

Automation of Inventory Checking System for Outdoor Warehouse

Sung Moon Bae* · Kwan Hee Han*[†] · Hwa Yong Lee** · Kum Suk Hong***

*Department of Industrial and Systems Engineering
/Engineering Research Institute, GyeongSang National University
**VMS Solutions
***Korea Aerospace Industries, Ltd.

야외창고 재고실사 자동화를 위한 시스템 개발

배성문* · 한관희*[†] · 이화용** · 홍금석***

*경상대학교 산업시스템공학부/공학연구원
**브이엠에스솔루션스
***한국항공우주산업주식회사

Inventory inspection is an important task to eliminate the inconsistency between real assets and inventory management systems, and it is performed periodically at the site. In the case of a large-sized property, it is mainly managed in an outdoor workshop or a warehouse. However, due to the large area of the outdoor area, it is relatively difficult to identify the quantity and location of the property and is also vulnerable to theft. To solve this problem, we proposed a method and system for performing a warehouse inventory inspection using an unmanned aerial vehicle (UAV) and Bluetooth low energy (BLE) beacons. The proposed method has the following advantages. First of all, if we carry out inventory inspection by utilizing UAV, we can minimize user's effort compared to existing methods. The method of recognizing the asset by attaching the BLE beacon is more costly than using the existing RFID technology, but it is advantageous because the recognition distance is increased and the battery life of the tag is drastically increased. We also designed a BLE beacon reader for the system and implemented a prototype to show the feasibility of the proposed system. The prototype is based on Genuino 101, which is a kind of arduino, and adds HM-10 and Neo-6m modules to provide Bluetooth and GPS functions. The BLE beacon reader was tested in outdoor, and attached in drone. We also developed an inventory checking system based on the web to display results of inventory checking. The proposed approach enables the users to automate the operation of inventory checking on an outdoor warehouse.

Keywords : Inventory Checking, Outdoor Warehouse, Unmanned Aerial Vehicle, Bluetooth Low Energy, Arduino

1. 서 론

세계 경제의 글로벌화와 산업화로 인한 대량생산 및 대량소비의 일반화, 물류의 규모 및 다양성의 증가에 따라 재물을 장, 단기간 보관하기 위한 창고가 늘어나고 있으며, 신속하고 정확하게 재물을 조사하고 분류하는 작업이 필요해졌다[11]. 재고 실사는 실제 존재하는 재물과 재고관리 시스템 간의 불일치를 없애는 중요한 작업이며, 현장에서는 주기적으로 이를 수행한다. 하지만, 사이즈가 큰 대형 재물의 경우는 주로 야외 작업장이나 창고에서 관리되는데, 옥외의 넓은 면적 때문에 재물의 수량 및 위치 파악이 상대적으로 더 어렵고 도난에도 취약하다는 문제가 있다[7].

재물에 대한 재고실사는 현재 다양한 방법이 사용된다. 첫 번째, 가장 기본적인 방법은 재물을 작업자가 육안으로 확인하는 것으로 주로 소형 창고에서 사용된다. 이 방법은 별도의 하드웨어나 소프트웨어가 필요 없을 정도로 단순하지만, 작업자의 시간과 노력을 필요로 하고, 작업자의 실수를 보정하지 못한다는 단점이 있다. 두 번째 방법은 바코드를 활용하는 방법이다. 작업자의 육안을 대신하여 관리대상이 되는 재물에 바코드를 인쇄하여 부착하고, 이를 바코드 리더기로 인식해서 재물을 파악하는 방법이다. 이 방법은 바코드 인쇄기나 리더기를 필요로 하지만, 상대적으로 하드웨어에 투자되는 비용은 크지 않고, 작업자의 입력 실수를 제거한다는 측면에서 우수하다. 하지만 여전히 작업자가 이동하면서 바코드 리더기를 이용하여 바코드를 읽기 때문에 작업자의 시간과 노력이 필요하다. 또한 한 번에 하나의 바코드만을 읽을 수 있고, 바코드를 인식하기 위한 시야각이 확보되어야 하기 때문에 비효율적이라 할 수 있다. 또한 작업자가 이동하면서 작업을 진행하기 때문에 넓은 외부 창고에서는 활용하기 어려운 단점이 있다.

바코드의 단점을 개선하는 재고관리의 방법은 RFID(radio frequency identification)를 활용하는 것이다. RFID는 비접촉식이며, 태그인식을 위해 시야각을 확보하지 않아도 괜찮으며, 다중인식이 가능하다는 장점으로 다양한 분야에 활용되고 있다[4, 6, 10]. RFID를 재물에 부착하고 이를 활용하여 재고실사를 하는 방법은 휴대용 RFID 리더기를 작업자가 들고 다니면서 재물을 확인하는 방법과 고정형 RFID 리더기를 작업장이나 창고에 다수 배치하여 실시간으로 재물을 파악하는 방법이 있다. 전자의 경우는 바코드를 활용하는 방법에 비해 상대적으로 실사 시간을 줄일 수는 있지만 여전히 작업자가 시간과 노력을 투자해야 한다는 단점이 있다. 후자의 경우는 실시간으로 모든 재물을 파악할 수 있다는 장점이 있지만, RFID 리더기를 창고 전 지역을 감지할 수 있도록 많은 위치에 설치해야

하므로 하드웨어 투자비용이 면적에 비례하여 증가한다는 단점이 있다. 또한 수동형 RFID 태그는 안정적인 인식 거리가 짧아서 야외창고에서는 활용하기 어려운 단점도 있다.

이에 본 연구에서는 야외창고의 재물을 효율적으로 파악하기 위한 새로운 방법을 제시하고자 한다. 제안하는 방법은 저전력 블루투스(BLE : bluetooth low energy) 비콘(beacon)과 무인기 드론을 활용하는 것으로 비콘 리더기를 장착한 무인기가 주기적으로 넓은 옥외창고를 비행하면서 재물에 부착된 BLE 비콘을 인식하고, 수집한 재물데이터를 재고관리 시스템의 정보와 비교하는 방식으로 실사를 진행하는 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 기존 RFID를 활용한 재고관리에 관련된 연구와 BLE 비콘에 대한 연구를 정리하였다. 본 연구에서 제시한 BLE 비콘과 드론을 활용한 새로운 재고관리 방법은 제 3장에서 설명한다. 제 4장 시제품제작은 BLE 비콘 리더기의 설계 및 아두이노 기반의 시제품 제작 및 실험과 다중 인식된 비콘의 위치 최적화 및 재고관리 프로그램에 대해 설명한다. 제 5장에서는 본 연구의 결론 및 추후 연구방향에 대해 정리한다.

2. 관련 연구

RFID는 유비쿼터스 시대의 도래로 RFID 기술의 확산과 전망에 대해 논의되었고 다양한 분야에 이를 적용하기 위해 많은 연구가 수행되었다[2]. 물류분야에서 항만 컨테이너 터미널에서 RFID를 적용하여 게이트 입/출입 관리에 대한 실증 연구를 진행하였고, 국제물류분야의 RFID 적용모형을 검토하였는데 국제물류 프로세스에 참여하는 기업들을 대상으로 하여 To-Be 모델을 제시하였다[1, 4]. 정석인은 RFID 기술의 다양한 응용 사례를 수집하고, 각 사례를 유형별로 구분한 뒤 비즈니스 모델 구성 요소를 제시하고 RFID 산업 활성화에 대한 시사점을 제시하였다[5]. RFID를 조선업의 자재관리에 응용하여 블록위치 파악을 위해 PDA와 GPS를 이용하여 블록의 위치를 추적하는 연구가 있었다[6]. 이 연구는 블록운반 담당자가 블록이 운반된 위치의 GPS 값을 PDA로 등록하는 시스템으로 담당자가 직접 등록하기 때문에 이동위치의 미등록, 실수의 가능성이 존재한다. 그 외 실내 창고의 재고관리를 위해 RFID와 이동형 로봇을 활용한 연구도 있었는데, 개발된 시스템은 RFID 태그가 장착된 재물들의 정보를 무인 이동형 로봇으로 획득하여 그 정보를 데이터베이스에서 자동 갱신한다[11]. 하지만 유도선 기반의 로봇이동, 배터리 지속시간 등의 문제로 옥외 창고로 확장하기에는 문제가

있다. 또한, 드론과 RFID 기술을 활용하여 옥외 재고 실사하는 방법도 제안되었지만, RFID 리더기의 인식거리 한계로 실제 현장에서 적용하기에는 한계가 있었다[2].

<Table 1> Comparison of BLE and RFID

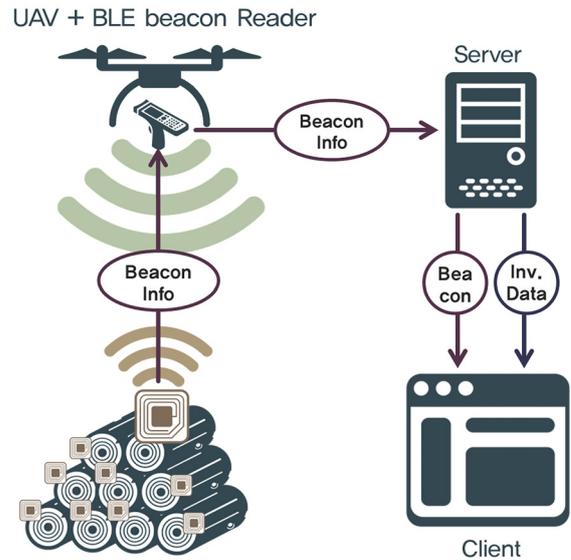
	BLE	RFID
Transmission Distance	~50m	LF : ~10cm, HF : 10cm~1m, UHF : ~12m active tag : ~100m
Transmission Speed	1Mbps	400kbps
Power	0.18~12.5mA	45~65mA
Complexity	Low	Low
Cost	high	Low~high

태그의 비접촉식 다중인식이라는 장점에도 불구하고, 인식거리의 한계 때문에 야외창고 재고관리에 적용되기 어려운 RFID 기술을 대신할 새로운 기술로 블루투스가 대두되고 있다. 블루투스는 무선통신방식의 하나로 다양한 분야에 응용되고 있고, <Table 1>에서 보는 바와 같이 4.0버전인 저전력 블루투스(BLE) 기술을 사용하면 전력 소비를 급격하게 줄일 수 있기 때문에 최근 사용이 급증하였다[7]. 비콘은 주기적으로 신호를 발생하는 것으로 BLE 비콘은 상대적으로 저전력으로 위치 정보를 파악할 수 있는 기반이 되기 때문에 실내 위치기반 서비스에 많이 활용된다. 블루투스 비콘 기반 실내 위치 추적 기술을 활용하여 물류를 추적하는 물류관리 시스템 연구, 위치추위를 통한 교내 실내 출석관리 시스템 구현과 같은 실내 위치 기반 시스템 연구가 주로 이루어졌다[8, 9].

3. BLE 비콘과 드론 기반 재고실사

기존의 옥외창고에 대한 재고실사의 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 <Figure 1>과 같은 재고실사 방법을 제안한다. 이 방법은 무인기와 BLE 비콘 기술을 활용하여 넓은 야외창고의 재물을 파악하는 것이다. 기존 방법에서 넓은 지역을 이동해야 하는 문제를 무인기 드론을 활용함으로써 시간적 비용적 제약조건을 완화하였고, RFID 태그의 인식거리의 한계를 BLE 비콘을 활용함으로써 더 먼 거리에서도 재물을 인식할 수 있도록 한계를 극복한 것이다.

본 연구에서 제안한 시스템은 재물에 부착할 BLE 비콘, 비콘을 인식할 수 있는 비콘 리더기, 비콘 리더기를 장착하여 이동할 무인기, 수집된 비콘 데이터를 분석할



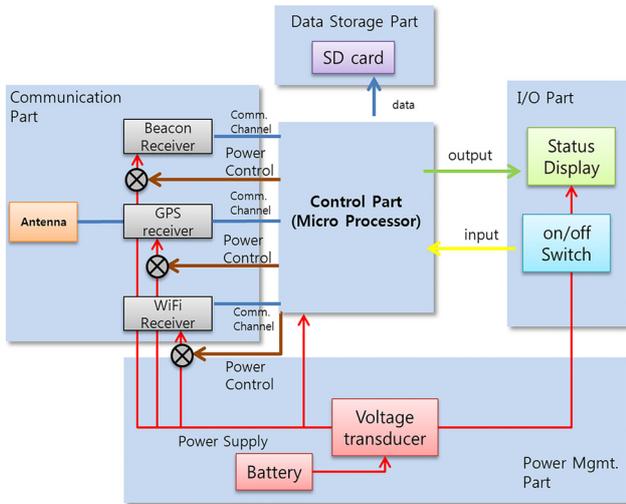
<Figure 1> Proposed Inventory Checking System

서버 프로그램으로 구성된다. 비콘 리더기를 부착한 무인기는 야외창고 전체 지역을 자동 비행하고, 비콘 리더기는 각 위치에서 인식되는 비콘 신호를 감지하여 재물의 존재여부와 위치를 파악하여 자체 포맷을 가진 파일에 임시저장한다. 비행을 마치고 난 후 비콘 리더기는 저장한 데이터를 전처리하여 서버의 데이터베이스에 업로드하면 재고 데이터와 드론 비행에서 감지한 비콘 데이터를 비교하여 재물의 상태를 파악한다[3].

4. 시제품 개발

4.1 BLE 비콘 리더기 개발

제 3절에서 제안한 재고실사 방법을 검증하기 위해 본 연구에서는 BLE 비콘 리더기, 비콘 데이터 전처리모듈, 재고실사 프로그램을 개발하였다. 비콘 리더기는 iBeacon 호환 비콘을 인식할 수 있어야 하고, 재물의 위치 정보를 인식할 수 있어야 한다. 일반적으로 비콘은 신호를 주기적으로 발생시켜 자신을 인식시키는데, 기존의 비콘 리더기는 단독으로 기기의 위치 정보를 저장하거나 파악할 수 있는 방법이 없다. 옥외 작업장은 대부분 넓은 영역에 재물이 분포되므로 정확한 위치를 파악하는 것보다는 개략적인 위치에 재물이 존재하는지 여부를 확인하는 것이 더 중요하다. 따라서 본 연구에서는 비콘 리더기에 GPS 모듈을 부착하여 인식된 비콘의 위치를 파악하였다. <Figure 2>는 위 요구사항을 충족시킬 수 있는 비콘 리더기의 하드웨어 블록 다이어그램이다.



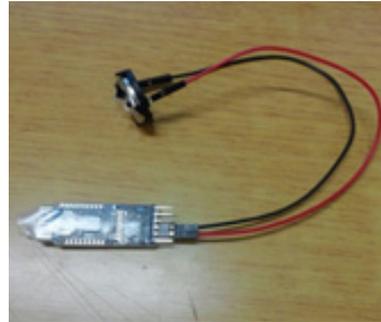
<Figure 2> Block Diagram of Beacon Reader

비콘 리더기는 GPS 정보와 iBeacon 정보를 아래와 같은 포맷으로 저장한다. GPS 정보는 위도, 경도, 시간을 나타내고, 비콘 정보는 iBeacon 모드로 표시되는데, 우선 UUID를 통해 공장, 회사 등의 고유번호를 지정할 수 있다. 이 번호를 통해 자신의 회사의 재고인지를 구별이 가능하다. 만약 재고의 UUID가 지정한 고유번호가 아니라면 그 재고가 타 회사의 것임을 판단할 수 있다. Major Value는 애플리케이션 단위 내 장소의 일부분을 지정하는 용도이다. Minor Value는 Major Value보다 작은 영역을 나타낸다. 서비스 산업에서 UUID가 나타내는 애플리케이션 단위가 회사라면 Major Value는 회사의 각 지점을 의미하게 된다. Minor Value는 지점 내 선반의 위치로 나타낼 수 있다. 재고 관리 상황에서는 애플리케이션 단위는 공장이며 Major Value는 옥외창고 내의 재고가 적재되는 넓은 영역(ex : A구역, B구역, ...)을 나타낼 수 있다. 그리고 Minor Value는 각 구역 내에서 지정된 좁은 장소(ex : A-1, A-2, ...)를 나타낸다. 이 정보는 GPS 신호와 같이 재물의 위치를 파악하는데 유용하다.

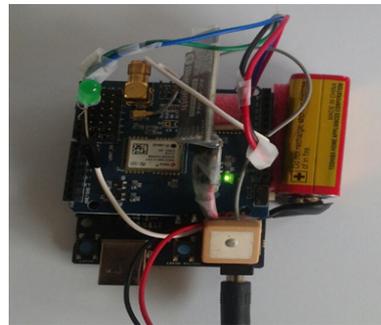
<Table 2> Attributes of Inventory Data

Classification	Attributes
GPS Info.	Longitude, Latitude, Date Time
iBeacon Info.	Factory id, UUID, MajorValue, Minor Value, Measured Power, Mac Address(id), RSSI

비콘 리더기가 인식하는 비콘은 HM-10 모델을 이용하였다. <Figure 3>은 HM-10 모델에 코인 배터리를 연결하여 동작하게 세팅한 것으로 HM-10은 저전력 모듈임과 동시에 iBeacon 모드를 지원함으로써 손쉽게 저전력 블루투스 비콘을 구성할 수 있다. 모듈을 제어하는 AT 명령어를 사용하여 iBeacon 모드로 전환하였고 Auto sleep



<Figure 3> BLE Beacon(HM-10)



<Figure 4> Prototype of BLE Beacon Reader

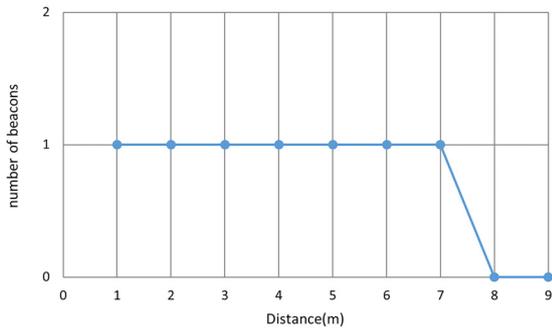
모드를 활성화하여 전력소비를 최소화하였다. Auto sleep 모드를 활성화하게 되면 소비전력이 8mAh에서 0.18mAh로 극히 줄어들어 장시간 사용이 가능하다.

BLE 비콘 리더기는 아두이노의 일종인 제누이노 101 (Genuino 101)을 기반으로 HM-10(Bluetooth), Neo-6m(GPS) 모듈을 추가하여 비콘 인식과 GPS 정보를 수신한다. 제누이노 101 보드는 기존 아두이노 우노 R3 보드와 같은 크기이지만 센서들과의 호환성이 높을 뿐만 아니라 정보 처리능력이 아두이노 우노 R3보다 뛰어나다. 데이터 저장부는 SD카드를 사용하였고 SD카드는 GPS 모듈에 장착이 가능하다(<Figure 4> 참조).

본 연구에서 개발한 비콘 리더기는 GPS 신호와 연동하여 재물의 위치를 인식을 할 수 있어 넓은 야적장에서 원하는 재물의 위치를 추적할 수 있다.

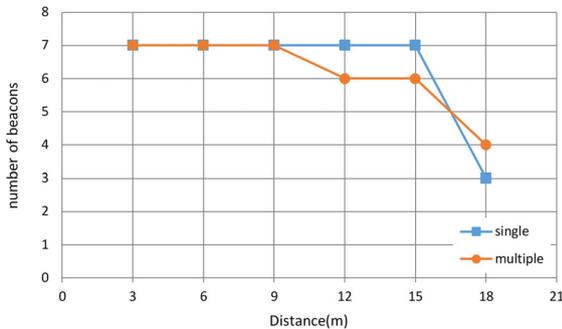
4.2 비콘 인식 실험

위와 같이 제작한 비콘 리더기의 성능을 확인하기 위해 비콘 인식거리, 장애물 투과 인식, 다중 비콘 인식을 실험하였다. 먼저 실내에서 1개의 비콘 인식을 테스트 하였는데, <Figure 5>에서 보는 바와 같이 7m 거리까지는 잘 인식이 되었지만 8m부터는 인식이 되지 않았다. 이는 실내의 와이파이 AP 등과 신호간섭 등으로 인식에 문제가 발생한 것으로 분석하였다.



<Figure 5> Recognition of single Beacon(Indoor)

실내 인식 거리에 대한 실험 이외에 장애물 투과에 대해서도 실험을 진행하였다. 리더기와 비콘 사이를 파티션으로 가리고 인식이 되는 지를 테스트하였다. 파티션의 재질은 철로 이루어져 있으며 두께는 6.5cm이다. 철제 파티션을 사이에 두고 인식을 실험을 한 결과 본 연구에서 제작한 시제품이 5m 이상 인식이 가능하였다. 보편적으로 많이 사용하는 수동형 RFID 태그의 경우 알루미늄 호일이나 두께 5mm의 철판을 투과하지 못하지만, 저전력 블루투스 비콘은 컨테이너나 철제 파이프 등에도 사용이 가능하다는 것을 검증하였다.

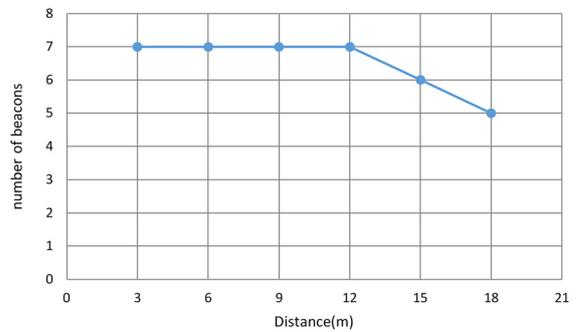


<Figure 6> Recognition of Beacon(Outdoor)

7개의 비콘을 나열하여 놓고 3m 거리 단위로 인식률을 측정하였다(<Figure 6> 참조). 각각을 하나씩 겹치지 않게 나열하는 경우는 15m 거리까지 각 비콘이 100% 인식되었지만, 18m 거리부터는 인식률이 떨어지기 시작하였다. 비콘의 다중적재 상황의 인식률을 확인하기 위해 7개 비

콘을 다중적재 시키고 인식 여부를 실험하였다. 역시 3m 거리 단위로 인식률을 측정하였다. 비콘이 겹쳐진 상황에서 인식률을 보면 12m 거리부터 인식률이 떨어지기 시작했다. 이는 저전력 블루투스 비콘 사이의 신호 교란으로 인해 인식률 저하가 발생한 것으로 판단된다.

비콘 리더기가 드론에 장착 되었을 시 정상 작동이 되는가에 대한 테스트를 실시하였다. 드론은 DJI사의 팬텀 2 드론을 사용하였다. 우선 드론에서 인식 가능한 높이를 측정하였다. 비콘을 먼저 동작하게 한 후에 드론을 측정하게 되면 측정하고자하는 높이에 도달하기 전에 비콘을 인식하기 때문에 드론을 일정 높이에서 고도를 유지시킨 후 비콘의 전원을 인가하여 인식여부를 측정하였다.

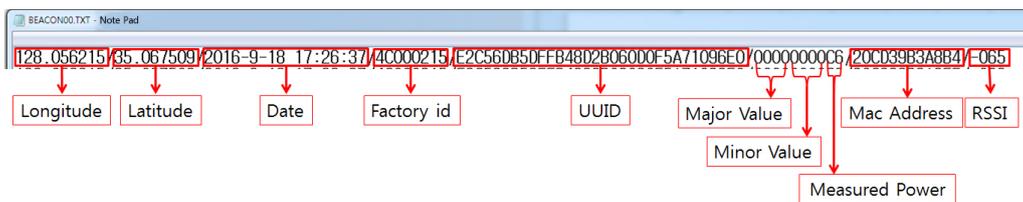


<Figure 7> Recognition of Beacon(Outdoor with Drone)

저전력 블루투스 비콘 리더기를 드론에 부착하여 거리를 인식률을 실험해 본 결과 상공 12m까지 100% 인식이 가능하였다. 하지만 15m부터는 인식률이 하락하기 시작하였다(<Figure 7> 참조). 이는 드론의 원격 조종 주파수와 동일한 주파수를 사용하기 때문에 생기는 것으로 판단된다. 따라서 상공 12m까지의 높이까지 적재된 대형 재고의 경우 본 연구에서 개발한 제품을 사용할 수 있다.

4.3 수집 데이터 전처리

<Figure 8>은 인식된 비콘을 정해진 포맷에 따라 저장하는 파일을 보여준다. 하나의 비콘이 인식되면 리더기의 GPS 정보와 비콘에서 수신한 iBeacon 정보를 조합해서 아래와 같은 파일에 저장하게 된다.



<Figure 8> File Format for Beacon Detection

5. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 옥외 창고 재고실사를 자동화 할 수 있는 저전력 블루투스 비콘과 드론 기반 재고실사 시스템 내에서 저전력 블루투스 비콘 리더기를 설계하고 개발하였고, 이를 처리하기 위한 서버 프로그램을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 비콘 리더기는 기존의 비콘 리더기에 비해 GPS를 활용한 위치 정보를 수집할 수 있다는 것이 장점이다. 이는 기존의 비콘 리더기가 단순히 비콘의 존재유무만을 확인하는 것을 보완한 것으로 넓은 장소에 재물에 분포하는 옥외 창고에서 반드시 필요한 기능이다. 또한, iBeacon 구조와 GPS 정보를 기초로 하여 재고 실사를 위한 태그용 데이터 구조를 정의하였다. 단순히 고유ID만을 통해 재물의 존재유무만을 판단하는 것이 아니라 iBeacon 구조와 GPS 정보를 활용함으로써 재고가 옥외 창고의 어느 위치에 존재하고 있는지 추정 가능하도록 하여 옥외 재고를 쉽게 찾을 수 있다. 본 연구에서 개발한 시제품의 실제적용을 위한 거리 인식, 장애물 투과, 다중인식 등의 실험을 하였다. 하지만 드론의 비행경로에 따른 비콘 거리 인식은 실제 어떤 결과가 될지 확인하지 못 했는데, 이에 대한 추후 연구가 필요하다.

References

- [1] Choi et al., Improvement of Port Entrance System using RFID, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 2010, Vol. 11, No. 2, pp. 709-719.
- [2] Han et al., Automated Inventory Inspection System and the Method using Flying Object, 2016, Patent#10-2015-0026992, pp. 1-22.
- [3] Han, K.H., Bae, S.M., and Lee, W.Y., Integrated Inventory Management System for Outdoors Stocks Based on Small UAV and Beacon, In : Rocha A., Adeli H., Reis L., Costanzo S.(eds) Trends and Advances in Information Systems and Technologies, WorldCIST'18 2018, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, Vol. 746, pp. 533-541.
- [4] Jang, K.Y., Lee, C.H., Kim, J.G., Lim, S.K., and Yoo, W.S., An Empirical Study on RFID Application to the Container Terminal Gate Management System, *IE Interfaces*, 2007, Vol. 20, No. 1, pp. 69-78.
- [5] Jung, S.I. and Kim, D.S., Case Study for RFID Applications from Business Model Perspective, *Journal of Information Technology Applications and Management*, 2013, Vol. 20, No. 1, pp. 197-216.
- [6] Kim, J.S. and Shin, Y.T., Development Portable Pipe Spool Location-Confirm System Based UHF RFID, *KIPS Transactions on Computer and Communication Systems*, 2014, Vol. 3, No. 10, pp. 329-336.
- [7] Lee, H.W., Development of Bluetooth Low Energy(BLE) Beacon Reader for Outdoor Materials investigation Based on Drone [master's thesis]. [Jinju, Korea] : GyeongSang National University, 2017.
- [8] Oh, A.S., Smart Factory Logistics Management System Using House Interior Position Tracking Technology Based on Bluetooth Beacon, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 2015, Vol. 19, No. 11, pp. 2677-2682.
- [9] Park et al., Attendance check system based on Bluetooth beacons, *Proc. of Korean Institute of Electronic Communication Science*, 2015, pp. 406-407.
- [10] Ryu et al., Development of u-Farm Information Architecture and Information Management Technology based on RFID/USN for the Agricultural Sector, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2015, Vol. 38, No. 1, pp. 170-181.
- [11] Son, M.H. and Do, Y.T., Mobile Robot System Design for RFID-based Inventory Checking, *Journal of Korea Robotics Society*, 2011, Vol. 6, No. 1, pp. 49-57.

ORCID

Sung Moon Bae | <https://orcid.org/0000-0002-5227-2361>
 Kwan Hee Han | <https://orcid.org/0000-0001-7998-4951>
 Hwa Yong Lee | <https://orcid.org/0000-0002-7023-7308>
 Kum Suk Hong | <https://orcid.org/0000-0001-6844-1599>