

휠체어 접근성을 위한 스마트폰 센서 기반 도로 분석 시스템 개발

송하나*, 송정현**

*대구대학교 재활산업학과

**(주)우리소프트

e-mail:il_ma_re@naver.com

Development of Road Analysis System based on Smart Phone Sensor for the wheelchair accessibility

Ha-Na Song*, Jeong-Heon Song**

*Dept. of Rehabilitation Industry, Daegu University

**Woorisoft Inc.

요약

휠체어는 대상자의 독립적인 생활을 가능하게 하는 필수 요소로 안전하고 효율적인 주행이 가능해야 한다. 따라서 본 논문에서는 스마트폰에 내장되어있는 Orientation 센서와 GPS 센서를 활용하여 지면의 경사도와 위치 정보를 수집하고, 선형회귀 식과 Butterworth filter를 사용해 데이터를 분석하여 평면(flat), 범프(bump), 급경사(stEEP slope)로 분류된 지면 정보를 애플리케이션을 통해 제공하는 시스템을 개발하였다. 본 연구는 수집된 데이터의 무한한 활용이 가능하며, 추후 휠체어 내비게이션 연구로 확장하고자 한다.

1. 서론

장애인의 독립적인 이동능력의 상실은 사회생활 참여에 있어 가장 큰 장애로 여겨지고 있다[1]. 휠체어 사용이 필요한 대상자는 척수 손상, 관절염, 균형 장애 및 기타 질병으로 인해 하반신에 장애가 있는 경우이며[2], 휠체어는 이동지원 수단으로써 이러한 대상자가 독립적인 생활을 통해 개인의 삶의 질을 향상하도록 하는 중요한 도구이다[3]. 이처럼 휠체어가 사용자를 지역사회와 밀접하게 연결할 수 있는 상징적인 가치 (symbolic value)임에도 불구하고[4], 도로는 휠체어 사용자의 이동 편의성에 대한 고려 없이, 건축 환경 및 예산을 중심으로 설계되고 있어 이동성에 장애를 가진 사람들에게 큰 불이익으로 작용하고 있다[5].

휠체어 안전사고를 보면, 도로와 같은 외부 활동에서의 사고 발생이 44.1%이며, 그 중 경사면에서 41.2%로 가장 많은 사고가 발생하는 것으로 조사되었다[6]. 그리고 휠체어를 타고 외출할 때 가장 불편한 점으로 ‘도로와 노면이 고르지 못하다’가 30.7%로 가장 많고, ‘턱이 있는 곳’ 20.8%로 그다음으로 많은 것으로 조사되었다[7].

이처럼 경사로나 요철이 많은 지형적 특징을 가진 도로는 휠체어로 이동할 때, 불편함과 사고를 유발하여 사용자의 2차 부상을 일으킬 수 있으며, 이 점은 휠체어를 사용하는 대상자에게 결코 안전하지 않다. 따라서 이동성에 장애를 가진 사람들이 독립적으로 지역사회를 안전하게 이동할 수 있도록 도로의 지형적 정보를 파악하여 제공해 줄 수 있는 시스템 개발이 필요하며, 이에 따라 본 연구는 스마트폰 센서를 이용하여 도로특성을 분석하고 애플리케이션을 통해 휠체어 사용 대상자에게 도로의 특성을 전달하고자 한다.

2. 본론

2.1 선행연구조사

M. Gupta et al. (2015)은 휠체어 접근성 연구에서 데이터 수집에 사용할 가장 적절한 센서를 선택하는 연구를 하였고, 스마트 디바이스에 내장되어있는 센서는 맞춤형 센서 장치(bespoke sensor devices)에서 얻은 측정치와 매우 일치하며 높은 신뢰도를 가져 휠체어 접근성 연구에 사용될 수 있음을 입증하였다[8].

Q. Mourcou et al. (2013)는 스마트 디바이스에 내장되어 있는 3가지 센서(3-axis gyroscope, 3-axis accelerometer and 3-axis magnetometer)를 사용하여 출력되는 데이터와 GPS를 분석하여 휠체어 사용자에게 지리적 정보를 제공하는

연구를 하였다[9].

Kim E. Y. (2016)는 장애인과 고령자의 안전한 이동을 지원하기 위해 카메라와 초음파 센서를 이용하여 교차로 및 보도의 데이터를 분석하였고, 92.0% 정확도로 장애물을 피하는 경로를 생성하였으며, 98.3%의 정확도로 다양한 실외 장소를 인식한 연구를 하였다[10].

Ren, M et al. (2013)는 스마트 디바이스에 내장되어있는 3 가지 센서(나침반 센서, 가속도 센서, GPS센서)를 사용하여 보행자의 움직임 패턴을 인식하여 지도상에 효율적으로 사용자 위치를 업데이트하였고, 이 알고리즘을 통해 보행자와 휠체어 내비게이션 시스템에서 지도 매칭 프로세스를 제안하였다[11].

이처럼 휠체어 이동 시 안전성을 높이기 위한 연구가 진행되고 있지만, 적은 비용과 시간으로 도로의 지면 정보를 수집하고 분석하여 유의미한 정보를 제공하는 연구는 미비하여, 본 연구에서는 별도의 장치 없이 스마트폰에 내장되어있는 Orientation센서와 GPS센서를 통해 지면 정보를 수집해 3가지 지면(stEEP slope, bump, flat)으로 분석하였고, 애플리케이션을 통해 정보를 제공해주는 시스템을 개발하였다.

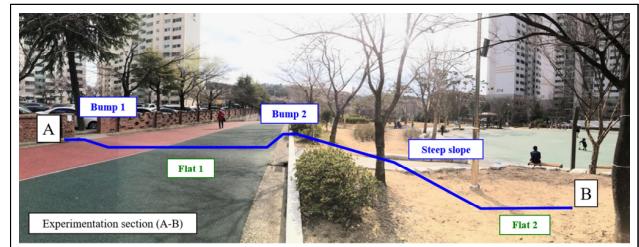
2.2 연구방법

2.2.1 지형정보측정

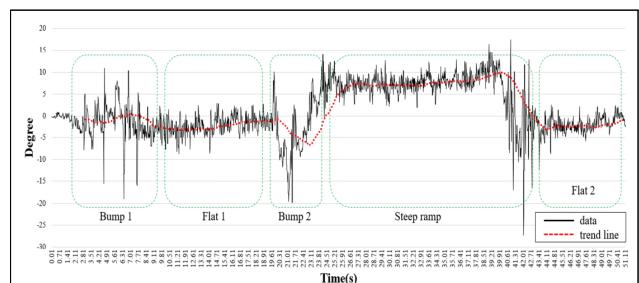
지형의 상태를 측정하기 위해서 스마트 디바이스(VEGA IM-A910K)를 사용하였고, 애플리케이션 개발 프로그램(App Inventor)을 이용하여 스마트 디바이스 내부의 Orientation Sensor와 GPS Sensor를 사용하여 도로의 경사로와 사용자의 위치를 측정 및 수집하였다. Orientation Sensor는 공간적 방향을 X축(roll), Y축(pitch), Z축(azimuth)으로 구분하며, 이를 통해 스마트기기의 회전(방향) 상태를 알 수 있는데, Roll과 Pitch 값은 -90° ~ 90° 의 값을 가지고, Azimuth(방위각)은 0° (북) 90° (동) 180° (남) 270° (서)의 값을 가진다. 본 연구에서는 휠체어의 주행 방향에 대한 경사도 데이터를 활용하기 위해 Y축(pitch)을 사용하도록 시스템을 설정하였고, ADAAG (Americans with Disabilities Act Accessibility Guidelines, 1998)에서 제안한 휠체어 경사도 비율인 1:12(높이:밑면)를 참고하여 급경사의 기준을 5° 로 설정하였다.



[그림 1] 스마트폰 설치 위치와 가속도 축



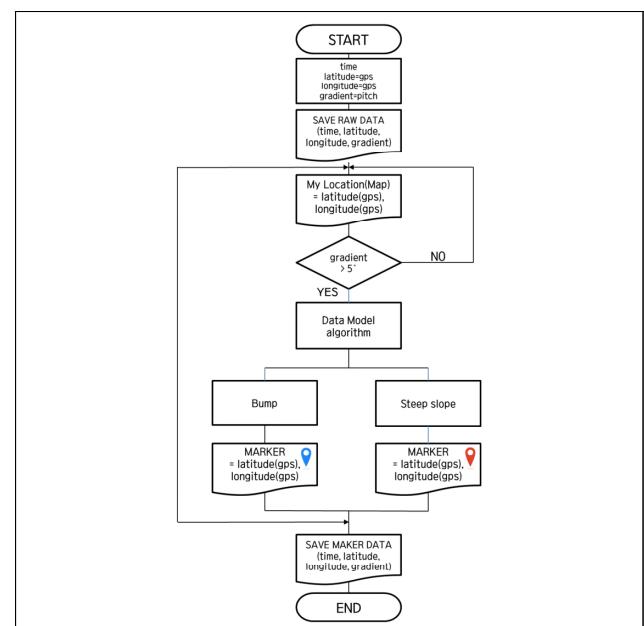
[그림 2] 출발지점(A)에서 도착지점(B)까지의 지면 특성



[그림 3] 출발지점(A)에서 도착지점(B)까지의 측정한 지면 데이터

2.2.2 측정 데이터 분석

측정된 데이터를 분석하여 지형을 Steep slope, Bump, Flat 세 가지로 분류하고 GPS 데이터와 매칭 후 시각화하여 사용자에게 제공하도록 시스템을 개발하였다.



[그림 4] 측정한 데이터 분석 알고리즘

측정된 지형 데이터의 경우 원자료(raw data)에서 구분하고자 하는 특정 데이터를 분석하기 위해 선형회귀 식으로 각 구간 별 선형화를 실시하였고, Butterworth filter를 사용하여 패턴을 분석하였다.

$$\begin{aligned}\check{y}_i &= \check{\beta}_0 + \check{\beta}_1 x_i \\ \check{\beta}_0 &= \frac{\sum_{i=1}^n y_i - \check{\beta}_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n} \\ \check{\beta}_1 &= \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}\end{aligned}$$

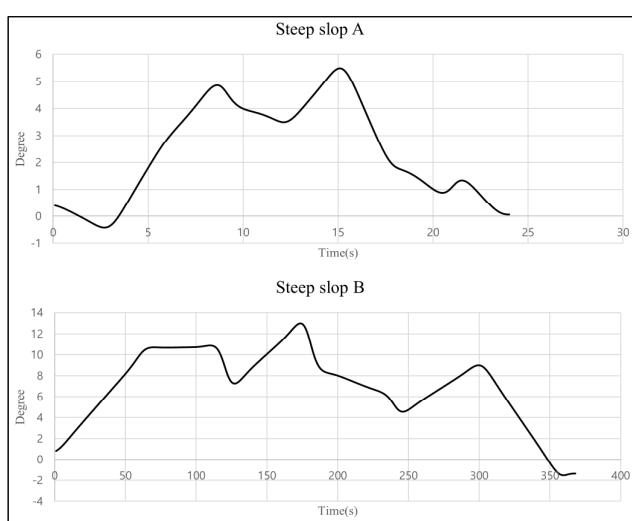
3. 결과

3.1 Steep slope와 Bump의 분석 결과

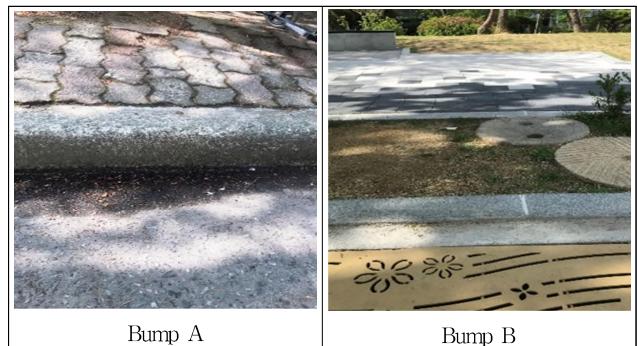
다양한 구간에서 수집한 Steep slope와 Bump 테이터값을 선형화한 결과에서 Bump는 선형화 구간의 끝값과 다음 구간의 첫 값에서 5° 이상의 차이가 발생했고 Steep slope의 경우 선형화 구간의 끝값과 다음 구간의 첫 값의 차가 5° 이하이면서 경사도 값이 5° 이상인 것으로 서로 다른 패턴을 보이는 것으로 분석되었다. 이에 대해 [그림 6], [그림 8]과 같이 각 형상 별 선형화 패턴을 도출하여 그래프로 나타내었다.



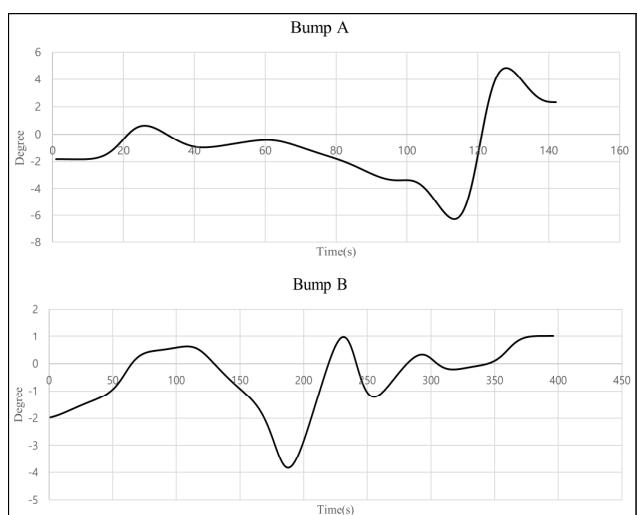
[그림 5] Steep slope type



[그림 6] Steep slope pattern



[그림 7] Bump type



[그림 8] Bump pattern

3.2 지형분석결과

출발지점과 도착지점이 일치하는 세 가지 각기 다른 경로 A, B, C에 대해 지면의 데이터를 수집해 분석하였다.

[표 1] 세 가지 경로 지면 분석에 따른 분류 결과

| 분류 | Steep Slope | Bump | 시간 |
|------|-------------|------|-------|
| 경로 A | | | 5'23" |
| 경로 B | | | 4'22" |
| 경로 C | | | 5'56" |

선형회귀 분석 및 필터링을 통해 도출한 지형패턴을 근거로 경로 A, 경로 B, 경로 C에 대한 지형 데이터를 분석한 결과 [표 1]과 같이 실제 지형에서의 Steep slope, Bump, Flat의 위치 및 개수가 데이터 분석 결과와 일치함을 확인하였다.



[그림 9] 경로 A,B,C의 실제 지면 특성 시각화

4. 결론

본 연구에서는 스마트폰 내부의 센서를 사용하여 도로의 지면 특성을 분석하고, 휠체어 대상자가 안전하고 효율적으로 이동할 수 있는 정보를 제공하는 애플리케이션을 개발하였다. 선형회귀 식을 이용해 구현한 형상 별 선형화 패턴을 근거로 원 데이터(Raw Data)를 분석한 결과 다양한 경로에 대해 실제 지형과 데이터 분석에 의한 지형이 모두 일치함을 확인하였다. 개발한 시스템은 별도의 장비 없이 스마트폰 애플리케이션을 이용하기 때문에 측정 및 데이터 저장이 매우 간편하고 구현된 데이터 모델을 바탕으로 분석한 수집정보는 지도에 Steep slope와 Bump로 구분된 마커로 시각화하여 휠체어 사용자의 경로 선택에 있어서 유용한 정보를 제공해줄 수 있다.

추후 연구에서는 다수의 휠체어 사용자의 데이터를 수집할 수 있도록 데이터 클라우드 시스템을 구축하고, 또한 비장애인의 도보 데이터를 분석하여 도로의 특성을 예측할 수 있도록 하는 등 다양한 데이터 수집과 분석을 통해 휠체어 전용내비게이션을 위한 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] Di Marco, A., Russell, M. and Masters, M. (2003), "Standards for wheelchair prescription" Australian Occupational Therapy Journal, 50: 30–39. doi:10.1046/j.1440-1630.2003.00316.x
- [2] R. A. Cooper et al., "Engineering Better Wheelchairs to Enhance Community Participation," in IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol. 14, no. 4, pp. 438–455, Dec. 2006.
- [3] P. S. Archambault, É. Blackburn, F. Routhier, D. Reid, W. C. Miller and R. L. Kirby, "Development and user validation of driving tasks for a power wheelchair simulator," 2015 International Conference on Virtual Rehabil

itation (ICVR), Valencia, 2015, pp. 172–173.

- [4] Gunilla Stenberg, Catharina Henje, Richard Levi & Maria Lindström (2016) "Living with an electric wheelchair - the user perspective, Disability and Rehabilitation: Assistive Technology", 11:5, 385–394, DOI: 10.3109/17483107.2014.968811
- [5] C. Menkens et al., "EasyWheel – A Mobile Social Navigation and Support System for Wheelchair Users," 2011 Eighth International Conference on Information Technology: New Generations, Las Vegas, NV, 2011, pp. 859–866.
- [6] Bu-Lyoung Ahn, Seok Hyeon Jo, Hyun Duk Moon, Kyung Sun, Du-Jin Bach. (2020). Trochoid Gear Transmission Synchronized to Backward Driving Prevention Brake of Manual Wheelchair for Improved Driving Capability on Ramps. Korean Society for Precision Engineering, 37(1), 67–73.
- [7] Wheelchair safety accident survey. (2011). Korea Consumer Agency.
- [8] M. Gupta, C. Holloway, B. M. Heravi and S. Hailes, "A comparison between smartphone sensors and bespoke sensor devices for wheelchair accessibility studies," 2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), Singapore, 2015, pp. 1–6.
- [9] Q. Mourcou, A. Fleury, P. Dupuy, B. Diot, C. Franco and N. Vuillerme, "Wegoto: A Smartphone-based approach to assess and improve accessibility for wheelchair users," 2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS), Osaka, 2013, pp. 1194–1197.
- [10] Kim E. Y. (2016). "Wheelchair Navigation System for Disabled and Elderly People", Sensors (Basel, Switzerland), 16(11), 1806. <https://doi.org/10.3390/s16111806>
- [11] Ren, M., & Karimi, H. (2012). Movement Pattern Recognition Assisted Map Matching for Pedestrian/Wheelchair Navigation. Journal of Navigation, 65(4), 617–633. doi:10.1017/S0373463312000252