

3축 가속도 센서를 응용한 자전거 주행정보 시스템

배성열¹ · 이승환^{2,+}

Driving Information System of Bicycle by Using 3-Axis Acceleration Sensor

Sung-Yul Bae¹ and Seung-Hwan Yi^{2,+}

Abstract

In this paper, the driving information system of the bicycle has been studied by using the 3-axis acceleration sensor. The sensor module composed of 3-axis acceleration sensor and MCU(Microcontroller Unit) was mounted onto the handle of bicycle and the experiments were conducted on the flatland, uphill and downhill of bicycle road. Three axis acceleration values were converted to the pitch and roll angles, then four major compensation methods have been applied to achieve meaningful data for driving information system. The experimental results of pitch angles showed 2.46, -1.26, 7.79 degrees in case of flatland, uphill, downhill, respectively. When the steering handle turned to the left direction, roll angles showed -29.35, -41.67, -36.98 degrees at each road condition. With the right-turn, roll angles presented 20.05, 33.75, 24.44 degrees in case of flatland, uphill, and downhill, respectively. The pitch angle has been increased more than 40 degrees at stop mode. By using the change of pitch and roll angles, we could obtain the driving information system of bicycle successfully.

Keywords : Driving Information System, Bicycle, 3-axis Acceleration, MCU, Compensation Methods

1. 서론

최근 정부에서는 저 탄소 녹색성장이라는 구호 아래 환경오염을 줄이기 위해 노력하고 있으며, 중앙정부와 각 지방자치 단체에서는 하천 변과 시내 간선도로에도 자전거 도로를 확충하는 것뿐만 아니라 1가정 1자전거 갖기 운동, 공무원 자전거 출퇴근, 자전거 시범학교 및 자전거 순찰대 운영 등으로 지난 2008년 현재 1.2%에 불과한 자전거 수단 분담율을 2017년까지 10% 대로 끌어올리기 위한 노력을 하고 있다[1]. 또한 도시 및 농촌지역에서도 다양한 형태의 여가활동 및 생활체육을 실천함으로써 질적인 삶을 추구함과 동시에 나아가 건강증진 및 질병예방을 열망하는 국민적 차원의 관심에 고조되어[2], 자전거의 사용량이 많이 증가하고 있는 추세이다.

한편 한국교통연구원(2007)에서 1,320명을 대상으로 자전거 보급 및 이용현황에 관한 조사결과를 보면, 696명이 자전거를 보유하고 있으며, 자전거 보유자중 192명은 레저 활동에 주기적으로 참여하고 있는 것으로 나타나, 쇼핑, 출퇴근, 기타활동으로 자전거를 이

용하는 사람들에 비해 레저 활동을 즐기는 자전거 이용자가 상대적으로 높은 것으로 발표하고 있다[3].

자전거 이용자의 증가와 함께 자전거 이용에 불편함이 없도록 하기 위해서 자전거 GPS(Global Positioning System)와 속도계 등과 같은 제품이 있으며, 현재 많은 사람들이 사용하는 스마트폰에는 GPS가 내장되어 있어 자전거용 프로그램을 설치하면 네비게이션 기능을 동작할 수 있는 편의 장치들도 많이 있다. 비록 자전거 사용을 위한 편의 장치는 점차 늘어나고 있지만, 자전거 사용자를 위한 안전장치의 개발 및 보급은 미진하여, 현재 헬멧, 무릎 보호대, 팔꿈치 보호대와 야간주행의 편의성을 위한 수동적 기능의 winker가 전부이다. 이에 따라 주간에는 선행 주행자의 움직임이 육안으로 확인 가능하기에 자전거 운행자의 급정지나 방향전환을 파악하고 대처함으로써 사고를 방지할 수 있지만, 야간에 선행 주행자의 주행상태와 자신의 급작스런 움직임에 대한 정보를 제공하지 못하는 경우 사고를 미연에 방지할 수 없는 상황을 초래할 수 있을 것으로 판단되고, 단위 시간당 야간의 자전거 이용 시 부상 및 사망률은 높은 것으로 알려져 있다[1].

따라서 본 연구에서는 야간에도 자전거를 안전하게 이용할 수 있도록 평지, 오르막길, 내리막길에서 자전거의 운행 시, 자전거 주행자의 방향전환, 급 정지등을 후방 주행자에게 신속하게 정보를 제공

¹(주)미코 엠에스티 (MiCo MST)

²한국교통대학교 기계공학과 (Department of Mechanical engineering, Korea National University of Transportation)

⁺Corresponding author: isaac_yi@ut.ac.kr

(Received : Jan. 16, 2012, Accepted : Mar. 16, 2012)

함으로써 안전사고를 미연에 예방할 수 있는 자전거 주행정보 시스템에 대한 연구를 진행하였다.

2. 주행정보 시스템의 제작 및 실험

2.1 주행정보 시스템의 구성

Fig. 1은 자전거 주행정보 시스템 구성을 위한 회로도이다. 배터리를 통하여 10 V의 전압이 인가되면 LM7805 레귤레이터를 이용하여 Atmega128에는 5 V의 구동전압이 인가되고, 가속도 센서에는 제너다이오드와 캐패시터를 통하여 3.3 V의 구동전압이 인가되도록 하였다. 전원이 인가되어 주행정보 모듈이 작동되면 자전거의 움직임에 따라 자전거에 핸들부위에 장착된 3-축 가속도 센서(freescale사의 MMA 7455L)의 출력들은 디지털 값으로 변환된 후, SCL(Serial Clock Line)과 SDA(Serial Data Line)를 사용하는 TWI(Two-Wire Interface) 통신으로 ATmega128에 전송되며, ATmega128에 저장된 센서의 출력은 RXD(Receive Data)와 TXD(Transmit Data)를 이용하는 USART(Universal Synchronous Asynchronous Receiver and Transmitter) 통하여 컴퓨터로 이송되어 자전거 움직임에 따른 각 축 방향의 출력이 저장된다.

저장된 센서의 각 축 방향 출력을 분석하여 자전거 주행 정보 시스템에 적용이 가능한 센서의 출력이 확보되면, 각 상황을 인식하기 위한 프로그램을 작성하고, 이를 ATmega128에 저장시킨 뒤, 주행 중 발생하는 센서의 출력과 비교하여 각 상황에 맞는 신호를 LED를 통하여 주행자의 정보를 알릴 수 있도록 시스템을 구성하였다.

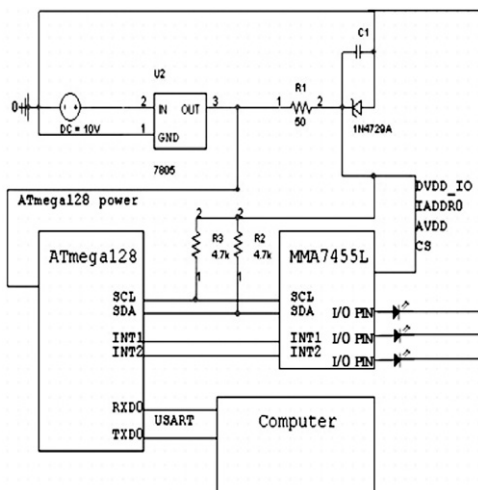


Fig. 1. The circuit diagram of driving information system for bicycle.

2.2 주행정보 시스템의 장착 및 실험방법

3-축 가속도 센서와 MCU를 Fig. 2와 같이 지면과 수평상태로 자전거의 핸들 부위에 고정하였다. 수평상태로 고정된 가속도 센서는 자전거가 좌측으로 방향전환을 하기 위해 핸들을 움직이면 센서의 y-축이 중력가속도 반대방향으로 기울어지고, 우측으로 방향전환을 하기 위해 핸들을 움직이면 센서의 y-축이 중력가속도 방향으로 기울어지도록 장착되었다.

주행자의 운전상황을 파악하여 정확한 정보를 제공하는 자전거 주행정보 시스템을 제작하기 위해 총 3차에 걸친 실험을 진행하였다.

첫 번째 실험은 자전거의 주행 중 나타나는 센서의 출력 특성을 확인하기 위한 것으로 8자 주행을 함으로써 좌회전과 우회전을 할 때 나타나는 센서의 출력특성과 주행 중 정지실험을 통하여 각 축 방향 센서의 출력 특성을 확인함으로써 기본적인 주행정보 특성을 확보하기 위해 진행 하였다.

두 번째 실험은 자전거 전용도로(충청북도 청주 소재)의 평지, 오르막 및 내리막 상황에서 직선 주행과 방향전환에 대한 센서의 출력 특성을 확인함으로써 실제 상황에서 발생된 각 축 방향 출력 특성의 분석을 통해 주행정보 시스템에 적합한 알고리즘을 확보하기 위해서 진행하였다.

세 번째 실험은 두 번째 실험에서 나타난 센서의 출력 특성 결과를 비교 분석하고, 각 축 방향 출력의 보정 및 보정프로그램의 탑재를 통하여 각 상황을 정확히 인지하고, 주행상황에 적합한 신호를 제공하는 자전거 주행정보 시스템을 확보하기 위해 진행되었으며, 각 단계별로 총 10번의 실험을 진행하고 이들의 평균값을 도출하여 주행정보 시스템의 알고리즘을 확보하였다.

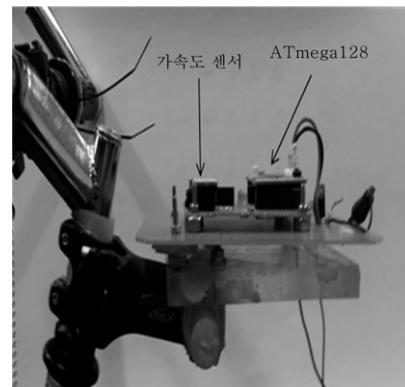


Fig. 2. Photo of the bicycle handle which is mounted with ATmega128 and 3-axis acceleration sensor.

3. 연구결과 및 검토

3.1 센서의 정특성 출력 실험

x-축을 지면에 수평상태로 고정시킨 후, y-축을 중력 가속도 방향(+)과 반대방향(-)으로 기울인 경우 중력 가속도의 측정값과 식

(1)을 통해 계산된 각도를 Fig. 3에 제시하였다. 측정값인 y-axis 결과와 이론 값인 Theoretical value 가 일치함을 확인할 수 있었으며, 식 (1)를 계산하기 위해서 S 값은 Freescale사에서 제공한 값을 사용하였다.

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{V_{yout} - V_{offset}}{S}\right) \quad (1)$$

단, V_{yout} : y-축 출력가속도(V), V_{offset} : 오프셋전압(V), S : 센서의 감도 (800 mV/G)

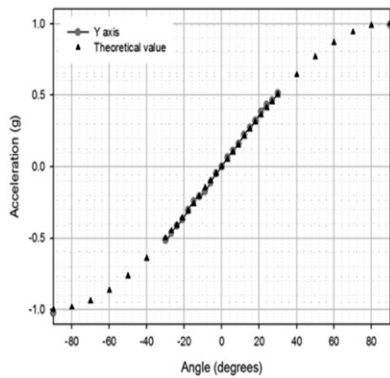


Fig. 3. The output characteristics of y-axis acceleration sensor according to the variation of y-axis angle.

3.2 1차 실험

Table 1은 평지에서 우회전, 좌회전 및 정지 시, 센서의 평균 출력 결과를 나타낸 것이다. 8차 주행실험에서 우회전을 진행할 경우 센서의 평균출력이 0.019 g 로 나타났는데, 이는 센서의 오차범위인 ± 0.032 g 보다 작아 우회전에 대한 센서의 출력으로 적용하기 어렵다고 판단되었다. 이는 센서가 수평인 상태를 유지하고 있어도 ± 0.032 g 의 오차를 발생할 수 있으므로, 방향전환에 대한 신호를 해석하기에는 적지 않은 오류를 범할 수 있다고 판단된다.

Table 1. The first experimental results

8차 주행 실험	y- 축 평균 출력(g)	
	우회전	좌회전
	0.019	-0.069
주행 중 정지 실험	x- 축 평균 출력(g)	
	0.432	

그러나 정지 시에는 y 와 z-축의 출력변화는 없고, x-축만 출력이 상승하는 변화를 보였으며, x-축의 평균출력은 0.432 g 를 나타내

었다. 따라서 정지 신호로서 x-축의 출력이 급격한 증가를 나타내는 것은 주행정보 시스템의 중요한 정보로 적용 가능하다고 사료된다.

한편 Table 2는 재 실험을 하지 않고, Table 1에 제시된 결과를 세 가지 보정사항을 적용하여 확보한 데이터이다. 세 가지 보정사항은 첫째 10개의 출력에 대해서 새로운 데이터가 들어오면 가장 오래된 데이터가 삭제되는 방식으로 평균을 구하고, 둘째 중력가속도 값으로 표현되던 x, y-축 출력을 식 (2)와 (3)에 제시된[4] pitch 각과 roll 각으로 변환시켰다.

Table 2. The average outputs of sensor after the first calibration

8차 주행 실험	roll 각 평균 출력(도)	
	우회전	좌회전
	4.29	-9.93
주행 중 정지 실험	pitch 각 평균 출력(도)	
	15.8	

$$\rho = \arctan\left(\frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}\right) \quad (2)$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}}\right) \quad (3)$$

단, A_x, A_y, A_z 는 각각 x, y, z-축 방향의 가속도 출력을 의미한다. 마지막으로 센서의 출력을 3배로 증폭시킴으로써 미세한 움직임도 인지할 수 있도록 하였다. 이와 같은 세 가지 보정사항을 적용하여 확보한 데이터는 roll 각의 평균 출력이 우회전을 할 경우 4.29 도, 좌회전을 할 경우 -9.93 도로 나타났으며, 정지할 경우 pitch 각의 평균 출력이 15.8 도를 나타냄으로써 방향전환 및 정지에 대한 정보를 구분 가능하게 함을 알 수 있다.

3.3 2차 실험

2차 실험에서는 평균출력을 15 ms 간격으로 10개의 데이터를 수신하여 평균을 구하는 방식으로만 변경하였다. Fig. 4는 2차 보정 후 내리막과 오르막 및 좌·우회전시의 pitch 각과 roll 각의 결과를 나타낸 결과이다. 실험결과만 보았을 때 내리막구간의 평균적인 pitch 각은 3.12 도를 나타냈으며, 오르막구간의 평균적인 pitch 각은 -9.28 도를 나타냈다.

Fig. 4(a)에서 알 수 있듯이 내리막 주행을 할 경우 pitch 각이 점점 커지다가 다시 줄어드는 현상이 나타나는데, 이는 내리막을 진행할수록 센서의 x-축이 중력가속도 방향으로 기울어졌다가 내리막 주행이 끝나고 평지주행으로 바뀌면서 x-축의 기울기가 지면과 수

평상태로 변하기 때문이다. 또한 오르막 주행을 할 경우 pitch 각이 점점 작아지다가 다시 커지는 현상이 나타나는데 이는 센서의 x-축이 중력가속도 반대방향으로 기울어졌다가 오르막 주행이 끝나고 평지주행으로 변하면서 센서의 x-축의 기울기가 지면과 수평상태로 변하기 때문으로 사료된다. 한편 Fig. 4(b)에 제시된 바와 같이 방향전환을 할 경우 roll 각의 변화는 좌회전 시, -39.86 도에서 20.67 도, 우회전의 경우 21.55 도에서 -28.87 도로 변화를 보였다. 즉 센서의 출력이 좌회전을 할 경우 0을 기준으로 (-)출력에서 (+)출력을 나타내고, 우회전을 할 경우 (+)출력에서 (-)출력을 보이는 이유는 방향전환을 위해 좌측 또는 우측으로 핸들을 움직일 때 y-축 방향의 가속도센서의 출력 또한 핸들과 같은 움직임을 갖기 때문이다. 즉, 방향전환을 위해 좌·우측 방향으로 회전하고, 중심을 잡기 위해 우·좌측방향으로 움직이는데, 이에 따라 Fig. 4(b)와 같은 출력특성을 나타낸다고 사료된다.

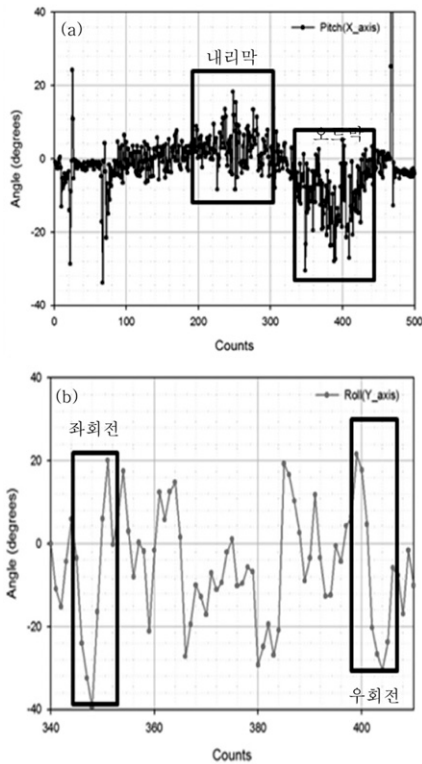


Fig. 4. The experimental result after the second calibration: (a) the change of pitch angle on downhill and uphill sections, (b) the change of roll angle on left and right-turn.

Table 3은 2차 보정 후 실험결과에 대한 센서의 평균출력을 나타낸 것이다. Table 3에서 알 수 있듯이 pitch 각이 평지 주행일 경우 1.38 도, 오르막구간은 pitch 각이 -5.24 도의 출력이 나타나서 6.62 도의 차이를 보였지만, 내리막구간의 평균적인 pitch 각이 2.91 도로 평지와 비교하면 1.53 도의 차이 밖에 보이지 않아 자전거 주행 정보 시스템에 적용하여 평지와 내리막 상태를 구별하기 어

려우며, 주행 중 노면상태 등에 따라 발생하는 노이즈 성분의 중첩으로 인해 방향전환 신호를 적절하게 구분할 수 없으므로 오류가 발생될 것이라고 판단되었다.

Table 3. The average output of sensor after the second calibration

	pitch 각 평균 출력(도)	roll 각 평균 출력(도)	
		좌회전	우회전
평지	1.38	-16.16	7.82
오르막	-5.24	-20.48	13.51
급 오르막	-9.13	-39.61	23.92
내리막	2.91	-14.79	9.97
급 내리막	2.42	-21.42	12.04

3.3 3차 실험

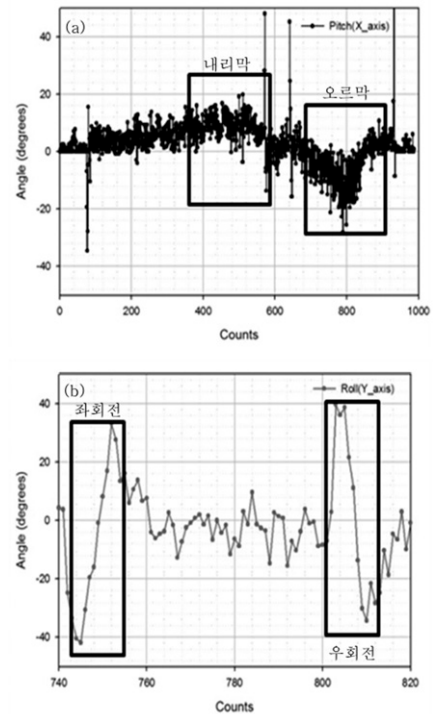


Fig. 5. The experimental result after the third calibration: (a) the change of pitch angle on downhill and uphill sections, (b) the change of roll angle on left and right- turn.

3차 실험에서는 2차 실험에서 적용한 보정 사항과 센서의 출력에서 x-축의 출력 중 ± 0.032 g 와 y-축의 출력 중 ± 0.048 g 의 범위에 대해서 0으로 처리하였는데, 이는 주행 중 발생하는 작은 진동에도 자전거에 장착된 센서가 반응을 하여 노이즈 발생한다고 판단

되었기 때문이다.

Fig. 5는 3차 보정 후 내리막과 오르막 및 좌·우회전시의 pitch 각과 roll 각의 결과를 나타낸 결과이다. Fig. 5와 Fig. 4의 실험결과 비교하면 Fig. 5의 실험결과가 Fig. 4의 실험결과에 비해서 내리막 주행의 경우 pitch 각이 (+)쪽으로 밀집되어 있고, 오르막 주행의 경우 (-)쪽으로 밀집되어 있다. 또한 좌·우회전의 경우 Fig. 4의 경우 좌우회전을 할 경우를 제외해도 roll 각의 변화폭이 컸는데, Fig. 5의 경우 좌·우회전을 할 경우를 제외하고 roll 각의 변화폭이 작은 것을 확인할 수 있다. Fig. 5(a)에서 알 수 있듯이 내리막구간의 평균적인 pitch 각은 7.55 도, 오르막구간의 평균적인 pitch 각은 -8.97 도를 나타내었고, 방향전환에 대한 roll 각의 변화는 좌회전일 경우 -41.82 도에서 33.19 도, 우회전일 경우 39.63 도에서 -34.25 도로 변화하였다.

Table 4. The average output of sensor after the third calibration

	pitch 각 평균 출력(도)	roll 각 평균 출력(도)	
		좌회전	우회전
평지	2.46	-29.35	20.05
오르막	-1.26	-41.67	33.75
급 오르막	-7.37	-41.94	35.05
내리막	7.79	-36.98	24.44
급 내리막	12.7	-33.69	23.77

Table 4는 각 상황에 대한 반복적인 실험을 통하여 구한 각 상황에 대한 평균값이며, 3차 실험 결과 평지와 내리막의 경우 pitch 각의 차이가 5.33 도, 평지와 오르막의 경우 pitch 각의 차이가 3.72 도의 차이를 보여 자전거 주행 정보 시스템에 적용해도 평지, 오르막, 내리막 상황의 구별이 가능하고, 각 상황에 따른 방향전환 시 roll 각이 좌회전일 경우 -20이하 우회전일 경우 +20이상의 출력 특성을 보여서 구별이 가능하였고, Table 4의 데이터를 자전거 주행 정보 시스템을 제작하는데 적용할 수 있다고 판단되었다.

Fig. 6은 주행 정보 시스템의 내리막 주행에 대한 일 예를 나타내는 순서도이다. Fig. 6의 순서도는 자전거가 주행을 시작하여 pitch 각이 +4 도 이상이고, roll 각이 ±3 도 이내의 출력을 나타내면 0.5 초 대기 후에 1 초간의 데이터를 수집하여 같은 결과가 나오면 주행 정보 시스템은 내리막 주행으로 판단한다.

내리막 주행을 판단하는데 roll 각이 적용되는 이유는 방향전환을 위해 핸들을 움직일 때 x-축이 중력가속도 방향으로 기울어져 pitch 각이 평지에서 내리막 주행과 같은 출력을 나타내기 때문에 roll 각이 ±3 도 이내라는 조건을 적용하면 방향전환으로 인한 오류를 방지할 수 있기 때문이다. 내리막 주행에 대한 프로그램에서 roll 각이 +10 도 이상이면 우회전 신호, -10 도 이하이면 좌회전

신호 그리고 pitch 각이 40 도 이상이면 정지 신호를 나타내도록 하였다. 이때 내리막 주행에서 평지 혹은 오르막 상태 신호가 나타날 때까지 지속적으로 명령을 수행한다. 내리막 주행에서 이탈하기 위해서는 pitch 각이 +3 도 이하이고 roll 각이 ±3 도 이내의 출력을 나타낼 경우, 0.5초 대기 후 1초 간의 데이터를 수집하여 같은 출력 결과를 나타내게 되면 내리막 주행에서 센서의 출력에 따라서 오르막 주행과 평지 주행으로 변할 수 있도록 프로그램을 작성함으로써 주행정보 시스템을 완성할 수 있었다.

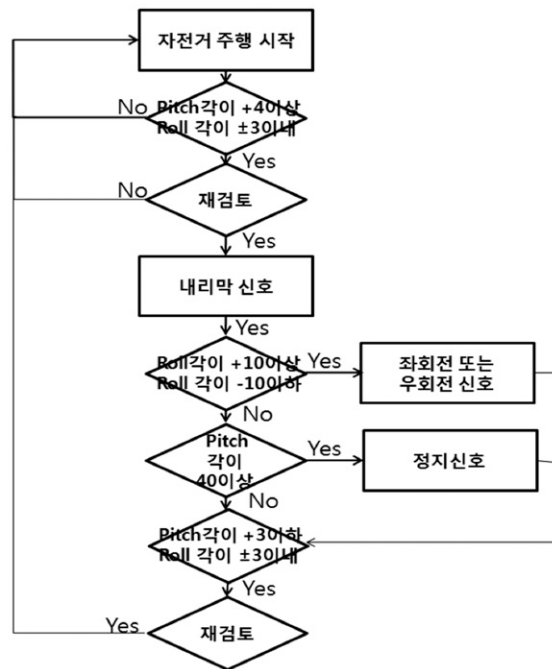


Fig. 6. The flow chart of driving information system of bike in case of downhill.

4. 결론

본 논문에서는 평지, 오르막, 내리막 상황에서 직선 주행, 방향전환 및 급정지에 대한 출력신호를 분석, 보정하여 각 주행상황에 적합한 정보를 프로그램 함으로써 자전거 주행정보 시스템에 대한 연구를 진행하였다. 정확한 주행정보 시스템의 제작을 위해 4가지 보정을 수행하였는데, 첫째 x-축의 출력 중 ±0.032 g 와 y-축의 출력 중 ±0.048 g 에 대해서는 0으로 처리하고, 둘째 15 ms 간격으로 150 ms 동안 10개의 데이터를 수집, 평균을 구하고, 셋째 센서의 출력을 중력가속도가 아닌 상대적인 각도로 변환 그리고 마지막으로 센서의 출력을 3배 증폭함으로써 LED 를 통하여 주행자의 주행상태를 주위에 있는 사람들에게 알릴 수 있는 주행정보 시스템을 제작할 수 있었다. 이를 통해 제작된 주행 정보시스템이 야간에 자전거를 이용하는 사람들에게 보급 된다면 야간에 발생할 수 있는 안전사고를 미연에 방지할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 지식경제부에서 지원한 U-Bike 개발사업의 위탁연구과제로 수행되었으며, (주)대흥데이터통신에 감사 드립니다. 또한 추가적인 연구진행에 도움을 주신 한국교통대학교 지역 혁신센터(RIC)에 감사 드립니다.

REFERENCES

- [1] ChongSun Hong and MounJin Kim, "Statistical analysis and its application of bicycle accidents", *J. Korean Data & Info. Sci. Soc.*, vol. 21, no. 6, pp. 1081-1090, 2010.
- [2] Hyun-Sik Kang, "Cycling and health", *J. Korean Soc. of Civil Engineers*, vol. 57, no. 7, pp. 59-61, 2008.
- [3] 임영삼, 이상덕, "노년기 스포츠여가로서 자전거 참가동기가 여가몰입과 심리적 행복감에 미치는 영향", *J. Sport and Leisure Studies*, vol. 42, pp. 685-696, 2010.
- [4] Freescale Semiconductor, *Tilt sensing using linear accelerometers*, Application Note, pp. 1-7, 2007.
- [5] Freescale Semiconductor, $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g$ three axis low-g digital output accelerometer, Technical Data, pp. 5-34, 2009.
- [6] Freescale Semiconductor, $\pm 1.5g - 6g$ three axis low-g micromachined accelerometer, Technical Data, p. 6, 2008.



배 성 열 (Sung-Yul Bae)

- 2010년 충주대학교 기계공학과(공학사)
- 2012년 충주대학교 기계공학과(공학석사)
- 2012년 ~ 현재 (주)Mico MST 센서팀 근무
- 주관심분야 : 가속도센서 및 용량형 압력 센서의 응용, 마이크로센서 시스템



이 승 환 (Seung-Hwan Yi)

- 1988년 고려대학교 전기공학과(공학사)
- 1990년 고려대학교 전기공학과(공학석사)
- 1998년 고려대학교 전기공학과(공학박사)
- 1993년 ~ 1998년 만도기계 중앙연구소 주임연구원
- 1998년 ~ 2002년 하와이 주립대학교 전기공학과 방문연구원
- 2002년 ~ 2004년 GE Sensing Korea 책임연구원
- 2004년 ~ 현재 한국교통대학교 기계공학과 부교수
- 2010년 Singapore IMRE 초빙과학자
- 주관심분야 : 압전 박막물성 및 압전 음향소자, 압전 에너지 하베스팅소자, 유비쿼터스 센서 네트워크, MEMS 소자의 설계 및 제작 등