

GPS 신발용 소형 위치정보 송신기의 성능 평가

막마르 엔흐자야*, 막마르 엔흐툽신*, 권 순 량^o

Performance Evaluation of Small Location Information Transmitter for GPS Shoes

Enkh-zaya Myagmar*, Enkh-tuvshin Myagmar*, Soon-ryang Kwon^o

요 약

그동안 신발 속에 GPS 수신기와 통신모듈을 장착하여 신발을 신은 사람의 위치를 실시간 조회 및 추적하는 GPS 신발 관련 기술 및 제품에 대해 많은 관심이 증대되어 왔다. 이러한 관심을 반영하여 GPS 신발용 소형 위치정보 송신기와 이와 연동하여 사용자의 위치를 실시간 조회 및 추적하는 GPS 신발가입자 위치관리 시스템이 개발되었다.

본 논문에서는 기 개발된 위치정보 송신기에 대한 검증에 위해 성능을 평가하는 것을 목적으로 한다. 성능 시험은 최소 전송주기 확인 시험, 최대 하중시의 송신기 동작 확인 시험, 송신기 삽입 조건에 따른 위치편차 확인 시험, 동일 장소에서의 위치편차 확인 시험, 위치 정밀도 확인 시험, 배터리 소비 전류 및 지속 시간 확인 시험으로 구분하여 진행하였고 그 결과를 분석하였다.

키워드 : GPS 신발, 위치정보 송신기, 웨어러블 디바이스, 위치관리시스템, 성능평가

Key Words : GPS Shoes, Location Information Transmitter, Wearable Device, Location Management System, Performance Evaluation

ABSTRACT

In the meantime, there has been a great deal of interest in the technology and products related to GPS shoes that looks up and tracks the location of the person wearing the shoes by mounting a GPS receiver and a communication module. Reflecting this interest, a GPS shoe subscriber location management system has been developed that works with a small location information transmitter for GPS shoes to look up and track the user's location in real time.

The purpose of this paper is to evaluate the performance of the developed location transmitter. Performance test includes such as minimum transmission period check test, transmitter operation check test at maximum load, position deviation check test according to transmitter insertion condition, position deviation check test at same place, position accuracy check test, battery consumption current and duration check test, and the results were analyzed.

* First Author : Tongmyong University, Department of Electric, Electronic and Information Communication Engineering, peacedes@nate.com, 졸업(공학박사), 정회원

^o Corresponding Author : Tongmyong University, Department of Electronic & Biomedical Engineering, srkwon@tu.ac.kr, 정교수, 중신회원

* Tongmyong University, Department of Electric, Electronic and Information Communication Engineering, tuvshoo@naver.com, 학생(박사과정)

논문번호 : 202003-046-D-RN, Received March 3, 2020; Revised May 22, 2020; Accepted July 8, 2020

I. 서 론

중앙치매센터에 따르면 2018년 말 기준으로 치매 환자는 65세 이상 인구 738만 9400명의 10%를 넘는 75만 400여명이다. 2024년은 100만명, 2050년에는 300만 명을 넘을 것으로 추산된다^[1].

우리나라의 치매 인구는 2024년에 100만 명이 넘고, 2050년에 300만 명이 넘어설 것으로 예상되며, 2030년에는 생산가능 인구 100명이 치매노인 4명을 돌봐야 한다. 치매인구가 증가하면 필연적으로 치매관리 비용이 증가하게 되는데, 2018년 치매관리 비용은 15조 6,909억 원으로 1인당 2,100만원 꼴로 추산된다. 실증 치매환자 수도 매년 증가해 2013년 8207명에서 2016년 1만 308명 이후론 꾸준히 1만 명대를 유지한다^[2].

알츠하이머 병, 치매, 자폐증, 외상성 뇌 손상 또는 기타인지 기억 장애로 인해 발생할 수 있는 기억 장애 및 방황으로 고통 받는 수백만 명의 사람들을 돌보는 가족에게 마음의 평화를 제공하기 위해서는 효과적으로 피 보호자의 위치를 조회 및 추적할 수 있는 수단이 필요하다. 이를 위해 대표적인 국외 제품 개발 사례로 GPS Tracking Insoles^[3]가 소개되었고, 국내 시범사업으로 고양시의 ‘치매 안전망 구축을 위한 꼬까신 사업^[4]’이 소개되었다.

국내의 3G CDMA 통신망을 통한 제품 개발 사례로 ‘GPS 신발 가입자 위치관리 시스템^[5]’이 소개된 바 있다. 본 위치 관리 시스템은 신발 가입자의 위치 정보를 저장하고 있는 위치관리 서버^[6], 위치관리 서버에 접근하여 피보호자의 위치를 조회 및 추적하는 보호자 단말기^[7], GPS로부터 위치정보를 수신하여 위치관리 서버로 송출하는 위치정보 송신기^[8,9]로 구성되어 있다. 그 중에서도 위치정보 송신기는 GPS 신발 가입자 위치 관리 시스템의 성능을 결정짓는 주요한 요소가 된다^[10].

국내외적으로 소개된 제품 및 서비스의 경우 자체 한 제품 성능 제원 및 성능 평가 파라미터 도출 사례를 찾기 어려운 실정이라 관련 사항(예로 들면 인솔 아래의 플라스틱 재질의 밀폐된 공간에서 CDMA 이동통신 신호와 GPS 신호가 음영구역 없이 정상적으로 수신되어 동작되는지, 안테나의 길이에 문제가 없는지, 폼무게의 하중을 견딜 수 있는 지, 외부 노출환경에서와 마찬가지로의 GPS 신호 수신 성능을 유지하는지, 배터리 지속시간에는 문제가 없는지 등)을 파악하기 어려운 실정이다.

본 논문에서는 참고문헌 [7],[8]을 통해 기 개발된

소형 위치정보 송신기(이하 웨어러블 송신기로 표기)의 성능 제원 도출과 GPS 신발가입자 위치관리시스템의 평가 기반을 마련하기 위해 실제 개발된 신발 가입자 위치 관리 시스템의 연동 동작에서 웨어러블 송신기의 성능 시험 항목에 따라 성능을 측정하고 그 결과를 분석한다.

이를 위해 II장에서 시험 환경을 제시한다. III장에서는 II장에서 제시된 성능 시험 항목에 따라 성능 시험을 실시하고 그 결과를 분석한다. IV장에서는 결론을 맺는다.

II. 시험 환경^[8]

2.1 웨어러블 송신기

2.1.1 하드웨어 규격

웨어러블 송신기의 주요 하드웨어 규격은 표 1과 같다. Network는 SKT 이동통신사의 3G 이동통신망을 이용하였다. 이를 위해 WCDMA 모뎀을 사용하였다. WCDMA 모뎀 안테나는 엔피테크온(NPtechON)사의 2Watt의 파워 제어가 가능한 FPCB (Flexible PCB) 타입의 2.1GHz의 omni-direction 패턴을 사용하였다. WCDMA 모뎀 안테나의 주파수 대역은 1.9GHz~2.1GHz이고, 이득은 53.45% 이상이다.

GPS 수신기는 Maxim Integrated사의 제품을 사용하였다. GPS 수신기의 안테나는 엔피테크온사의 2Watt의 파워 제어가 가능한 FPCB 타입의 1.5GHz의 omni-direction 패턴을 사용하였다. GPS 수신기 안테나의 주파수 대역은 1.5GHz~1.6GHz이고, 이득은 78.86% 이상이다.

MCU는 TI(Texas Instrument)사의 Powerful

표 1. 송신기의 하드웨어 규격

Table 1. Hardware Specifications of the wearable transmitter.

Classification	Specifications
Network	SKT 3G (WCDMA 2.1GHz)
GNSS	GPS & GLONASS
Antenna	WCDMA 2.1GHz & GPS 1.5GHz Antenna
USIM	Nano USIM
Button	Power On/Off
MCU	Powerful ARM® Cortex®-M3
Sensor	3-Axes ACC Sensor
Battery	3.7V Li-Polymer Battery

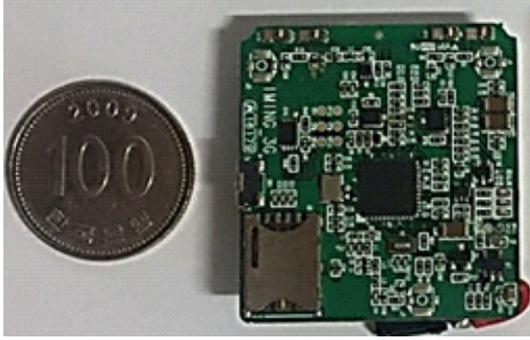


그림 1. 위치정보 송신기의 PCB 보드
Fig. 1. PCB board of a location information transmitter

ARM® Cortex®-M3를 사용하였고, 3축 가속도 센서는 Freescale Semiconductor사의 제품을 사용하였다. 시험에 사용된 웨어러블 송신기의 PCB 보드(38mm x 35mm x 12mm)는 그림 1과 같다. PCB 보드와 케이스까지 포함한 웨어러블 송신기의 무게는 35g이다.

2.1.2 소프트웨어 개발 환경

표 2는 송신기의 응용 프로그램을 개발하기 위한 소프트웨어 개발 환경을 나타낸다.

웨어러블 송신기의 응용 프로그램은 TI(Texas Instrument)사에서 개발한 CCS (Code Composer Studio) 툴과 실시간 멀티태스킹 커널(SYS/BIOS)의 RTOS(Real Time Operating System) 툴을 이용하여 C언어로 구현하였고 TI v5.2.7 컴파일러를 통해 컴파일 되었다. 운영체제는 TI사에서 출시한 TI-RTOS를 사용하였다.

위치관리 서버에서 위치정보를 수신하는 기능은 C#으로 구현하였고 MySQL 데이터베이스에 위치정보를 저장하도록 하였다.

표 2. 소프트웨어 개발 환경
Table 2. Software development environment.

Classification	Specifications
Operating System	TI-RTOS
IDE	CCS 6.1.0
SDK	cc26xx 2.01.00.44423
RTOS	tirtos_cc13xx_cc26xx
Compiler	TI v5.2.7
Language	C

2.2 위치관리 서버

위치관리 서버에서의 위치정보는 구글 맵을 통해



그림 2. 서버를 통한 위치정보 확인 과정
Fig. 2. Location check process on server.

확인 가능하며 확인 과정은 그림 2와 같다.

위치관리 서버에서 위치정보를 수신한 후(①) 체크섬 코드를 역변환해서 위치정보 오류가 있는지 확인한 후 DB에 저장하고(②) 위치정보를 구글맵 상에서 확인한다(③).

III. 성능 시험

3.1 시험 항목

본 시험의 목적은 GPS 신발가입자 위치관리시스템의 핵심 구성 요소인 소형 위치정보 전송기의 최적 설계 제원 도출과 GPS 신발가입자 위치관리시스템 평

표 3. 성능 시험 항목
Table 3. Performance test items.

Test Items	Details
Check minimum transmission period	3, 4, 5, and 10 seconds respectively
Transmitter operation at maximum load	Transmitter operation at maximum load
Check position deviation according to transmitter insertion condition	Insert into the midsole
	Expose to the outside
Check position deviation at same place	Comparison of positional deviations on the same 2D plane
	Comparison of positional deviations due to changes in height
Check positioning accuracy	Flat on campus
	Mountain entrance uphill
	Mountain road Alleyway
Battery current consumption	Receive GPS Information
	Send SMS
	Send Location information
Check battery duration	Sleep state
	Send every minute
	Send every 10 minutes

가기반 구축을 목표로 하고 있다.

이를 위해 도출된 웨어러블 송신기의 성능을 평가하기 위한 시험 항목은 표 3과 같다.

3.2 성능 시험 결과

표 3에서 도출된 성능 시험 항목에 따라 수행한 성능시험 결과는 다음과 같다.

3.2.1 최소 전송주기 확인 시험

가속도 센서를 통해 피보호자의 움직임을 감지할 때 40초 정도 지연시간이 소요된다. 이후 위치정보를 위치관리 서버에 전송할 경우에도 웨어러블 송신기와 서버 간을 연결하는 CDMA 이동통신망과 인터넷을 거치는 과정에서 망 연결에 따른 지연시간이 1~2초 소요된다. 이로 인해 위치정보 전송주기가 피보호자의 움직임 감지 후 망 접속 때까지의 지연 시간보다 빠를 경우 위치정보 유실의 문제가 발생한다.

최소 전송주기 확인 시험에서는 위치정보 유실이 발생하지 않는 전송주기의 임계값을 구하고자 한다. 동일 위치점에서 위치정보 전송주기를 달리하며 80회 위치정보를 위치관리 서버로 전송할 경우 위치정보 전송주기 변화에 따른 위치정보 손실률은 표 4와 같다.

본 시험 결과를 통해 웨어러블 송신기가 위치정보를 위치관리 서버로 전송할 경우 최소 5초 이상의 주기로 설정해야 함을 알 수 있다.

표 4. 전송주기 변화에 따른 위치정보 손실률
Table 4. Location information loss rate according to the change of transmission period.

Items (unit)	Period	3 sec	4 sec	5 sec	10 sec
Server connection (times)		80	80	80	80
Location information not received (times)		17	13	0	0
Loss rate of location information (%)		21	16	0	0

3.2.2 최대 하중시의 웨어러블 송신기 동작 확인 시험

웨어러블 송신기는 GPS 수신기와 CDMA 모듈이 내장되며 이를 위한 안테나가 부착되어 있다. 또한, 플라스틱 케이스로 밀폐되어 있는 상태에서 신발속의 미드 솔에 삽입되어 있다. 그 위에 성인 몸무게로 압력이 최대로 가해진 상태이며, 신발 깔창 아래의 미드 솔 중 몸무게가 바로 전달되어 하중이 가장 높은 부위인 후족부 아래에 위치하고 있다.

이는 웨어러블 송신기의 무선 환경에 악영향을 주기에 충분한 조건이므로 본 시험은 이 경우에서도 웨

num	shoes_id	date	utc_time	lat	lon	altitude	speed	batinfo	period
1006	01093668162	2017-07-17 15:12:07	15:12:39	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
1005	01093668162	2017-07-17 15:11:57	15:12:29	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
1004	01093668162	2017-07-17 15:11:47	15:12:19	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
1003	01093668162	2017-07-17 15:11:37	15:12:09	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
1002	01093668162	2017-07-17 15:11:27	15:11:58	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
1001	01093668162	2017-07-17 15:11:18	15:11:49	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
1000	01093668162	2017-07-17 15:11:07	15:11:39	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
999	01093668162	2017-07-17 15:10:57	15:11:29	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
998	01093668162	2017-07-17 15:10:47	15:11:19	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
997	01093668162	2017-07-17 15:10:37	15:11:09	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
996	01093668162	2017-07-17 15:10:27	15:10:59	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
995	01093668162	2017-07-17 15:10:17	15:10:49	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
994	01093668162	2017-07-17 15:10:08	15:10:39	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
993	01093668162	2017-07-17 15:09:57	15:10:29	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
992	01093668162	2017-07-17 15:09:47	15:10:19	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
991	01093668162	2017-07-17 15:09:37	15:10:09	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
990	01093668162	2017-07-17 15:09:27	15:09:59	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
989	01093668162	2017-07-17 15:09:18	15:09:50	35.1208	129.1028	-40.5	0	99	910
988	01093668162	2017-07-17 15:09:08	15:09:39	35.1208	129.1028	-40.6	0	99	910

그림 3. 위치 서버에 저장된 위치정보
Fig. 3. Information stored on the location server.

어러블 송신기가 정상적으로 작동하는지를 확인하기 위한 시험이다.

그림 3은 실내에서 하중이 가장 높은 오른 발 후족부의 인솔에 웨어러블 송신기를 삽입한 신발을 신고 일정시간 보행하였을 때 위치관리 서버에 저장된 정보를 나타낸다.

여기서, shoes_id는 가입자의 신발에 부여된 CDMA 전화번호, date는 위치정보가 위치관리 서버에 저장된 시간, utc_time은 GPS 수신기가 위성으로부터 신호를 수신한 시간, lat는 위도(latitude), lon은 경도(longitude), altitude는 고도, speed는 이동속도(km/h), batinfo는 배터리 잔류량, period는 위치정보를 서버로 송신하는 전송주기를 나타낸다(period 항에 표시된 910에서 '9'는 초 단위, '10'은 시간의 크기를 의미함).

그림 3을 살펴보면 위치정보가 위치관리 서버에 저장되는 시간은 지속적으로 증대되고 있으나 GPS 신호 수신 시간, 위도, 경도, 고도, 속도 값은 변화가 없다. 이는 웨어러블 송신기가 실내로 진입한 이후에는 GPS 신호가 수신되지 않아 이전에 저장된 GPS 신호 값을 송신 주기에 맞추어 위치관리 서버로 지속적으로 송신했기 때문이다.

따라서 본 시험 결과 웨어러블 송신기는 최대 하중이 가해진 조건에서도 정상 동작함을 알 수 있다.

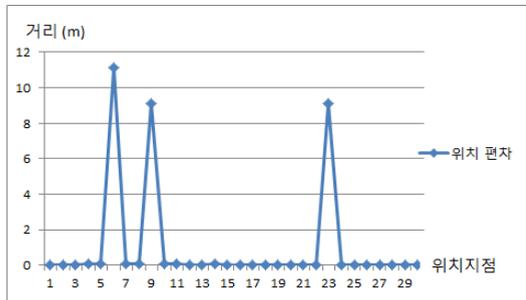
3.2.3 송신기 삽입 조건에 따른 위치편차 확인 시험

웨어러블 송신기를 동일 위치(동명대학교 캠퍼스 내 10m 간격의 30 지점)에서 그림 4 (a)와 같이 신발((주)제이드엠이 개발한 기능성 신발 시제품으로 실험 수행함)의 미드솔에 삽입한 경우와 그림 4 (b)와 같이 신발 밖 외부에 노출한 경우로 구분한 시험을 통해 위치 편차를 확인한다. 이때 웨어러블 송신기의 위치정

보 송신주기는 5초로 설정한다.

그림 4 (c)는 시험 조건에 따른 위치 편차 측정 결과이며, X 축은 위치 측정이 실시되는 위치점, Y 축은 구글맵의 기준 위치값에 대한 웨어러블 송신기로 측정된 위치값의 편차를 나타낸다.

두 가지 시험 조건에서 3곳을 제외한 27곳에서 거의 동일한 위치로 확인되어 90% 수준의 위치 정확도를 보였다. 편차가 높은 3곳 중 2곳은 약 9m, 한 곳은 약 11m의 편차가 있는 것으로 관찰되었다. 이는 주변 환경에 의해 형성된 GPS 신호의 다중경로의 영향으로 판단되며 간헐적으로 발생하는 이와 같은 오류는 소프트웨어적으로 필터링할 수 있을 것이다.



(c) 위치 편차 측정 시험 결과

그림 4. 위치 편차 확인을 위한 시험
Fig. 4. Test for Checking Position Deviation. (a) when inserted into the midsole, (b) when exposed to the outside, (c) Position deviation measurement result.

3.2.4 동일 장소에서의 위치편차 확인 시험

위성으로부터 수신된 데이터에는 위도, 경도, 고도가 포함된다. 웨어러블 송신기의 위치오차 수준을 판별하기 위해 동일한 2차원 평면상의 위치점에서 50회 수신된 위치정보로부터 위치편차와 동일 2차원 평면상의 위치에서 높이를 달리했을 경우 위치정보의 편차를 구하면 다음과 같다.

1) 동일 2차원 평면상의 위치편차 비교 시험

동일 2차원 평면상의 위치편차 측정 시험을 위해 웨어러블 송신기가 적용되는 실제 환경을 고려하여 폭이 3.8m~6.5m인 부산시 금정구의 한 골목길을 시험 장소로 선택하였다.

골목길의 중간 지점에서 미드솔에 웨어러블 송신기를 삽입한 신발을 신은 상태에서 전송주기를 10초로 설정하였을 경우 위치관리 서버에 수신된 50회의 위치정보는 그림 5와 같다.

그림 5의 네모 칸 안에 표시된 위치정보를 보면 위도와 경도 값에 대한 변화가 없고 고도 값만 0.1m~0.2m의 차이가 있음을 알 수 있다.

num	shoes_id	date	utc_time	lat	lon	altitude	speed	batinfo	period
3703	01093668162	2017-10-07 22:40:16	22:39:43	35.2162	129.1066	032.1	0	91	910
3704	01093668162	2017-10-07 22:40:36	22:40:03	35.2162	129.1066	032.1	0	91	910
3705	01093668162	2017-10-07 22:40:56	22:40:22	35.2162	129.1066	032.1	0	91	910
3706	01093668162	2017-10-07 22:41:16	22:40:42	35.2162	129.1066	032.1	0	91	910
3707	01093668162	2017-10-07 22:41:36	22:41:03	35.2162	129.1066	032.1	0	91	910
3708	01093668162	2017-10-07 22:41:56	22:41:23	35.2162	129.1066	032.1	0	91	910
3709	01093668162	2017-10-07 22:42:16	22:41:43	35.2162	129.1066	032.1	0	91	910
3710	01093668162	2017-10-07 22:42:26	22:41:52	35.2162	129.1066	032.1	0	91	910
3711	01093668162	2017-10-07 22:42:46	22:42:12	35.2162	129.1066	032.2	0	91	910
3712	01093668162	2017-10-07 22:43:06	22:42:32	35.2162	129.1066	031.2	0	91	910
3713	01093668162	2017-10-07 22:43:16	22:42:42	35.2162	129.1066	031.2	0	91	910
3714	01093668162	2017-10-07 22:43:26	22:42:52	35.2162	129.1066	031.2	0	91	910
3715	01093668162	2017-10-07 22:43:46	22:43:12	35.2162	129.1066	031.3	0	91	910
3716	01093668162	2017-10-07 22:44:06	22:43:33	35.2162	129.1066	031.3	0	91	910
3717	01093668162	2017-10-07 22:44:26	22:43:52	35.2162	129.1066	031.3	0	91	910
3718	01093668162	2017-10-07 22:44:46	22:44:13	35.2162	129.1066	031.3	0	91	910
3719	01093668162	2017-10-07 22:44:56	22:44:23	35.2162	129.1066	031.3	0	91	910
3720	01093668162	2017-10-07 22:45:16	22:44:43	35.2162	129.1066	031.3	0	91	910
3721	01093668162	2017-10-07 22:45:36	22:45:03	35.2162	129.1066	031.3	0	91	910
3722	01093668162	2017-10-07 22:45:56	22:45:24	35.2162	129.1066	031.3	0	91	910
3723	01093668162	2017-10-07 22:46:16	22:45:43	35.2162	129.1066	031.3	0	91	910
3724	01093668162	2017-10-07 22:46:36	22:46:03	35.2162	129.1066	031.3	0	91	910
3725	01093668162	2017-10-07 22:46:56	22:46:23	35.2162	129.1066	031.3	0	91	910
3726	01093668162	2017-10-07 22:47:16	22:46:43	35.2162	129.1066	031.3	0	90	910
3727	01093668162	2017-10-07 22:47:36	22:47:03	35.2162	129.1066	031.3	0	90	910
3728	01093668162	2017-10-07 22:47:56	22:47:23	35.2162	129.1066	031.3	0	90	910
3729	01093668162	2017-10-07 22:48:16	22:47:43	35.2162	129.1066	031.3	0	90	910

그림 5. 동일 2차원 평면에서 수신된 위치정보
Fig. 5. Location information received in the same 2D plane.

2) 높이 변화에 따른 위치편차 비교 시험

높이 변화에 따른 위치편차를 확인하기 위해 6 장소(동명대학교 도서관 앞 3곳, 산길 1곳, 골목길 2곳)를 선택하고 기준 위치값을 구글맵의 위치값으로 설정하여 웨어러블 송신기를 신발의 미드솔에 삽입한 상태에서 웨어러블 송신기와 아이폰 6+과 비교하였다.

그림 6은 웨어러블 송신기와 아이폰 6+를 이용한 높이 변화에 따른 위치편차 비교 시험 장면을 나타낸다.

6곳(1번부터 3번까지는 동명대학교 도서관 앞 3곳, 4번은 산길 1곳, 5번과 6번은 골목길 2곳에 해당됨)의 지상 0m 높이에서 측정된 위도와 경도 측정 시험 결과는 표 5와 같다.

표 5에서 측정된 위치와 동일한 6곳의 지상 1m 높이에서 측정된 위도와 경도 측정 시험 결과는 표 6과 같다.



(a) 지상 0 m 높이일 때 (b) 지상 1 m 높이일 때

그림 6. 높이 변화에 따른 위치 편차 시험
Fig. 6. Position deviation test by height change. (a) If height is 0 m, (b) If height is 1 m.

표 5. 지상 0m 높이에서의 위도 및 경도 측정 결과
Table 5. Latitude and longitude measurement results at 0m above ground.

번호	아이폰 6+		송신기		아이폰 6+ 오차 (m)	송신기 오차 (m)
	위도	경도	위도	경도		
1	35.120680	129.103082	35.1207	129.1032	17.81	11.78
2	35.121051	129.103223	35.1210	129.1033	15.02	11.25
3	35.121349	129.103490	35.1213	129.1034	6.66	5.13
4	35.120473	129.103829	35.1203	129.1037	16.52	13.56
5	35.216096	129.106751	35.2160	129.1067	2.52	14.10
6	35.215990	129.106913	35.2159	129.1069	4.32	13.24
Average Error					10.48	11.51

표 6. 지상 1m 높이에서의 위도 및 경도 측정 결과
Table 6. Latitude and longitude measurement results at 1 m above ground.

번호	아이폰 6+		송신기		아이폰 6+ 오차 (m)	송신기 오차 (m)
	위도	경도	위도	경도		
1	35.120737	129.103309	35.1207	129.1031	12.32	15.05
2	35.121132	129.103272	35.1211	129.1034	24.30	25.59
3	35.121388	129.103414	35.1213	129.1034	4.89	5.13
4	35.120470	129.103621	35.1206	129.1036	26.05	37.88
5	35.215974	129.106605	35.2160	129.1067	21.48	14.10
6	35.215915	129.106924	35.2159	129.1069	12.13	13.24
Average Error					16.86	18.50

표 5와 표 6을 통해 위치오차를 살펴보면 아이폰 6+는 지상 0m에서 2.52m~17.81m, 지상 1m에서 4.89m~26.05m 이었고, 웨어러블 송신기는 지상 0m에서 5.13m~14.1m, 지상 1m에서 5.13m~37.88m 이었으나 3, 5와 6번에서는 지상 0m와 지상 1m의 위치 오차가 동일하였다.

이를 요약해 보면 웨어러블 송신기와 아이폰 6+의 높이 변화에 따른 평균적인 위치편차는 지상 0m에서 1.03m, 지상 1m에서 1.64m로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

3.2.5 위치 정밀도 확인 시험

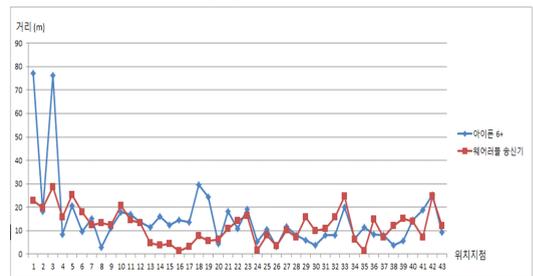
본 위치 정밀도 확인 시험에서는 웨어러블 송신기를 통해 측정된 위치와 아이폰 6+를 통해 측정된 위치를 구글맵을 통해 측정된 위치값과 비교하여 오차가 얼마인지 확인하고자 한다.

시험 환경으로는 위치측정 장소를 4가지 시나리오 (동명대학교 캠퍼스 내, 산입구 길, 산속 길과 골목길)로 구분하고, 인접 위치점간 거리는 8~10m, 송신기는 신발의 미드솔에 삽입 후 신발을 신은 상태, 아이폰 6+는 신발 옆에 위치한 상태로 시험을 진행한다.

그리고 위치정보 전송주기는 5초로 설정하고, 위치값은 웨어러블 송신기에서는 3회 반복 측정된 값 중 한 개를 선택하고, 아이폰 6+에서는 1회 측정된 값으로 한다. 웨어러블 송신기와 아이폰 6+를 이용해 제시된 4가지 시나리오별로 위치를 측정된 위치값을 기준 위치값(구글맵 위치값)과 비교한 결과는 다음과 같다.



(a) 위치 오차 측정 환경



(b) 위치 오차 비교 결과

그림 7. 캠퍼스 내 평지에서의 위치 정밀도 시험
Fig. 7. Positioning accuracy test on campus plats. (a) location error measurement environment, (b) location error comparison result.

1) 캠퍼스 내 평지

동명대학교 캠퍼스 내 44 곳 평지(거리 폭: 8.5m~24m) 에서 아이폰 6+와 웨어러블 송신기를 그림 7 (a)와 같이 지상에 배치하여 위치값을 측정한 후 기준 위치값과 비교한 결과는 그림 7 (b)와 같다.

그림 7 (b)에서 X 축은 위치 측정이 실시되는 위치 점, Y 축은 기준 위치값에 대한 웨어러블 송신기 또는 아이폰 6+로 측정한 위치오차를 나타낸다.

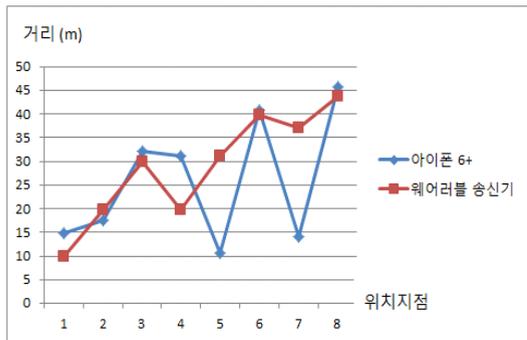
동명대학교 캠퍼스 내 평지에서 웨어러블 송신기와 아이폰 6+에서 측정한 위치는 기준위치에 비해 최대 오차는 각각 28.55m, 77.19m이고, 평균 오차는 각각 12.04m, 15.33m임을 알 수 있다. 따라서 웨어러블 송신기가 아이폰 6+보다 최대 오차는 48.64m, 평균 오차는 3.29m 작은 것으로 나타나 신뢰성이 높음을 알 수 있다.

2) 산 입구 오르막 길

동명대학교에서 동명불원으로 향하는 그림 8 (a)와 같은 산 입구 오르막길에서 총 8 곳의 위치점(거리 폭



(a) 위치 오차 측정 환경



(b) 위치 오차 비교 결과

그림 8. 산 입구 오르막길에서의 위치 정밀도 시험
Fig. 8. Positioning accuracy test on mountain entrance uphill. (a) location error measurement environment, (b) location error comparison result.

이 7m이고 지점 간 간격은 10m)에서 웨어러블 송신기와 아이폰 6+를 이용해 위치를 측정한 후 기준 위치와 비교한 결과는 그림 8 (b)와 같다.

그림 8 (b)를 살펴보면 산 입구 오르막길에서 웨어러블 송신기와 아이폰 6+에서 측정한 위치는 기준위치에 비해 오차 범위는 각각 9.88m~43.84m와 9.83m~45.82m이다. 웨어러블 송신기는 5번 이상의 위치점에서, 아이폰 6+는 3번, 4번, 6번, 8번 위치점에서 위치오차가 31m 이상이다.

웨어러블 송신기와 아이폰 6+에서 측정한 위치는 기준위치에 비해 최대 오차는 각각 43.84m, 45.82m이고, 평균 오차는 각각 28.89m, 25.88m이다. 따라서 웨어러블 송신기가 아이폰 6+보다 최대 오차는 1.98m 작고, 평균 오차는 3.01m 큰 것을 알 수 있다.

그러나 산 입구 오르막길의 특성을 살펴볼 때 1번에서 8번까지의 위치점으로 향할수록 나뭇가지로 인해 GPS 신호 수신에 영향을 받게 되고 제일 높은 지점(8번) 옆에는 건물이 있어 비교적 점차적으로 위치오차가 증가하는 웨어러블 송신기의 측정결과가 증가와 감소를 반복하는 아이폰 6+의 측정결과에 비해 신뢰성이 더 높은 것으로 판단된다.

3) 산속 길

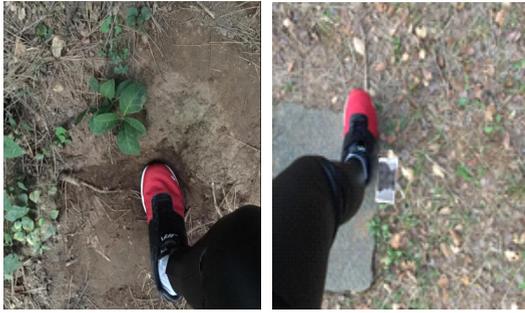
동명대학교 도서관 뒤에 위치한 그림 9 (a)와 같은 산속 길에서 10m 간격으로 총 10 곳의 위치점(거리 폭이 40cm, 나무로 산입구 길보다 모든 보행길이 나무로 가려진 환경)에서 측정한 위치오차는 그림 9 (b)와 같다.

그림 9 (b)를 살펴보면 산속 길에서 웨어러블 송신기와 아이폰 6+에서 측정한 위치는 기준위치에 비해 오차 범위는 각각 8.98m~29.44m와 8.31m~32.22m이다. 웨어러블 송신기는 1과 4번 위치점에서, 아이폰 6+는 2번~5번 위치점에서 위치오차가 20m 이상이다.

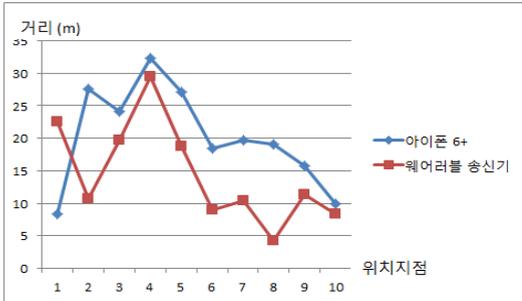
웨어러블 송신기는 5번~10번까지의 위치점에서, 아이폰 6+는 3, 4, 6과 8번 위치점에서 위치오차가 31m 이상이다.

웨어러블 송신기와 아이폰 6+에서 측정한 위치는 기준위치에 비해 최대 오차는 각각 29.44m, 32.22m이고, 평균 오차는 각각 14.45m, 20.26m이다.

따라서 웨어러블 송신기가 아이폰 6+보다 최대 오차는 2.78m 작고, 평균 오차는 5.81m 작은 것으로 나타나 신뢰성이 더욱 높음을 알 수 있다.



(a) 위치 오차 측정 환경



(b) 위치 오차 비교 결과

그림 9. 산속 길에서의 위치 정밀도 시험
Fig. 9. Positioning accuracy test on mountain road. (a) location error measurement environment, (b) location error comparison result.

4) 골목 길

부산시 금정구에 위치한 그림 10 (a)와 같은 골목길에서 10m 간격으로 총 37 곳의 위치점(거리 폭: 0.94m~7.5m, 대부분 3.8m)에서 측정한 위치오차는 그림 10 (b)와 같다.

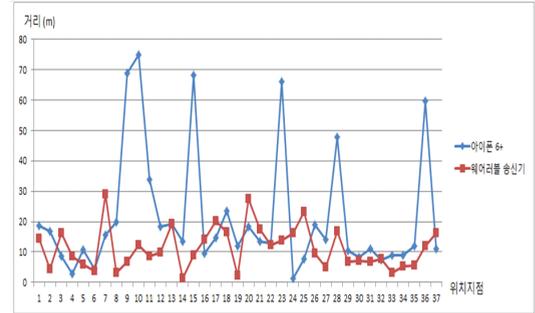
그림 10 (b)를 살펴보면 골목길, 단독주택과 빌라 또는 아파트가 밀집된 공간으로 좁은 길과 담으로 인해 GPS 신호 수신 환경이 열악한 환경에서 웨어러블 송신기와 아이폰 6+에서 측정한 위치는 기준위치에 비해 오차 범위는 각각 1.15m~28.9m와 2.81m~74.85m이다. 웨어러블 송신기는 7, 13, 20, 25 번 위치점에서 위치오차가 19m 이상이고, 아이폰 6+는 9, 10, 15, 23, 36번 위치점에서 위치오차가 59m 이상이다.

웨어러블 송신기와 아이폰 6+에서 측정한 위치는 기준위치에 비해 최대 오차는 각각 28.9m, 74.85m이고, 평균 오차는 각각 11.27m, 21.4m이다.

따라서 웨어러블 송신기가 아이폰 6+보다 최대 오차는 45.95m 작고, 평균 오차는 10.13m 작은 것으로 나타나 신뢰성이 더욱 높음을 알 수 있다.



(a) 위치 오차 측정 환경



(b) 위치 오차 비교 결과

그림 10. 골목길에서의 위치 정밀도 확인 시험
Fig. 10. Positioning accuracy test on alleyway. (a) location error measurement environment, (b) location error comparison result.

3.2.6 배터리 소비 전류 확인 시험

웨어러블 송신기가 동작하는 조건에 따라 DC 전원 공급 시 소비 전류량을 측정한 시험 결과는 표 7과 같다.

표 7을 살펴보면 배터리 전원만 켜진 상태인 Idle 상태보다 최대값을 기준으로 할 때 GPS 정보 수신시는 7.5배, SMS 문자 전송시는 18배, CDMA 모뎀을 통해 위치관리 서버로 위치정보 전송시는 28배 높음을 알 수 있다. 따라서 배터리 지속시간을 늘리려면 웨어러블 송신기에서 위치관리 서버로 위치정보를 보내는 시간 간격을 최대한 늘려야 함을 알 수 있다.

표 7. 송신기 동작조건에 따른 소비 전류
Table 7. Current consumption according to transmitter operating conditions.

Idle	Receive GPS Information	Send SMS	Send Location information
5~10 mA	70~75 mA	175~180 mA	275~280 mA

3.2.7 배터리 지속 시간 확인 시험

웨어러블 송신기의 배터리 지속시간은 송신기의 성능 평가에서 주요한 요소이다. 배터리 지속시간 확인 시험에서는 웨어러블 송신기를 100% 충전한 상태에서 위치정보 전송주기에 따라 3가지 조건으로 구분하여 배터리 지속시간 확인 시험을 수행하였으며 시

표 8. 전송주기별 배터리 지속시간
Table 8. Battery duration according to location information transmission period with server.

Condition	Sleep state	Send every minute
Battery duration	60 hours	1.5 hours

험 결과를 조건별로 정리하면 표 8과 같다.
조건은 위치정보 갱신 및 서버 연동 행위를 수행하지 않는 조건인 sleep 상태, 웨어러블 송신기의 움직임 여부와 상관없이 GPS 위치정보를 1초 간격으로 수신해서 위치관리 서버로 1분 간격 또는 5분 간격으로 전송할 경우로 구분하였다.
배터리 지속시간은 CDMA 통신에서 소모되는 전력에 가장 큰 영향을 받는다. 일반적으로 신발을 신은 피보호자는 실내에서 머무를 경우가 GPS 정보가 수신되는 실외 환경에 노출되는 경우 보다 많다. 실제 서비스 환경에서는 웨어러블 송신기는 실내 환경으로 판단되면 위치관리 서버로 위치정보를 보내지 않고 이전에 저장된 위치정보를 유지하기 때문에 배터리 소모 전력을 최소화 할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 웨어러블 송신기의 성능시험 및 그 결과에 대해 고찰하였다.
웨어러블 송신기의 성능 시험 항목별 시험 결과를 요약하면 다음과 같다.
최소 전송주기 확인 시험 결과 웨어러블 송신기가 위치정보를 위치관리 서버로 전송할 경우 최소 5초 이상의 전송주기를 설정해야 함을 확인하였다.
최대 하중시의 웨어러블 송신기 동작 확인 시험 결과 송신기를 신발의 후족부의 미드솔에 삽입 후 신체 하중을 가할 경우에도 정상동작에 문제가 없음을 확인하였고, 송신기 삽입 조건(인솔 삽입시, 외부 노출시)에 따른 위치편차 확인 시험 결과 90% 수준으로 위치 정확도를 보였다.
동일 2차원 평면상의 장소에서 50회 위치편차 확인 시험을 반복한 결과 50회 모두 위도와 경도 값은 동일하나 고도 값만 일부 구간에서 0.1~0.2m 차이가 있었다.
높이 변화에 따른 위치편차는 웨어러블 송신기와 아이폰 6+ 간 큰 차이가 없었고, 구글 맵을 기준으로 한 위치 정밀도 시험 결과는 웨어러블 송신기의 위치 정밀도가 아이폰 6+보다 캠퍼스 내 44개 평지에서 27.3%로 개선, 산입구 길에서 10.4% 미달, 산속 길에서 40%로 개선, 골목길에서 90%로 개선되어 이를 중

합하면 36.7% 향상됨을 알 수 있었다.
배터리 소비 전류 및 지속 시간 확인 시험 결과 배터리 소비 전류는 Idle 상태일 경우 5~10mA로 최소이고, 위치관리 서버로 위치정보를 전송할 경우는 이보다 최대 50배 이상인 275~280mA로 관찰되었다. 그리고 배터리 지속시간은 Sleep 상태, 전송주기 1분, 전송주기 5분으로 구분시 각각 60시간, 1시간 30분, 16시간 15분으로 나타났다. 실제 서비스 적용시의 배터리 지속시간은 실외에서 이동시에만 위치정보를 위치관리 서버로 전송하는 특성으로 인해 5분 전송 주기를 기준으로 할 때 1일 이상 지속할 것으로 보이며 전송주기를 늘릴수록 배터리 지속시간은 늘어 날 것으로 생각된다.
개발된 웨어러블 송신기는 저렴한 요금정책에 맞추어 이동통신 접속 망을 3G에 맞추어 개발되었으나 신규 3G 사업 규제에 따라 사업화가 어려운 문제점이 있었다. 3G CDMA 모델 대신 4G 또는 5G 모델을 적용하면 이 문제는 해결될 수 있을 것이다. 이의 개발과 성능 평가는 추후과제로 남겨두고자 한다.

References

- [1] *Dementia is a social problem*, http://news.khan.co.kr/kh_news/khan_art_view.html?artid=201908211713001&code=620100(accessed Feb. 29, 2020).
- [2] <https://cafe.naver.com/nassan/148113>(accessed Feb. 29, 2020).
- [3] *GPS Tracking Insoles to Track Location of People with Dementia*, <https://www.wearable-technologies.com/2018/08/gps-tracking-insoles-to-track-location-of-people-with-dementia/>(accessed Feb. 29, 2020).
- [4] *GPS mounted on the sole of the shoe “Don’t worry about missing old people with dementia,”* <https://www.hankookilbo.com/News/Read/201901270902376616> (accessed Feb. 29, 2020).
- [5] S. R. Kwon, E. Z. Myagmar, S. H. Lim, C. Y. Woo, and G. H. Kim, “Location management system for the socially disadvantaged using wearable device shoes,” *Int. J. Multimedia Ubiquitous Eng.*, vol. 11, no. 11, pp. 36-39, Nov. 2016.
- [6] E. Z. Myagmar, E. T. Myagmar, and S. R. Kwon, “Design and implementation of server

of location management system for GPS shoes subscriber,” in *Proc. Summer Conf. IEIE*, pp. 533-534, Jun. 2016.

- [7] S. H. Lim, C. Y. Woo, and S. R. Kwon, “Development of guardian terminal software of location management system for GPS shoes subscriber,” in *Proc. Summer Conf. KICS*, pp. 1203-1204, Jun. 2016.
- [8] E. Z. Myagmar, J. Y. Jeon, and S. R. Kwon, “Development of a small sized location information transmitter integrated with GPS receiver and CDMA modem,” in *Proc. Summer Conf. KICS*, p. 1377, Jun. 2017.
- [9] E. Z. Myagmar, J. Y. Jeon, and S. R. Kwon, “Design and implementation of small sized location information transmitter for GPS shoes,” *J. KICS*, vol. 42, no. 11, pp. 2180-2189, Nov. 2017.
- [10] E. Z. Myagmar, “Path deviation monitoring using small sized wearable transmitter,” Ph.D. dissertation of Tongmyong University, 2018.

막마르 엔흐자야 (Enkh-zaya Myagmar)



2007년 6월 : 몽골 후레정통신
대학교 전자공학과 졸업
2010년 2월 : 동명대학교 정보
보통신공학과 석사
2018년 2월 : 동명대학교 전기
전자정보통신공학과 졸업(공
학박사)

<관심분야> 위치기반서비스, 센서네트워크, 홈네트
워크, 이동통신시스템

막마르 엔흐툽신 (Enkh-tuvshin Myagmar)



2015년 6월 : 동명대학교 경영
정보학과 졸업(학사)
2019년 2월 : 동명대학교 전기
전자정보통신공학과 졸업(공
학석사)
2019년 9월~현재 : 동명대학교
전기전자정보통신공학과 박
사과정 재학중

<관심분야> 위치기반서비스, 센서네트워크, 홈네트
워크, 이동통신시스템

권 순 량 (Soon-ryang Kwon)



1982년 2월 : 동아대학교 전자
공학과 졸업 (공학사)
1984년 2월 : 부산대학교 전자
공학과 졸업 (공학석사)
1999년 9월 : 충남대학교 전자
공학과 졸업 (공학박사)
1984년 3월~1999년 8월 : 한국
전자통신연구원 책임연구원

1999년 9월~현재 : 동명대학교 전자및의용공학부 교
수

<관심분야> 위치기반서비스, 센서네트워크, 홈네트
워크, 이동통신시스템, ITS