

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.3.173>

JIIBC 2016-3-23

드론의 지반공학분야 활용을 위한 시스템 설계 및 구현

A System Design and Implementation for Geotechnical Engineering Field Application of Drone

김태식*, 정진만**, 민 흥***

Taesik Kim*, Jinman Jung**, Hong Min***

요 약 최근 드론과 원거리에 설치된 센서들의 협업을 통해 대상을 모니터링하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 모니터링 시스템에서는 고정된 센서를 통해 환경 데이터를 수집하고 이동이 가능한 드론을 통해 데이터를 수집한다. 지반 공학에서는 공사 현장의 안전성을 측정하기 위해서 인력을 사용하는 경우가 많으며 다수의 센서를 설치하여 네트워크를 구성하는 것은 비용문제 때문에 현실적인 대안이 될 수 없다. 본 논문에서는 이러한 지반관련 프로젝트 수행 시 소수의 센서를 구조물 주변에 설치하고 드론을 통해 데이터를 수집하는 시스템을 제안한다. 또한 실험을 통해서 제안 시스템의 가용성을 확인하고 인력을 활용할 때보다 시간과 비용을 줄일 수 있음을 검증하였다.

Abstract Many studies have been carried out on monitoring the target by cooperating a drone with remote sensors recently. This monitoring system uses static sensors to measure environmental data and drones to collect measured data. In geotechnical engineering, inspectors go around measuring the safety of construction site and it is impractical to compose a network among numerous sensors in terms of the cost efficiency. In this paper, we propose a data collection system based on interaction between a drone and a few sensors that are installed around the target structure for geotechnical projects. Through experimental results, we also verify the availability and the time and cost efficiency of the proposed system comparing with using inspectors.

Key Words : Geotechnical engineering, Drone, Sensor, Soil moisture

1. 서 론

지반공학(Geotechnical engineering)은 토목공학의 한 분야로 토목구조물이 위치한 곳의 지반을 다루는 학문이다. 다른 공학분야와 대별되는 특징은 흙, 암반과 같은 지반구성물질을 원위치(in situ)에서 공학적으로 처리하여 사용한다는 점을 들 수 있다. 지반공학관련 프로젝트를 진행하기 위해서는 현장에서 지반조사를 실시하거나, 시

료를 현장에서 채취하여 실내 시험을 통해 지반구성물질의 공학적 물성 값을 평가해야 한다^[1]. 이 값을 바탕으로 지반공학의 목적구조물인 터널, 비탈면, 구조물 기초 등을 설계하고 시공한다.

지반공학관련 프로젝트를 수행할 때 실시하는 상기와 같은 일련의 과정에서 주목해야 할 점은 지반 정보의 불확실성이라 할 수 있다. 흙, 암반과 같은 지반구성물질은 공학적으로 균질할 수 없으며, 지반조사를 통해 지반의

*정회원, 홍익대학교 토목공학과

**정회원, 한남대학교 정보통신공학과

***정회원, 호서대학교 컴퓨터정보공학부(교신저자)

접수일자 : 2016년 3월 8일, 수정완료 : 2016년 4월 8일

게재확정일자 : 2016년 6월 10일

Received: 8 March, 2016 / Revised: 8 April, 2016 /

Accepted: 10 June, 2016

***Corresponding Author: hmin@hoseo.edu

School of Computer Information Engineering, Hoseo University, Korea

다양성을 모두 파악하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서, 시공 중 혹은 공용 중 토목구조물의 안정성을 확인하기 위해서는 공사현장 주변에 다양한 계측 센서들을 설치하고, 그 계측 센서로부터 데이터를 수집하여 현장 지반의 상태를 평가하고 확인해야 한다. 계측 데이터의 수집은 인력으로 하는 경우가 일반적이며, 흙을 다루는 거친 공사현장 환경으로 인하여 계측 센서, 통신 장비 및 이를 위한 전력공급장치들을 함께 설치하여 자동으로 데이터를 수집하기란 쉽지 않다. 또한 다양한 다수의 센서를 상시 통신망 접속을 통해 데이터를 수집할 경우^[2] 통신비의 발생으로 인해 공사비 증가의 요인이 될 수 있다.

최근 드론(Drone)을 사용하여 실시간으로 데이터를 수집하는 연구들이 진행되고 있다. Dougl^[3]는 기름 유출과 같은 해양 오염을 탐지하여 신속한 대응을 하기 위해 드론을 사용하여 해안가를 모니터링하는 방법을 제안하였으며, Dang^[4]은 드론에 탑재된 카메라와 이미지 처리를 통해 실시간으로 지상의 타겟을 추적하는 시스템을 설계하고 구현하였다. Ha^[5]는 GPS가 부착된 드론을 사용하여 산악 지형과 같이 센서 노드를 균일하게 살포하거나 네트워크가 단절되기 쉬운 지역에 드론을 투입하여 데이터를 수집하는 방법을 제하였고, Mauriello^[6]는 가정이나 고층 빌딩에서 발생하는 열 누출을 측정하고 이를 3차원의 그래픽으로 변환하기 위해 드론을 활용하였다. 또한 Garbowski^[7]는 수자원 관리를 위해서 강에 서식하는 생물과 오염 및 범람 상태를 드론을 사용하여 모니터링 하였다. 숲의 생태계를 보전하고 관리하기 위해서는 숲의 구성, 수목의 양, 성장속도 등의 정보를 모니터링하는 것이 중요하기 때문에 Tang^[8]은 드론을 사용하여 이러한 정보를 원격에서 빠르게 습득할 수 있는 방법을 제안하였다.

본 논문의 목적은 기존의 연구들을 바탕으로 현장 계측 센서의 데이터를 인력으로 사용하지 않고 드론 및 근거리 통신을 이용하여 수집하는 방안을 연구하는 것이다. 지반공학관련 프로젝트의 경우 기존의 시스템과는 달리 실시간으로 계측 데이터를 수집할 필요가 없으며, 수 시간 주기로 수집을 해도 충분히 현장 상태에 대한 평가가 가능하다. 즉, 계측 센서에 저장모듈을 설치하여 데이터를 저장하고, 데이터 수집장치(data collecting device)가 계측 센서에 주기적으로 접근하여 근거리통신을 통해 계측 데이터를 다운로드 받는다. 데이터 수집장치로는 근거리 통신모듈을 탑재한 드론을 사용하고, 드론이 계측

센서 시스템에 접근했을 때 자동으로 계측 센서 시스템이 데이터를 전송하게끔 알고리즘을 구성한다면, 지반공학 현장에 알맞은 필요 기술이 될 것으로 판단한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 제안 시스템의 설계와 구현에 대해 설명한다. 3장에서는 제안 시스템의 가용성을 실험을 통해 검증하며 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 설계 및 구현

본 논문에서는 오픈 소스(Open Source)를 기반으로 한 마이크로컨트롤러(Microcontroller)인 아두이노(Arduino)를 사용하였다. 지반공학 관련 프로젝트에서 계측해야 하는 항목은 다양하다. 그 중에 일반적으로 꼭 알아야 하는 항목이 흙의 간극에 포함되어 있는 물의 양이며, 이 물의 양에 따라 흙의 역학적 거동은 많은 차이를 나타낸다. 본 논문에서는 토양수분 센서를 사용하여 계측한 값을 알고리즘 구현을 위한 데이터로 사용하였다. 데이터는 마이크로 SD카드를 사용하여 저장하였으며, 근거리 통신 모듈로는 블루투스(Bluetooth, BT)를 사용하였다. 데이터 수집용 드론은 DJI사의 팬텀3 프로페셔널(Phantom 3, professional)을 사용하였다. 드론에 탑재할 데이터 수집장치는 무엇보다도 경량이어야 하며, 근거리 통신모듈을 가지고 있으며, 저장기능을 갖추고 있어야 한다. 이 요구조건을 가장 쉽게 충분히 만족시킬 수 있는 장치는 스마트 폰으로 판단되어 안드로이드 스마트 폰을 사용하였고, 안드로이드용 애플리케이션을 구현하였다.

1. 데이터 수집 개요

그림 1은 지반공학분야에서 드론을 활용한 데이터 수집 방법을 보여준다. 계측 장비와 데이터 수집장치는 Wireless Personal Area Network(WPAN)으로 통신하고, 데이터 수집장치는 무선근거리 통신망(Wireless Local Area Network, WLAN) 또는 원거리 통신망(Wide Area Network, WAN) 통신을 통해 계측자에게 전송한다. WPAN의 블루투스 와 WAN의 3G/4G 통신 모듈이 모두 내장된 스마트기기를 탑재하는 방법으로 드론 내 통신모듈의 추가설치 없이 운용이 가능하다. 또는 WAN 통신 연결 없이 현장에서 계측자가 가지고 있는 스마트

폰을 직접 활용한다면 계측 편리성을 높일 수 있다.

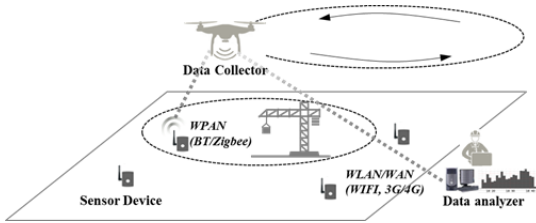


그림 1. 데이터 수집 과정의 개요
 Fig. 1. Data collecting process overview

2. 계측 장치

계측 장치는 앞서 언급한 바와 같이 거친 토목공사 현장에 설치하기 위해 용이한 조건을 갖추고 있어야 한다. 상시 전원을 위한 외부 전원 공급은 용이 하지 않으므로, 배터리로 구동이 되어야 한다. 상시 인터넷 접속을 통한 실시간 데이터 전송의 경우 토목현장의 규모를 고려해볼 때, 통신비를 유발시켜 공사비의 증가가 예상되어 적절치 않다. 또한 인력이 접근하여 계측 데이터를 다운로드 받는 경우, 안전에 대한 문제가 발생할 수 있다. 따라서 근거리 통신을 이용하여 전송하는 방안을 고려하였다. 계측 장치에 탑재될 수 있는 근거리 통신으로는 지그비(ZigBee), 블루투스 등이 있다. 파일 전송 프로토콜 및 속도를 고려했을 때 지그비가 가장 적합할 것으로 판단되었으나, 이를 사용할 경우 계측기에서 데이터를 다운로드 받을 때 지그비 통신모듈을 갖춘 장치를 별도로 제작하여 드론에 탑재해야 하는 번거로움이 발생한다. 다운로드를 받을 때 사용하기에 가장 손쉬운 경량 장치는 스마트폰으로 판단되어, 스마트폰에 기본으로 탑재되는 근거리 통신 모듈인 블루투스를 사용하기로 결정하였다.

계측 센서에 연결되는 마이크로컨트롤러는 오픈 소스를 기반으로 한 아두이노를 사용하였다. 아두이노의 제품군중 아두이노 나노(Arduino Nano)의 경우 소형이라는 장점이 있지만, 센서, 실시간시계(Real Time Clock, RTC), 저장모듈, 블루투스 등을 연결하기에는 핀이 부족하였다. 아두이노 두에(Arduino due)의 경우 데이터 처리를 위한 핀의 갯수가 충분하지만 크기가 크다는 단점이 있었다. 따라서 아두이노 우노(Arduino Uno)를 사용하여 장치를 구성하였다. 블루투스 모듈은 HC-06, 실시간시계는 DS-1302, SD카드 모듈은 아두이노 이더넷셸드 W5100에 포함된 모듈을 사용하였으며, 토양수분센서

는 YL69(Moisture sensor)와 YL38(Moisture module)의 조합을 사용하였다.

계측 장치는 그림 2와 같은 순서로 동작한다. 먼저 부팅 후에 관련 하드웨어를 초기화하고 현재 시간을 갱신한다. 데이터 수집장치와의 블루투스 연결을 확인한 후 연결이 되었으면 토양 수분 센서의 데이터가 기록된 로그 파일을 전송한다. 만약 블루투스 연결이 되어 있지 않으면 토양 수분 센서로부터 값을 읽어와 현재 시간과 함께 로그 파일을 외장 SD 카드에 기록한다.

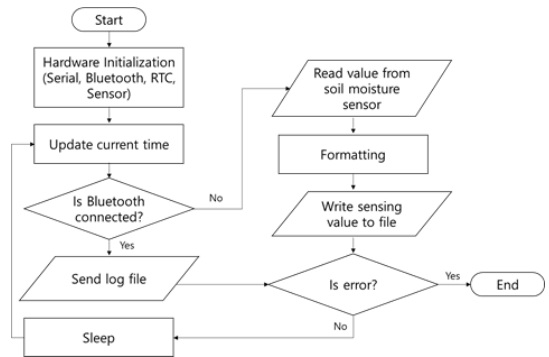


그림 2. 계측 장치 동작 과정
 Fig. 2. Measurement device operation sequence

3. 데이터 수집장치

데이터 수집장치는 드론에 탑재되어 계측 장치가 설치된 곳으로 이동한 후에 데이터를 수신하는 역할을 수행한다. 이를 위해서 데이터 수집장치는 연결을 초기화하고 데이터 송수신을 제어하는 블루투스 마스터(Master)의 역할을 수행하고 계측 장치는 슬레이브(slave)로써 마스터로부터 연결 요청이 올 때까지 대기한다.

데이터 수집장치는 그림 3과 같은 순서로 동작한다. 블루투스 활성화를 통해 하드웨어 모듈을 초기화하고 주변에 통신 가능한 디바이스가 있는지를 스캐닝한다. 만약 장치가 발견되면 인증과정을 통해 계측 장치와 통신할 준비를 하고 두 개 이상의 장치가 발견되면 가장 수신 강도가 높은 장치를 선택하여 연결을 시도한다. 계측 장치와의 연결이 이루어지면 데이터를 전송 받을 준비를 하고 모든 데이터가 전송 완료되면 이를 외부 저장소에 로그 파일로 기록한다. 로그 파일 작성이 완료되면 다른 계측 장치로 이동하기 위해 연결을 종료하고 일정 시간 대기 후에 다시 디바이스 스캐닝을 시작한다.

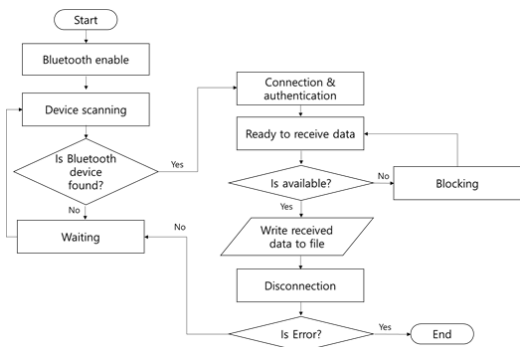


그림 3. 데이터 수집장치 동작 과정
Fig. 3. Data collecting device operation sequence

III. 실험 및 실험 결과

본 논문에서 제안한 시스템의 가용성을 평가하기 위해 그림 4과 같은 테스트 시나리오를 통해 실험하였다. 먼저 데이터 수집장치를 탑재한 드론이 처음 위치에서 약 100 m 떨어진 양지 사이트로 이동하여 약 40초 정도 상공에 머물면서 블루투스를 통해 센서 1(Sensor 1)의 데이터를 다운로드 한다. 이후에 약 100m 떨어진 음지 사이트로 이동하여 동일한 작업을 수행하고, 데이터 수집이 완료되면 다시 본래의 위치로 돌아오도록 하였다. 드론의 비행 고도는 5 ~ 10m, 속도는 약 5m/s를 유지하였다.

동일한 작업을 드론을 이용하지 않고 인력으로 데이터를 수집하는 실험도 실시하였다. 물론 사람의 이동속도보다 드론의 비행속도가 빠르므로 당연히 드론이 시간적 측면에서 효율성이 우수할 것으로 예상된다. 그러나 그 효율성을 정량적으로 비교하기 위해 실험 대조군으로서 인력을 이용한 데이터 수집 실험을 실시하였다.

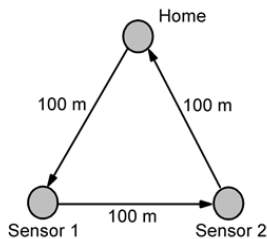


그림 4. 테스트 시나리오
Fig. 4. Test scenario

그림 5는 드론을 이용하여 계측데이터를 수집했을 경우와 인력으로 계측 데이터를 수집했을 경우 소요된 시간을 비교한 결과를 보여주고 있다. 당연하게도 드론을 이용하여 센서의 측정 데이터를 다운로드 받았을 경우 인력으로 다운로드 받았을 때보다 시간상으로 효율적인 것을 알 수 있다. 블루투스 페어링과 다운로드 받는데 소요되는 시간은 거의 동일하므로, 각 지점간 이동에 소요된 시간이 절대적으로 전체 소요시간에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이번 실험에서 드론의 조정은 수동으로 실시하여 드론의 최고 비행속도인 16 m/s보다 느린 약 5 m/s로 비행하였다. 이는 드론을 조정하는 사람의 숙련도에 따라 시간의 효율성은 달라질 수 있다는 것을 의미한다. 드론에 자율 비행 프로그램을 설정한다면 효율성을 더욱 증대시킬 수 있을 것으로 예상된다.

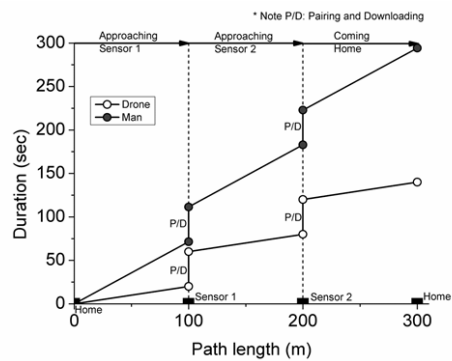


그림 5. 드론과 사람의 작업 시간 비교
Fig. 5. Working duration comparison between a drone and an inspector

그림 6는 수집된 데이터의 결과를 보여준다. 실험에서 사용한 토양수분 센서는 토양 내 수분함량에 따른 저항의 변화를 측정하는 센서로 토양 내 수분함량이 많으면 저항 값이 작아지고, 수분함량이 적으면 저항 값이 커지는 방식으로 동작한다. 이러한 원리를 통해 수분량에 따른 저항의 변화를 0~1023 범위 내에서 디지털로 환산된 결과값으로 전환한다. 따라서 양지에 설치된 계측 센서 1(Sensor 1)의 측정값이 음지에 설치된 계측 센서 2(Sensor 2)보다 큰 값을 가지는 것을 알 수 있다. 상이한 데이터를 사용한 것이 아니라 동일한 데이터에 대해 수집 방법을 드론 또는 인력으로 수집하였으므로, 계측 데이터 값은 동일하였다.

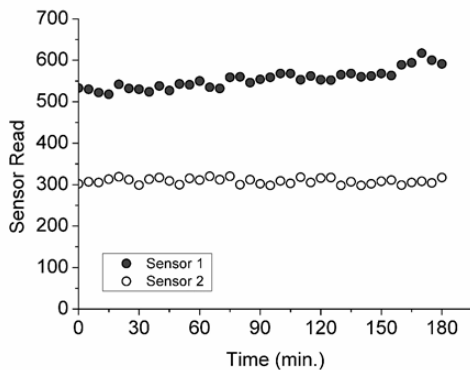


그림 6. 계측 장치를 통해 수집된 데이터
 Fig. 6. Collected data by measurement devices

IV. 결론

최근 드론 기술의 발달과 관련 기술과의 연동을 통해 드론의 활용 범위가 넓어지고 있다. 기존의 모니터링 시스템에 드론을 활용할 경우 데이터 수집의 주기를 짧게 할 수 있고, 사람이 접근하기 어렵거나 위험한 지역도 투입할 수 있어 접근성을 향상시키는 장점이 있다. 본 논문에서는 이러한 드론을 지반공학관련 프로젝트를 수행함에 있어 정확한 지반 정보를 수집하기 위한 용도로 사용하기 위한 시스템을 설계하고, 이를 구현하여 가용성을 테스트해보았다. 실험 결과 드론을 사용하여 계측 장치의 데이터를 수집할 경우 인력을 사용할 때보다 시간을 줄일 수 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 향후 자율 비행 기능을 추가하여 정확한 위치에 빠른 속도로 접근하여 데이터 수집의 효율성을 높이는 연구도 추진할 계획이다.

References

[1] I. Moon, and Y. Kim, "Correlation Analysis between Soil Shear Strength Parameters and Cone Index Using Artificial Neural Networks - 1," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society(JKAIS), Vol. 16, No. 3, pp.2234-2241, 2015 (DOI: 10.5762/KAIS.2015.16.3.2234).

[2] K. Kim, "A Study of Sensor Network for Soil

Moisture Measurement," The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 12, No. 1, pp.239-243, 2012 (DOI: 10.7236/IJWIT.2012.12.1.239).

[3] C. C. Douglas, and et al., "Dynamic Data-Driven Application Systems for Empty Houses, Contaminant Tracking, and Wildland Fireline Prediction," Grid-Based Problem Solving Environments, Vol. 239, No. 5, pp 255-272, 2007 (DOI: 10.1007/978-0-387-73659-4_14).

[4] C. Dang, and et al., "Vision Based Ground Object Tracking Using AR.Drone Quadrotor," in Proceedings of International Conference on Control, Automation and Information Sciences, pp.146-151, 2013 (DOI: 10.1109/ICCAIS.2013.6720545).

[5] P. Ha, H. Yamamoto, K. Yamazaki, "Using Autonomous Air Vehicle in DTN Sensor Network for Environmental Observation," in Proceedings of IEEE Computer Software and Applications Conference, pp.447-450, 2013 (DOI: 10.1109/COMPSAC.2013.74).

[6] M. L. Mauriello, J. E. Froehlich, "Towards Automated Thermal Profiling of Buildings at Scale Using Unmanned Aerial Vehicles and 3D-Reconstruction," in Proceedings of the ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, pp.119-122, 2014 (DOI: 10.1145/2638728.2638731).

[7] K. F. Flynn, and S. C. Chapra, "Remote Sensing of Submerged Aquatic Vegetation in a Shallow Non-Turbid River Using an Unmanned Aerial Vehicle," Remote Sensing, Vol. 6, No. 12, pp.12815-12836, 2014 (DOI: 10.3390/rs61212815).

[8] L. Tang, and G. Shao, "Drone remote sensing for forestry research and practices," Journal of Forestry Research, Vol. 26, No. 4, pp.791-797, 2015 (DOI: 10.1007/s11676-015-0088-y).

저자 소개

김 태 식(정회원)



- 2000년 : 서울대학교 지구환경시스템 공학부 졸업(학사).
- 2002년 : 서울대학교 지구환경시스템 공학부 졸업(석사).
- 2011년 : Northwestern University. 졸업(박사).
- 2013년~현재 : 홍익대학교 토목공학과 조교수

<주관심분야 : 도심지 굴착, 무선 센서 네트워크, IoT>

정 진 만(정회원)



- 2008년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)
- 2014년 : 서울대학교 전기컴퓨터공학과 졸업(박사)
- 2014년~현재 : 한남대학교 정보통신공학과 조교수

<주관심분야 : 운영체제, 임베디드 시스템, IoT, 시스템 보안>

민 흥(정회원)



- 2004년 : 한동대학교 전산과학 졸업(학사).
- 2011년 : 서울대학교 컴퓨터공학부 졸업(박사).
- 2013년~현재 : 호서대학교 컴퓨터정보공학부 조교수.

<주관심분야 : 운영체제, 무선 센서 네트워크, 스마트폰 센싱, 임베디드 시스템, 결합허용 시스템, IoT>

※ 본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(15CTAP-C097367-01)에 의해 수행되었습니다.