

도로포장 및 교량 유지보수 현장에서 RTLS를 활용한 다중 노무자의 안전관리 시스템 개발

송기일* · 임진선**

Development of Safety Management System of Multi-Laborers Using RTLS in the Pavement and Bridge Construction Field

Ki-Il Song* and Jin-Sun Lim**

접수일자: 2016년 6월 22일/심사완료일: 2016년 6월 28일/게재일자: 2016년 6월 30일

요약 도로포장 및 교량 유지보수 현장에서 노무자의 안전을 관리할 수 있도록 실시간 위치정보 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 다중의 노무자들의 실시간 위치 탐색, 이동 이력, 행동 특성을 확인할 수 있다. 이 시스템은 저전력 블루투스 및 지그비 통신시스템으로 구성되었다. RSSI를 이용한 삼각측량으로 위치 인식을 하는 과거의 방법은 매우 큰 오차를 가진다. 때문에 본 연구는 가속도계와 RSSI를 이용한 새로운 거리측정 방법 및 보정 방안을 제시하였다. 도로포장 및 교량 유지보수 현장에서 개발한 시스템의 오차를 평가한 결과 0.2 m~0.4 m의 오차를 나타내었다. 그리고 가속도 이력을 판별하여 통해 노무자의 안전 상황에 대한 판별이 가능함을 확인하였다.

핵심용어 도로포장, 교량, 유지보수, 실시간위치정보시스템, 라디오주파수강도, 가속도계

ABSTRACT Real time location system was development for safety management at road and bridge maintenance field. The system can check the real-time location detection, movement history, behavior of a number of laborers. The system consisted of Bluetooth and ZigBee that uses low-power. It had a very large error that the previous method for the position recognition by triangulation using the RSSI. Because This study proposed a new distance measurement and correction scheme using RSSI and accelerometer. It was evaluated in the maintenance field. A development system were evaluated in the field, the results are shown an error between 0.2 m and 0.4 m. And through the acceleration of history it was confirmed by determining possible to determine the safety situation of the laborers.

KEYWORDS Pavement, Bridge, Maintenance, RTLS, RSSI, Accelerometer

1. 서 론

국내의 사회기반 시설 중 가장 기반이 되는 도로는 점점 노후화 되고 있어 지속적인 유지보수가 수행되고 있으며, 일부 시설은 신설에 준하는 개량사업이 진행되고 있다. 이중 특히 포장의 유지보수는 매우 빈번하게 수행되고 있으나, 유지보수 이후 조속한 교통개방이 필요한 이유로 야간에 시간 및 공간이 충분하지 않은 조건에서 다양한 공정을 가

지는 공사가 진행되어 효율적인 인력의 관리가 용이하지 않고, 노무자의 안전관리 또한 쉽지 않아 이에 대한 효율적인 체계가 필요 시 되고 있다. 최근 들어 노무자의 인력 및 안전 관리 문제를 해결하기 위해 다양한 시도가 있으며, 특히 IT 및 센서기술을 건설 분야에 적용하여 현장의 자재, 장비 혹은 인력을 효율적으로 관리하는 방안이 활발하게 연구되고 있다(Kim et al., 2011).

RTLS(Real Time Location System)기술은 관리하고자 하는

*인하대학교 사회인프라공학과 부교수(Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Inha University)

** (주)삼우아이엠씨 기술연구소 선임연구원(Samwool IMC, CO., LTD, R&D center, Senior Researcher, E-mail: jslim@samwoolimc.com)

물체(혹은 사람) RFID(Radio Frequency Identification) 태그를 부착하여 이에 대한 위치정보를 관리하고 실시간으로 모니터링 할 수 있는 시스템이다. 건설현장의 경우 복잡하고 다양한 공간, 자재 및 장비들이 산재하여 열린 공간에서만 활용 가능하고 비교적 거리오차가 큰 GPS 무선통신이 불가능하여 RTLS를 활용하려는 시도가 다양하게 시도되고 있다.

Park et al. (2009)는 건설현장용 RTLS 구축을 위해 다양한 환경의 현장에서 이에 대한 기초적 평가를 수행하였다. Kim et al. (2011)는 터널현장에 Wifi 무선통신 기반의 RTLS를 구축하여 노무자의 안전관리시스템을 개발하기 위해 단일 태그에 대한 위치를 추적하여 활용가능 성을 평가하였다. Lee et al. (2013)는 건축 현장에 CSS (Chirp Spread Spectrum) 기반 RTLS를 실내 및 실외에서 적용하여 그 활용 가능성을 평가하였다. 하지만 위의 대부분의 연구는 건설현장에서 단일 센서 기반의 RTLS에 대하여 현장 적용성을 평가하는 수준이었으며, 멀티 태그 즉 여러 명의 노무자에 대한 실시간 위치탐색 및 행동패턴에 관한 연구까지는 진행되지 못하였다.

본 연구는 도로 및 교량 포장의 유지보수 시 여러 명의 노무자의 행동 패턴을 동시에 실시간으로 모니터링하고 안전 여부를 평가할 수 있는 연구용도의 RTLS를 구축하기, 적절한 센서 등의 하드웨어의 구축, 위치결정방법의 개선, 행동패턴의 판단 등에 대한 연구를 수행하였다.

2. RTLS의 구축

RTLS를 이용하여 유지보수 현장에서의 노무자의 노무 관리 및 안전관리를 위한 최적의 시스템을 결정하기 위해 기존의 무선 네트워크 기술에 대한 조사를 하였다. 그리고 이를 기반으로 본 연구의 목적에 맞게 시스템을 구성하였다.

2.1 무선 네트워크 및 RTLS 기술 개요

무선 네트워크는 대표적으로 Wifi, Bluetooth, Zigbee,

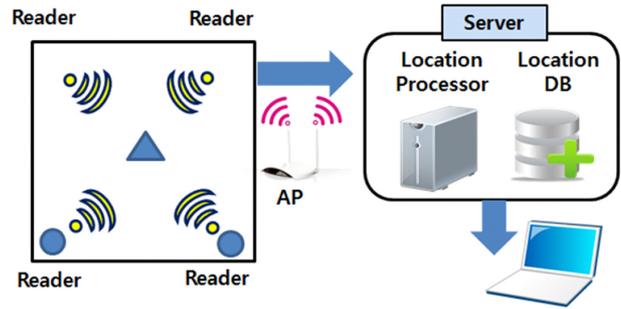


Fig. 1. Schematic diagram of RTLS

UWB등의 방법이 있으며, RTLS를 구성하는데 있어서 각각의 특성을 파악하는 것은 무엇보다 중요하다. 다음 Table 1은 무선 네트워크 기술의 특징을 비교한 것이다(Lee et al. 2009). RTLS는 이와 같은 무선 네트워크 기술을 기반으로 하여 다음 Fig. 1과 같이 구성된다. 사물 혹은 사람에게 부여된 태그가(태그) 일정 주기로 리더기(이하 고정노드)에게 자신의 ID 및 위치 등의 정보를 전송하면 고정노드가 이를 수신하여 서버로 신호를 송신한다. 서버는 수집된 고정노드로 부터 수집된 각 태그에 대한 정보를 기반으로 응용 프로그램으로 위치 등의 정보를 처리하여 D/B에 저장 및 관리하고 응용프로그램을 통해 다양한 기기에 그 결과를 송출한다(권순량 외 2007).

2.2 개발 시스템의 구성

Table 1과 같이, 무선 네트워크의 특성을 살펴보면 Wifi의 경우 최대 전송거리가 가장 긴 반면에 전력의 소비량이 매우 커서 배터리를 통한 시스템의 구축이 쉽지 않다. Bluetooth 방법은 최대전송거리가 가장 적은 반면에 가정 전력의 소모가 적은 수준이었다. Zigbee의 경우 전송속도가 매우 느려 많은 량의 정보를 전달하기에는 한계가 있지만, 최대전송거리 및 전력의 소비 측면이 우수하였고 격자를 구성하여 네트워크 구축 측면에서 우수한 특징을 가지고 있다. UWB는 데이터 전송속도가 가장 빠른 방법이지만 전송거리가 길지 못하며 가장 고가의 장비이다.

Table 1. Comparison of wireless network technologies

| Contents | Wifi | Bluetooth | Zigbee | UWB |
|---------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Frequency Band, Ghz | 2.4 / 5 | 2.4 | 868/915 (MHz) 2.4 | 3.1~10.6 |
| Max. transfer rate, Mbps | 11~54 | 1 | 0.25 | 480 |
| Max. transfer distance, m | 100 | 10 | 10~75 | 20 |
| Power Consumption, mW | 800~1600 | 50 / 80 | 1/75 | ~200 |
| Network Configuration | P2P, Star | P2P, Star, Adhoc | P2P, Star, Mesh | P2P, Mesh |
| Standardization | IEEE 802.11 WiFi Alliance | IEEE 802.15.1 Bluetooth SIG | IEEE 802.15.4 Zigbee Alliance | IEEE 802.15.3a WiMedia Alliance |

위와 같이 장기간 대규모로 비용적인 측면을 고려하지 않을 경우 위 무선 통신 방법 중 성능이 출중한 방법을 선택하여 RTLS 통신시스템을 구축할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 태그 및 고정 노드의 전력 사용을 최소화 하고 연구차원의 목적으로 고정 노드이 이동 및 설치가 자유로운 시스템을 구축하기 위해 태그와 고정 노드의 무선 통신은 Bluetooth로 구성하였다. 또한 Bluetooth 방법은 여러 가지 센서 신호를 통합적으로 보내기도 기술적으로 수월하다. 위치정보의 데이터 크기는 음성 및 동영상 파일에 비하여 그리 크지 않은 관계로 은 몇 고정 노드에서 서버로 정보를 보내는 게이트웨이 통신 시스템은 네트워크 확장성이 비교적 좋은 Zigbee로 구성하였다.

3. 위치추적 방법 개발

기존 RSSI만을 이용하여 위치를 추정하는 방법은 다소 큰 오류를 포함 하고 있어 이에 대한 개선이 필요하다. 본 연구는 가속도계를 같이 사용하여 이를 해결하는 방법을 제안하였다.

3.1 RSSI 위치추적 방법

RSSI (Received Signal Strength Indication)는 무선통신에서 수신된 신호의 강도 지표로 거리측정 알고리즘에서 주된 매개변수이다. 이론적으로 라디오 신호의 강도는 거리의 제곱에 반비례하고, RSSI는 라디오 신호 강도를 임의로 정한 기준에 Log로 비례한 단위로 표현가능하다(Oskar, 2014; Yoon 2015).

이렇게 RSSI는 신호강도로부터 거리를 추정할 수 있으며, 이론적으로 Fig. 2와 같이 3개의 고정된 위치에서 알고

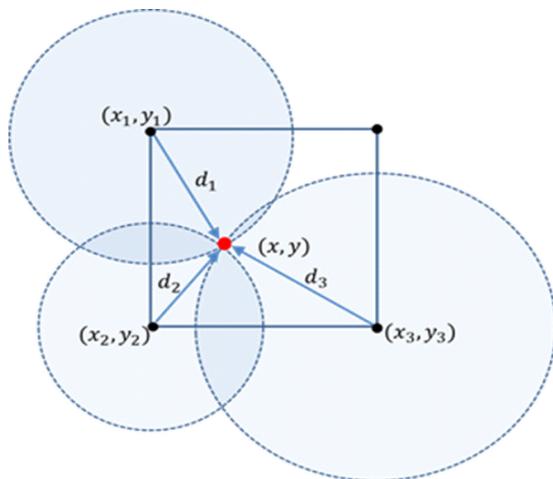


Fig. 2. Triangulation method in RTLS

자하는 특정 위치의 거리를 산정하는 3각 측량법을 이용하여 그 위치를 결정할 수 있다.

하지만 RSSI는 라디오 안테나의 방향 및 각도, 송수신 기간에 장애물, 전파방해 등에 매우 민감한 영향을 받아 위치추정에 많은 오차를 가지게 되며, 실제 수신 신호는 다음 식 (1)과 같이 오차를 가지게 된다. 실시간으로 움직이는 이동 태그의 위치를 지속적으로 추적할 경우 오차가 누적되어 위치추적이 쉽지 않다(Noh and Lee, 2010; Kim et al. 2012).

$$\begin{aligned} (x-x_1)^2+(y-y_1)^2 &= d_1^2-er_1 \\ (x-x_2)^2+(y-y_2)^2 &= d_2^2-er_2 \\ (x-x_3)^2+(y-y_3)^2 &= d_3^2-er_3 \end{aligned} \tag{1}$$

3.2 가속도계를 이용한 위치추적

3축 가속도계는 3축 중 2축이 중력방향과 수직이며 1축이 중력방향일 경우 1G (=9.8 m/s²)가 계측된다. 하지만 중력 가속도 방향과 일치하지 않는다면 출력이 변화하여 위치를 추정하는데 있어 오류를 발생시키는 한 원인이 된다. 태그의 이동이 없는 경우를 기준으로 합성가속도 중에서 중력에 의한 가속도와 순수 이동가속도를 분리할 수 있으며, 이를 통해 이동거리를 추정의 오차를 보다 저하 시킬 수 있다 (Yeom et al., 2009).

3축 가속도의 X, Y, Z방향의 가속도를 a_x, a_y, a_z 라고 하고, Z축이 중력방향을 가리킨다고 가정하자. Y축을 기준으로 회전한 각도는 θ_y 라 할 때 식 (2)와 같고, 중력가속도 영향을 제거한 가속도 a_{xz} 는 다음 식 (3)과 같다.

$$\theta_y = 90 - \cos^{-1}(a_x/1G) \tag{2}$$

$$a_{xz} = \sqrt{(a_x - 1G \times \sin \theta_y)^2 + (a_z - 1G \times \sin \theta_y)^2} \tag{3}$$

가속도 a_{xz} 와 수평방향과의 각으로부터 중력으로 인한 진행방향의 가속도 a_{Hx} 는 다음 식 (4)과 같다.

$$a_{Hx} = \cos\left(\theta_y - \cos^{-1}\left(\frac{a_x - G \times \sin \theta_y}{a_{xz}}\right)\right) \times a_{xz} \tag{4}$$

그리고 이를 통해 x축 방향의 순수 이동 가속도는 다음 식 (5)와 같으며 y축 방향의 순수 이동 가속도도 동일하게 구할 수 있다.

$$a_{mhx} = a_x \theta_y - a_{Hx} \tag{5}$$

위와 같은 중력영향이 배제된 x축 및 y축의 순수 이동 가속도를 각각 시간에 대하여 2중 적분하면 결국 각 방향의 이동 거리와 이동 각을 구할 수 있다. 또한 수직방향의 이

동이 있을 경우에도 이에 대한 위치 추적이 가능하다.

3.3 위치추적 방법의 개선

본 연구에서 노무자 위치를 추적하기 위해 사용한 이동식 태그는 평균 20 Hz로 20개 정도의 다중의 태그에서 송출하는 신호를 각각 읽어 들일 경우 약 대략 2초 정도의 시간이 지연되게 된다. 장기간의 노무관리라는 관점에서는 이러한 지연은 큰 의미가 없지만 안전 및 긴급 상황에서의 2초라는 시간은 매우 큰 의미가 있다.

본 연구에서는 4개의 고정 노드를 기반으로 각 고정 노드가 0.5초 간격으로 시간차를 두며 스캔 하여 이동식 노드를 순차적으로 스캔 하는 방법을 적용하였다. 그리고 이 방법을 적용하기에 앞서 RSSI 신호의 오류로 인한 데이터 오류를 최소화하기 위해 최대 이동 가능 거리(Max Allowable Movement Distance 이하 MAMD)를 측위 시스템에 적용하였다. 본 연구에서 정의한 MAMD란 건설현장의 노무자가 단위 시간 동안 최대로 움직일 수 있는 절대적 거리를 의미한다. 또한 MAMD는 단위 시간에 영향을 받기 때문에 고정 노드의 스캔시간이 짧을수록 보다 거리 측정에 대한 오류를 줄일 수 있다. 터널 및 지하 건설공간은 외부의 평지에서 보다 이동이 보다 수월하지가 않은 이유로 초당 0.5 m 이상의 속도로 움직이지 않는다고 가정하였고, 0.5초 간격에서 MAMD 거리는 0.25 m로 간주하였다.

다음 Fig. 3은 4개의 노드가 0.5초 간격으로 RSSI, 가속도 센서 그리고 MAMD를 이용하여 위치를 찾는 개념을 도시한 것이다. 초기에 이동식 태그를 위치정보가 정확한 위치에 놓고 충분한 초기 셋팅을 수행한 후 4개의 고정 노드가 0.5초 간격으로 각각 RSSI 신호를 감지하여 거리 d_n 를 추정한다.

그리고 $n-1$ 회에서 붉은점의 위치가 n 에서 푸른색 삼각형의

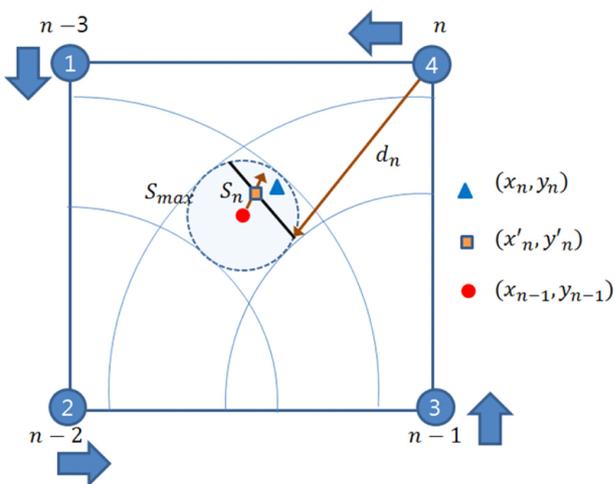


Fig. 3. Method of location tracking

위치로 이동하였다고 가정할 때, 을 원의 중심으로 하고 MAMD를 반지름으로 하는 원과 고정노드 4위치를 기준으로 n 에서 RSSI를 통해 태그의 위치를 얻어 반원을 그린 것을 비교하여 서로 만날 경우 Fig. 3의 사각형의 위치와 같이 최적의 해를 결정하고, 서로 만나지 않을 경우 가속도 센서만으로 위치를 결정하여 데이터베이스를 업데이트 한다.

4. 안전관리 시스템 개발

기존 RTLS는 태그의 위치 정보를 찾는 수준에서 그쳤지만, 본 연구에서는 위치 정보 및 센서로부터 얻은 자료를 기반으로 노무자의 안전여부를 판별하는 방법을 제시하였다.

4.1 격자를 이용한 위험구역

도로 및 교면 유지보수 현장의 경우 전 차로를 막고 공사를 수행하는 경우보다는 특정 차로를 교통차단하고 해당 차로에서 보수작업을 수행한다. 때문에 노무자들이 작업 공간을 벗어 날 경우 교통사고에 매우 취약할 수 있다.

본 연구는 RTLS 시스템으로 위치를 추적하는데 있어 고정노드를 기준으로 격자를 가로 세로 1 m 간격으로 구성하였고, 각 격자의 중심점에 가상 기준점을 부여하였다. 그리고 격자의 일부 구역을 Green Zone(안전구간) Yellow Zone(위험인식구간), 그리고 Red Zone(위험구간)로 지정하여 위험구간에 위치하였을 경우 노무자에게 실시간으로 SNS로 이를 고지하는 시스템을 개발하였다. 격자의 중심에 가장 기준점을 정의한 것은 위치추정 오류로 인하여 Red Zone에 진입하지 않았음에도 불구하고 잘 못된 위험 고지를 할 수 있는 연유로, 가상 기준점을 중심으로도 MAMD와 동일한 크기의 영역을 부여하여 이동노드의 MAMD와 서로 겹쳐질 경우 위험을 고지하는 것으로 하였다.

4.2 가속도계를 통한 노무자상태 확인

앞서 언급한것과 같이, 단위 시간동안의 순수 수평 가속도 변화의 특성을 파악하면 이동 거리와 이동 각을 통해 위치를 추정할 수 있다. 이와 더불어 가속도 방향 혹은 크기가 바뀌는 특성을 통해 노무자의 행동 특성을 검토할 수 있다. 예를 들어 특정 노무자가 상해를 입어 현장에 누워 있다고 가정하면, 가속도의 절대 값의 크기는 1에 가깝지만 그 방향이 일반적으로 서 있는 경우와 다르며 이러한 행동 패턴이 계속 관찰되는 경우 노무자의 신변에 이상이 생겼음을 판단할 수 있다.

본 연구에서는 가속도 크기가 1에 가까우나 방향이 z축 방향이 아닌 다른 방향일 경우 이와 같은 상태가 2분 정도

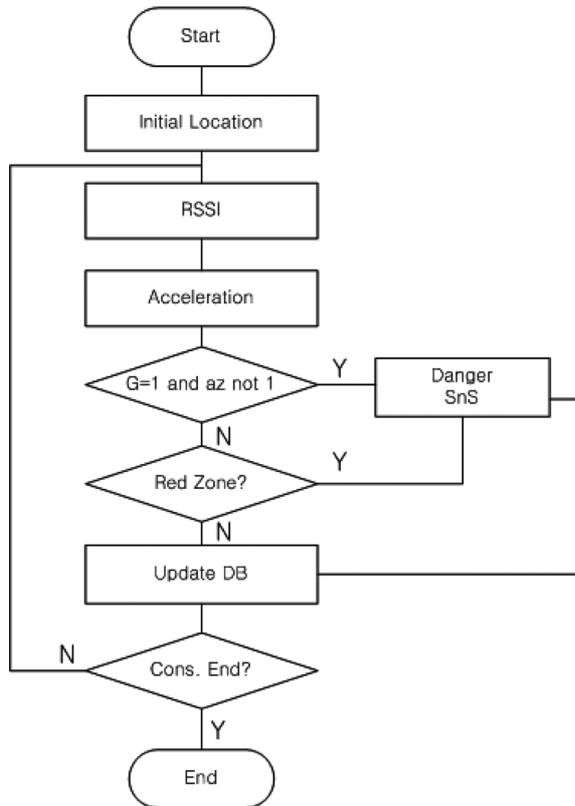


Fig. 4. Flow of proposed algorithm

지속되면 근처 모든 노무자에게 특정 노무자의 상태를 확인하도록 SNS를 보내도록 시스템을 구성하였다. 노무자의 상태를 2분동안 확인하는 이유는 심폐소생술 골든 타임 4분을 고려하여 이의 절반에 해당하는 시간으로 결정하였다.

다음 Fig. 4는 본 연구를 통해 최종적으로 개발되어진 노무자 위치인식 및 안전관리 시스템의 전체 로직을 나타낸 것이다.

5. 유지보수 현장 적용성 검토

본 연구는 RSSI와 가속도계가 함께 구성된 BLE 기반 RTLS의 현장 성능을 평가하기 위해 영동고속도로 개량 현장에서 현장실험을 수행하였다.

고정식노드는 현장에서 측량을 수행하여 최대한 정확한 위치에 배치하였으며, 이동식 태그는 노무자의 안전모 상부에 수평하게 부착하였다.

현장실험은 유지보수 공간에서의 본 연구에서 제안한 위치추적 및 안전관리 시스템의 성능을 평가하는 것을 주목적으로 하였다. 첫째로 정해진 라인 및 구역을 따라서 이동하는 노무자에 대하여 위치 추적 및 Red Zone 진입에 따른 위험고지 여부를 확인하였다. 두 번째는 여러 명의 노무



Fig. 5. Bridge Overlay field

자가 이동 중 특정 노무자가 지면에 약 3분간 누워 있을 경우 이를 판별하여 나머지 노무자에게 특정노무자의 신변 확인을 고지하는 여부에 대한 평가를 수행하였다.

다음 Fig. 5는 실험을 수행한 현장의 전경이다.

이동하는 태그에 대한 위치 탐색 능력을 평가하기 위해 5m×5m 크기의 평면환경에서 총 4개의 노드를 사용하여 정해진 경로를 10회 정도 왕복할 때의 위치탐색 능력을 확인하였다. Fig. 6은 본 연구에서 개발한 위치탐색 알고리즘을 통해 주어진 이동 경로를 움직이는 태그의 위치탐색 결과이다. 이동 태그의 평균 오차는 0.32 m를 나타냈는데, 이는 이동 태그가 부착된 헬멧을 쓴 노무자의 가속도센서로부터 유입되는 오차의 영향이라 사료된다.

Red zone 진입에 대한 오류를 검토하기 위해 Fig. 6과 같은 이동경로를 설정하였으나 Yellow zone을 벗어나 Red zone 진입에 대한 오류는 관찰되지 않았다. 대체로 주어진 이동 경로를 따라서 위치탐색 이력결과과 도시되었으며, 이를 통해 본 연구에서 제안한 위치추적 방법이 대략 0.5 m 오차

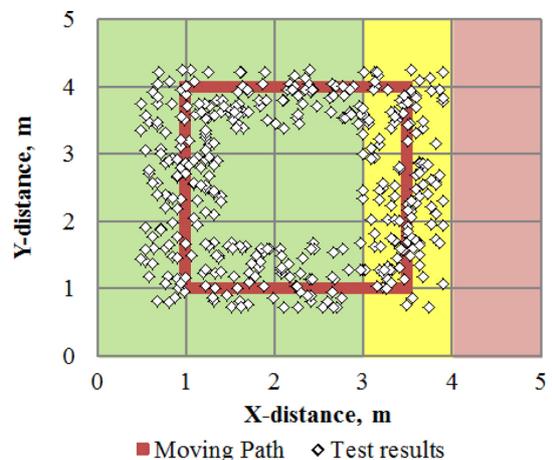


Fig. 6. Results of position scanning of moving tag

범위를 인정할 경우 현장에 충분히 적용가능하다 사료된다.

5명의 노무자의 위치추적을 수행하였고 이중 한명의 노무자를 특정 시간동안 안전모가 증령방향과 수평하게 하여 약 3분간 노출시키는 실험을 총 20회 실시하였다. 그 결과 모두 경우에서 2분 근처일 때 위험을 가속도계 이력을 판별하여 노무자의 신변이상을 다른 노무자에 고지하였으며, 현장에서 본 연구를 통해 제안된 시스템이 충분히 활용 가능함을 확인하였다. 향후 다양한 행동패턴에 대한 연구를 통해 다양한 상황에 대한 판별이 가능하리라 사료된다.

6. 결 론

본 논문은 도로 및 교량 유지보수 공간에서 노무자의 안전을 효율적으로 관리하기 위해 기존의 RTLS 기술을 개발 현황 및 각 기술간의 특성을 살펴보고, 이를 개선하여 보다 센서를 이용한 보다 효율적인 위치탐색 알고리즘을 제시하였으며 이를 지하건설현장에서 실험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

Bluetooth는 Wifi에 비하여 거리측정을 할 수 있는 범위가 낮고, UWB에 비하여 자료 송신량이 크지는 안함, RSSI 신호를 통한 거리측정에는 한계가 있으나, BLE를 지원하는 가속도 센서를 적용할 경우 지하공간에서 위치정보를 충분히 판단할 수 있다.

최대 허용 이동 거리인 MAMD, 가속도계를 사용하는 위치추적을 추정된 결과 평균 0.32m의 낮은 오류를 지니는 위치정보 나타내었고, 이를 활용하여 노무자의 위치정보를 충분히 탐색 가능함을 확인할 수 있었다.

최대 5개의 태그를 동시에 추적하였으며 이중 노무자의 상태를 가속이력 자료를 시스템을 통해 분석하여 신변이상 노무자를 적절히 판별할 수 있음을 확인하였다.

본 연구를 통해 제안된 위치추적 방법을 통해 노무자의 위치 및 상태 이력을 탐색할 수 있었으며, 향후 유전자 알고리즘 등과 같은 최적화 알고리즘 사용을 통해 보다 정밀한 위치 추적에 대한 연구가 필요하다 사료된다. 향후 가속도계 이외 타 센서를 연계하여 노무자의 행동 특성을 판별하는 연구를 지속적으로 연구할 계획에 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 국토교통 기술촉진 연구사업(14CTAP-C078804-01)의 지원을 받아 수행되었고, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kim, D. W., Moon, S. M., Cho, H. and Kang, K. I. (2011), "An Application of Safety Management for Tunnel Construction Using RTLS Technology", Korea Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 12, No.2, pp 12-20.
2. Park, J. S., Lim, S. B., Pyeon, M. W., Hong, T. M. and Lee, B. K. (2009), "Experiment of Propagation for Development of the RTLS to the Construction site", The Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 27, No. 4, pp. 505-513.
3. Lee, J. K., Lee, T. H., Byun, J. H. and Noh, Y. J. (2013), "A Basic Study on the Applicability of the RTLS Technology to Construction Site Based on CSS", Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 29, No. 5, pp. 61-68.
4. Lee, H. S., Lee, K. P., Park, M. S., Kim, H. S. and Lee, S. B. (2009), "A Construction safety management system based on Building Information Modeling and Real-time Locating System", Korea Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 10, No. 6, pp. 135-146.
5. Oksar, Irfan. (2014), "A Bluetooth signal strength based indoor localization method", Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), 2014 International Conference on IEEE.
6. Yoon, C. P. and Hwang, C. G. (2015), "Efficient indoor positioning systems for indoor location-based service provider", J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng., Vol. 19, No. 6, pp. 1368-1373.
8. Kim, J. H., Joo, Y., Lee, S. G., Park, S. S. and Seo, D. H. (2012), "Improvement of Multilateration using Vector Prediction Algorithm and Kalman Filter", The Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 16, No. 12, pp. 2792-2799.
9. Nho, A. and Lee, W. J. (2010), Accuracy evaluation of Zig-Bee's indoor localization algorithm, Korea Society for Internet Information, Vol. 11, No. pp. 27-43.
10. Yeom, J. N., Lee, G. B., Park, J. J. and Cho, B. J. (2009), "Position Estimation System of Moving Object using GPS and Accelerometer", Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 12, No. 4, pp. 600-607.