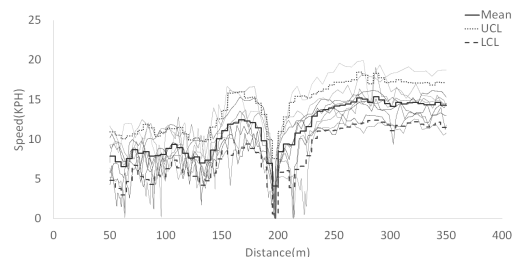
를 따르면서 보다 촘촘한 간격으로 속도 값을 만들어 내는 것을 관찰 할 수 있다.

## 3. SQC 수행 결과

자전거 GPS자료를 이용하여 SQC를 수행한 결과를 <그림 10>, <그림 11>에 제시하였다. 0.1m 단위로 보간 한 자료를 이용하여 분석 한 결과를 <그림 10>에 제시하였다. <그림 10 (a)>의 경우는 Bin Size를 10으로 설정한 결과이고, <그림 10 (b)>의 경우는 Bin Size를 50으로 설정한 결과이다. Bin Size에 따라 UCL, LCL을 산출하는 구간의 길이가 변경됨을 관찰 할 수 있다. Bin Size가 작을수록 UCL, LCL의 변동 추세가 실제 데이터의 변동 추세와 유사하게 나타난다. 그러나 구간을 대표하는 값으로 이용할 경우에는 Bin Size를 크게 설정하여 구간의 길이를 키워 분석하는 것이 적절하다. <그림 10>과 <그림 11>를 비교해 보면 보간 간격과 Bin Size의 영향을 관찰 할 수 있다. 보간 간격에 따라 동일한 Bin Size일 경우에도 구간의 길이는 다르게 분석 된



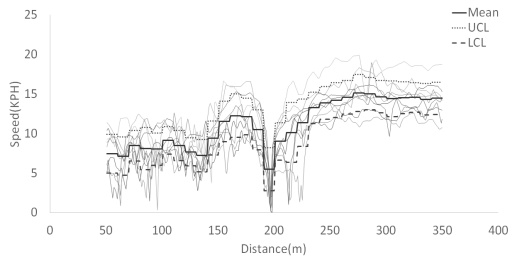
(a) Bin Size: 10, 3δ



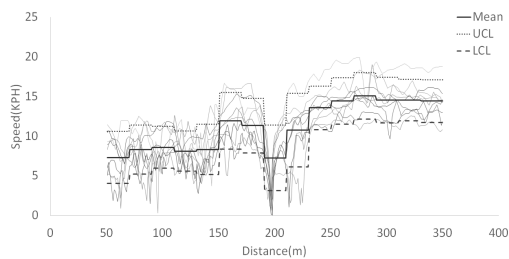
(b) Bin Size: 50, 4δ

<그림 10> 관리도(보간 단위: 0.1m)  
<Fig. 10> Control Chart(Interpolation: 0.1m)

다. 따라서 보간 간격과 데이터의 사용 목적에 따라 적정 Bin Size를 설정해야 한다.

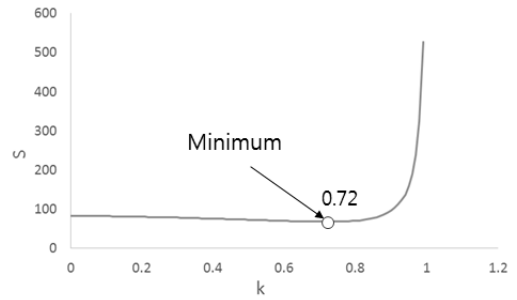


(a) Bin Size: 10,  $3\delta$



(b) Bin Size: 20,  $4\delta$

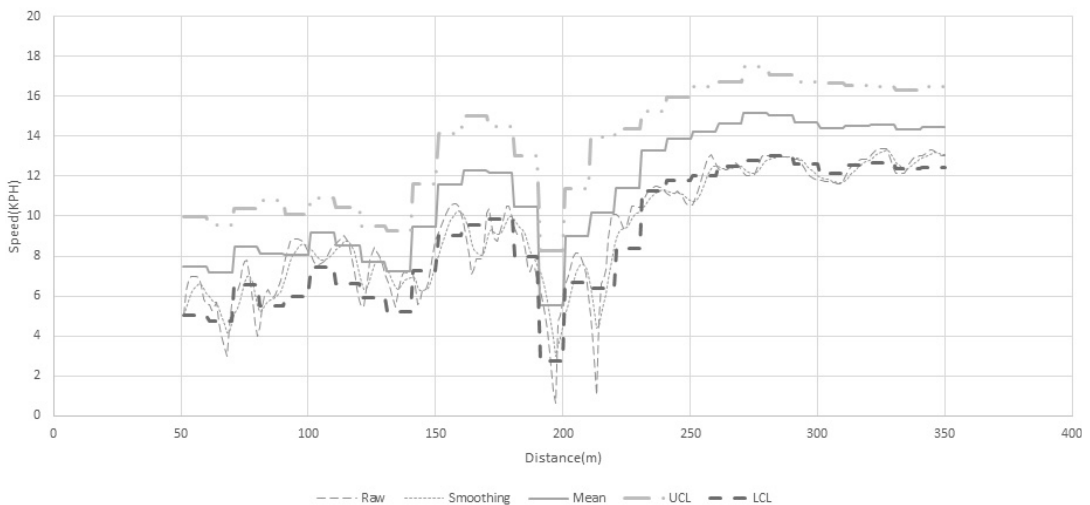
<그림 11> 관리도(보간 단위: 1m)  
<Fig. 11> Control chart(Interpolation: 1m)



<그림 12> 스무딩 파라미터 k에 따른 오차영역의 넓이  
<Fig. 12> Error area by smoothing parameter(k)

#### 4. Smoothing 수행 결과

스무딩 파라미터(k)의 변화에 따른 오차영역의 크기(S)를 <그림 12>에 제시하였다. 스무딩 파라미터 k에 따라 오차영역의 크기가 변화됨을 관찰할 수 있다. 적정 k 값의 경우 수집된 데이터마다 다른 값을 가질 수 있다. 자전거 이용자의 주행 특성에 따라 적정 스무딩 파라미터가 차이가 존재한다. <그림 12>의 경우 임의의 이용자 한명에 대한 예를 보여주고 있으며, 이 경우에는 k값이 0.72일 때 오차영역의 크기가 최소화 되는 것을 관찰할 수 있다. 오차영역이 최소화 되는 스무딩 파라미터(k = 0.72)를 적용하여 스무딩한 결과를 <그림 13>에 제



<그림 13> Exponential Smoothing 수행결과(k = 0.72)  
<Fig. 13> Exponential smoothing result(k = 0.72)

〈표 5〉 오차영역의 면적 감소비율  
 〈Table 5〉 Reduction rate of error area

Section	Section1		Section2		Section3	
	A -> B	B -> A	B -> C	C -> B	C -> D	D -> C
Error Area(Raw Data)	723.14	640.49	529.73	362.42	408.28	715.45
Error Area(After Smoothing)	377.29	240.16	337.80	236.34	187.98	274.51
Reduction Rate	49.47%	74.04%	45.92%	55.85%	60.52%	47.54%

시하였다. 샘플로 선택된 이용자의 경우 평균적으로 타 이용자들 보다 주행속도가 낮게 관측되고 있다. UCL을 벗어나는 영역은 존재 하지 않으며, LCL을 중심으로 변화하는 양상을 보이고 있다. 스무딩을 통해 최대한 오차영역의 크기를 감소 시켰으며, 원시 자료와 비교하여 스무딩 한 데이터의 오차영역이 더 작은 것을 관찰 할 수 있다. 구간별 오차영역의 감소 폭을 <표 5>에 제시하였다. 구간 2(B-C)의 경우에는 약 45%의 감소율을 보이며, 구간 1(B-A)의 경우에는 74%의 감소율을 보인다.

#### 4. Data Base(DB) 저장 예시

이용자가 선택 할 수 있는 데이터의 예시를 <표 6>에 제시하였다. DB에 저장되는 자료는 크게 4가지로 구분된다. 첫 번째로 OD자료가 있다. OD자료의 경우에는 자전거 교통의 수요를 예측하고 향후 자전거도로도 구축 및 운영에 필요한 기초자료로 활용될 수 있다. 두 번째로 속도자료가 있다. 속도자료의 경우에는 자전거의 이동성을 대표할 수 있는 변수이며 향후 자전거 도로의 평가 및 개선에 사용할 수 있다. 또한 속도의 변동 폭은 자전거 교통의 안전성을 평가 할 수 있는 지표로 활용될 수 있다. 다음으로 가속도 변수가 있다. 가속도 변수의 경우 자전거의 현재 주행상태를 대표할 수 있는 변수이며, 주행 안정성을 평가하고 향후 개선방안 수립에 사용될 수 있다. 다음으로 통행시간 자료가 있다. 통행시간자료는 자전거 도로의 효율성을 평가할 수 있는 지표로 활용될 수 있으며, 향후 자전거 통행정보시스템이 구축 될 경우 이용자에게 제공되는 주요 변수로 활용될 수 있다. 추가적으로 샘플 수에 관한 정보 또한 DB에 저장된다. 샘플 수의 경우에는 수집된 자전거 자료를 이용하여 분석을 수행하

고 정보를 생성할 경우 해당 정보의 신뢰성 및 보편성 평가에 사용될 수 있다.

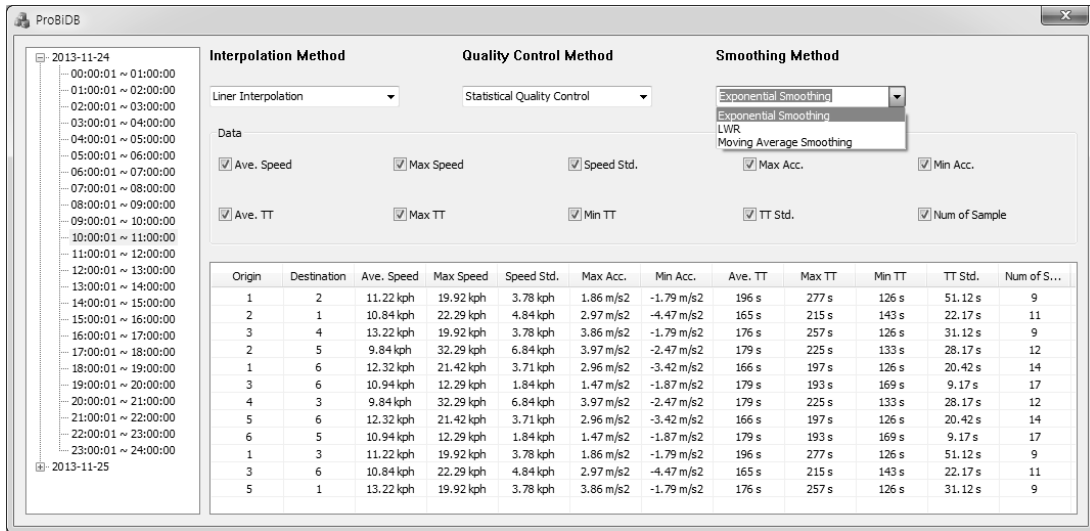
본 연구에서 제작한 자전거 DB 관리 및 정보제공 화면 샘플을 <그림 14>에 제시하였다. 전체적으로 4개의 구역으로 구분된다. 시간적 범위를 선택하는 영역과, 본 연구에서 제시한 각 품질관리 프로세스의 세부적 알고리즘을 선택하는 영역, 사용자가 원하는 데이터를 선택하는 영역, 수집 및 품질관리가 수행된 데이터를 제공하는 영역으로 구성되어 있다.

〈표 6〉 DB 저장자료 종류  
 〈Table 6〉 Traffic parameters in DB

Variable	Description	
OD	Origin	Origin Node
	Destination	Destination Node
Speed	Ave. Speed	Average Speed
	Max Speed	Maximum Speed
	Speed Std.	Speed Standard Deviation
Acceleration	Max Acc.	Maximum Acceleration
	Min Acc.	Minimum Acceleration
	Acc. Std.	Acceleration Standard Deviation
Travel Time	Ave. TT	Average Travel Time
	Max TT	Maximum Travel Time
	Min TT	Minimum Travel Time
	TT Std.	Travel Time Standard Deviation
Sample	Num of Sample	Num of Sample

## VI. 활용방안

자전거 DB 자료를 이용하여 교통 정보 생성 및 활용하는 예시로 일원배치 분산분석 기법을 이용한 구간 별 상대적 이용 만족도를 도출하였다. 주행속



〈그림 14〉 자전거 DB 예시

〈Fig. 14〉 Probe bicycle DB

도의 평균과 표준편차, 가속도의 평균과 표준편차를 이용하여 분산분석을 수행하였으며, 주행속도의 평균과 가속도의 표준편차를 이용한 분석에서 유의한 결과가 도출되었다.

주행속도의 평균을 이용하여 분산분석을 수행한 결과를 <표 7>에 제시하였다. 구간1, 2, 3을 분산분석의 요인으로 선택하고, 주행속도의 평균을 종속 변수로 하여 분석을 수행 한 결과 구간 1, 2, 3은 평균속도의 차이가 존재하는 것으로 분석되었으며 3구간의 평균 주행속도가 가장 높은 것으로 나타났다. 자전거의 이동성을 대표할 수 있는 변수인 평균 주행속도는 자전거 도로 평가 및 이용자의 만족도 평가에 사용 될 수 있다. 분석결과 구간 3의 이동성

이 가장 높은 것으로 나타났고, 구간 1의 경우 이동성이 가장 낮은 것으로 분석되었다.

가속도 표준편차를 이용하여 분산분석을 수행한 결과를 <표 8>에 제시하였다. 분석결과 2개의 집단으로 분류되며, 첫 번째 집단으로 1구간과 3구간, 두 번째 집단으로 2구간이 선정 되었다. 2구간의 경우 1, 3구간보다 가속도 표준편차가 큰 것으로 분석되었다. 2구간의 경우 1, 3구간과 달리 신호 교차로가 존재하며 이로 인해 가속도 표준편차가 크게 나타날 수 있다. 가속도 표준편차는 자전거의 이동성 뿐만 아니라 안전성에도 영향을 미치는 변수로 볼 수 있다. 가속도 표준편차가 크게 나타날 경우 가감속이 많이 나타나는 경우로 이용자가 자전거의 페

〈표 7〉 일원배치 분산분석 결과 - 평균 주행속도

〈Table 7〉 One-way ANOVA test - Average speed

		N	1	2	3
Tukey HSD	Section1	30	9.288	-	-
	Section2	30	-	11.353	-
	Section3	30	-	-	14.421
	Sig.	-	1.000	1.000	1.000
Scheffe	Section1	30	9.288	-	-
	Section2	30	-	11.353	-
	Section3	30	-	-	14.421
	Sig.	-	1.000	1.000	1.000

〈표 8〉 일원배치 분산분석 결과 - 가속도 표준편차

〈Table 8〉 One-way ANOVA test - Acceleration Standard deviation

		N	1	2
Tukey HSD	Section1	30	0.063	
	Section3	30	0.057	
	Section2	30		0.100
	Sig.	-	0.921	1.000
Scheffe	Section1	30	0.063	
	Section3	30	0.057	
	Section2	30		0.100
	Sig.	-	0.928	1.000

달을 조작하는 것이 불규칙하며 브레이크 조작이 빈번하기 때문에 안정적이지 못하고 사고의 위험이 높을 수 있다. 따라서 구간 2의 경우 구간 1, 3 보다 안전성이 떨어지는 것으로 분석된다.

## VII. 결론

본 연구에서는 자전거 모니터링을 위한 자료처리 및 활용 방안에 관한 내용을 제안하였다. 최근 저탄소 녹색정책이 활발히 이루어지면서 자전거 이용자가 증가하고 있다. 효과적인 자전거교통 관련 제어·정보제공·계획수립을 위해서 모니터링은 필수적이며, 개별자전거의 주행 패턴을 미시적으로 수집하고 처리·가공하여 트래킹기반 자전거 모니터링 할 수 있는 기술이 요구된다.

본 연구에서는 수집된 프로브 자전거의 자료를 유용한 정보로 가공하기 위해 1차적으로 전처리 하는 과정에 중점을 두고 있다. 수집된 원시자료의 품질을 평가하고, 1차 가공을 통해 향상된 품질의 자료를 센터에서 관리 할 수 있도록 하는 일련의 과정을 제시하였다. 프로브 자전거를 통해 수집 할 수 있는 대표 자료인 GPS 자료를 이용하여 연구를 수행하였다.

자료가 수집되게 되면 첫 번째로 보간 과정을 거치게 된다. 생성하는 정보의 특성에 따라 시간기반 데이터, 혹은 위치기반 데이터가 필요하게 된다. 수집된 자료의 간격에 따라 데이터의 품질이 달라질 수 있다. 이러한 이유로 데이터 보간을 수행하게 되며 데이터 보간 기준, 간격 등이 주요 파라미터로 적용 된다.

두 번째 단계에서는 동일 구간에서 수집된 다수의 자료를 이용하여 품질을 평가하는 과정을 거치게 된다. 본 연구에서는 품질평가를 위한 기법의 예로 통계적 품질관리 기법을 이용하여 진행하였다. 통계적 품질관리의 산출물로는 자료의 적정 범위가 산출되며 이는 자료의 품질을 평가하는 기준이 될 수 있다.

세 번째 단계에서는 두 번째 단계에서 산출된 품질 기준을 향상시키기 위한 방법으로 스무딩 과정

을 거치게 된다. 스무딩 된 데이터는 교통정보 센터에서 저장하며, 자전거 시스템 모니터링 및 정보 생성을 위한 기초 자료로 활용된다.

본 연구에서 제시한 프로세스를 통해 1차 가공 후 저장된 데이터의 활용방안으로 수집된 자전거 기법을 통한 자전거 도로의 이동성 및 안정성 평가를 수행하였다.

본 연구에서 제안한 방법론을 보다 발전시키기 위해서는 다양한 품질관리 기법 적용하고, 스무딩 기법도 다양하게 적용하여 자전거 자료 가공에 최적의 방법론들을 모색해 보아야 한다. 또한, 각 단계별 주요파라미터를 분석방법론의 성향에 맞게 조정하고 최적 값을 도출하는 캘리브레이션 과정을 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

본 연구에서 제시한 프로브 자전거 자료처리 기법은 현장에서 수집된 원시자료의 품질을 평가하고 1차 가공하는 과정의 가이드라인으로 활용될 수 있으며, 향후 자전거 시스템 모니터링 기법 개발의 기초 연구가 될 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- [1] J. Lee, N. Park, S. Hwang, "Bicycle GPS Based on Smart Phones", *Journal of Security Engineering*, vol. 8, no. 3, pp.195-204, 2009.
- [2] E. Kim, "Service for Bicycle Use Information Based on Low Carbon Green Growth", *Journal of the Korean society for geo-spatial information system*, vol. 18, no. 3, pp.75-81, 2010.
- [3] S. Chung, "A Study on the Improvement Alternatives using USN Technology on Bicycle and Infrastructures", *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, vol. 15, no. 8, pp.173-180, 2010.
- [4] S. Joo, C. Oh, "A Methodology for Evaluating Cycling Safety and Mobility using Probe Bicycle Sensor Data ", *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 30, no. 3, pp.43-55, 2012.
- [5] Kun-Ying Lin, Ming-Wei HSU, Shi-Rung Liou,

- “Bicycle Management Systems in Anti-theft, Certification, and Race by Using RFID”, *2011 Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference*, 2011.
- [6] J. Hwang, G. Kim, “A Study on Evaluation of Plan to Improve Cycling Environment”, *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 23, no. 8, pp.203-213, 2005.
- [7] G. Lee, J. Rho, K. Kang, “Development of Bicycle Level of Service Model from the User’s Perspective Using Ordered Probit Model”, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 8, no. 2, pp.108-117, 2009.
- [8] Bruce W. Landis, Venkat R. Vattikuti, Michael T. Brannick, “Real-Time Human Perceptions Toward a bicycle Level of Service”, *Transportation Research Record*, no. 1867, pp.119-126, 1997.
- [9] David L. Harkey, Donald W Reinfurt, Matthew Knuiman, “Development of the Bicycle Compatibility Index”, *Transportation Research Record*, no. 1636 pp.13-20, 1998.
- [10] Michael S. Klobucar, Jon D Fricker, “Network Evaluation Tool to Improve Real and Perceived Bicycle Safety”, *Transportation Research Record*, no. 2031, pp.25-33, 2007.
- [11] <https://pems.eecs.berkeley.edu/>
- [12] <http://trafficdataarchive.ce.virginia.edu/>
- [13] KECRI, Improvement of Traffic Data Collection, *Analysis and Utilization from Vehicle Detection System on Freeway*, 2006, 12.

저자소개



임 희 섭 (Rim, Hee-Sub)

2006년 3월 ~ 2009년 8월 : 한양대학교 교통시스템공학과 공학사  
2009년 8월 ~ 2012년 2월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석사  
2013년 8월 ~ 현재 : 한양대학교 공학기술연구소 연구원



주 신 혜 (Joo, Shinye)

2006년 3월 ~ 2010년 2월 : 한양대학교 교통시스템공학과 공학사  
2010년 3월 ~ 2013년 2월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석사  
2013년 2월 ~ 현재 : 한양대학교 대학원 교통·물류공학과 박사과정



오 철 (Oh, Cheol)

1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 한양대학교 교통공학과 공학사  
1993년 3월 ~ 1997년 8월 : 한양대학교 대학원 교통공학과 석사  
1999년 9월 ~ 2003년 12월 : University of California, Irvine, 토목환경공학과  
공학박사(교통시스템전공)  
1998년 9월 ~ 1999년 8월 : 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원  
2004년 1월 ~ 2004년 3월 : Post-Doctorate Researcher, Institute of Transportation Studies,  
University of California, Irvine, CA, USA  
2004년 4월 ~ 2006년 2월 : 한국교통연구원 첨단교통기술연구실 책임연구원  
2006년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 교통·물류공학과 교수