

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 44(7), 611-619(2016)

DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2016.44.7.611

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

LiDAR를 이용한 농업용 무인헬기 충돌방지시스템 개발

정준호*, 김학성*, 이동우***, 석진영*, 김승균**, 김진구****, 류시대*****, 김성남*****

Development of Collision Prevention System for Agricultural Unmanned Helicopter

Junho Jeong*, Hakseong Gim*, Dongwoo Lee***, Jinyoung Suk*, Seungkeun Kim**, Jingu Kim****, Si-dae Ryu***** and Sungnam Kim*****

Department of Aerospace Engineering, Chungnam National University*·**, Hanwha Co.***, Poongsan Co.****, DBRAIN Co.*****, Sungwoo Engineering Co.*****

ABSTRACT

This paper proposes a collision prevention system for an agricultural unmanned helicopter. The collision prevention system consists of an obstacle detection system, a mapping algorithm, and a collision avoidance algorithm. The obstacle detection system based on a LiDAR sensor is implemented in the unmanned helicopter and acquires distance information of obstacles in real-time. Then, an obstacle mapping is carried out by combining the distance to the obstacles with attitude/location data of the unmanned helicopter. In order to prevent a collision, alert is activated to an operator based on the map when the vehicle approaches to the obstacles. Moreover, the developed collision prevention system is verified through flight test simulating a flight pattern aerial spraying.

초 록

본 논문에서는 농업용 무인헬기를 위한 LiDAR 기반 충돌방지시스템을 제안하고 개발과정을 소개한다. 충돌방지시스템은 장애물 검출 시스템, 매핑 알고리즘, 충돌회피 알고리즘으로 구성된다. LiDAR 기반의 장애물 검출 시스템은 무인헬기에 탑재되어 실시간으로 장애물 정보를 획득하며, 이를 통해 획득한 정보와 무인헬기 자세/위치 정보를 융합하여 충돌위험성이 있는 장애물에 대해 격자 지도 기법을 적용한 매핑을 수행한다. 무인헬기가 장애물에 접근할 시 확보된 지형정보를 기반으로 충돌방지 경고 생성을 위해 종/횡방향 기동을 고려한 충돌방지 알고리즘을 구현하며, 이를 통해 운용자에게 전달해 회피 기동을 수행한다. 구축된 시스템은 무인헬기를 이용해 항공방제 패턴을 모사한 비행시험을 수행하였으며, 비행시험 결과 충돌방지 성능 및 가능성을 확인하였다.

Key Words : Collision Prevention System(충돌방지시스템), LiDAR Sensor(LiDAR 센서), Agricultural Unmanned Helicopter(농업용 무인헬기), Flight Test(비행시험), Collision Avoidance(충돌회피)

† Received : August 20, 2015 Revised : June 1, 2016 Accepted : June 4, 2016

** Corresponding author, E-mail : skim78@cnu.ac.kr

I. 서 론

항공기를 이용한 항공방제는 광활한 지역을 단시간에 방제할 수 있는 장점이 있으나, 고가의 운용/유지비용과 기반시설 구축에 어려움이 있어 대규모 농경지에서 주로 이용되며, 방제 지역도 한정된다. 따라서, 산지에 인접한 농지 또는 중소규모 농경지에서는 유인항공기를 이용한 항공방제가 어려운 실정이다. 유인항공방제의 단점을 극복하기 위해서 무인헬기를 이용한 무인항공방제가 이루어지고 있다. 무인헬기를 이용할 시 인력/시간에 대한 제약을 극복할 수 있으며, 로터의 다운위시 효과로 더욱 효율적인 방제가 가능하다. 또한, 자동화된 시스템을 토대로 단시간 교육을 통해 운용 할 수 있는 장점이 있다. 국내에는 일본 야마하의 R-MAX[1]와 성우엔지니어링의 Remo-H[2]가 다수 운용되고 있다. 최근 무인방제를 위한 무인헬기가 다수 운용에 따라 농경지 주변에 산재한 나무, 전봇대, 둔덕 등 인공/자연 장애물에 의한 기체 손실이 보고되고 있다. 이러한 장애물 충돌 사고는 기체 손실로 인한 금전적 비용뿐만 아니라, 인명 피해도 야기할 수 있기에 충돌방지시스템 구축이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 LiDAR(light detection and ranging) 센서를 이용하여 농업용 무인헬기 주변의 장애물을 탐지하고 회피할 수 있는 충돌방지시스템에 대한 기본 기술을 확보하고자 한다.

장애물 검출 장비로 사용되는 LiDAR 센서는 레이저와 반사경을 이용해 대상체의 거리를 측정하는 장비로, 레이저의 발사시간과 반사시간을 비행시간법(TOF, time-of-flight)으로 계산하여 거리정보를 측정한다[3]. 내부 반사경이 회전을 통해 일정 범위에 대한 거리 데이터 검출이 가능하기 때문에 다양한 연구기관에서 장애물 검출, 지형정보 구축 등을 위한 연구를 수행하고 있다. 자율주행을 위한 응용분야로 무인차량의 동역학과 LiDAR 센서 정보를 토대로 매핑(mapping)을 구축한 후 자율주행 수행에 대한 연구가 진행되었으며[4], 영상정보와 LiDAR 정보를 융합하여 비주얼 오도메트리(visual odometry) 연구를 수행하였다[5]. 재난지역 확인 및 지형정보 획득을 위해 다양한 연구가 진행되었다. 차량에 LiDAR, 카메라, GNSS, IMU를 통합한 MMS(mobile mapping system)을 탑재해 2011년 동일본 대지진 피해지역에 대한 파손 정보를 매핑을 통해 확인한 사례가 있다[6]. 지질학적 위험 지역에 관한 사고 발생 사전 방지 및 감시를 위한 해당지역 매핑과 모니터링을 위해 LiDAR 센서를 항공기에 탑재하여 운용하였다[7]. 지각구조, 변형연구

와 지하수, 석유, 광산 추출 탐사를 위한 지형 정보 구축을 위해 항공 LiDAR 측량을 수행하였다[8]. 또한 항공 LiDAR는 도심에 존재하는 정보 분류를 위한 연구에 적용된바 있으며[9], 복잡한 교차로에 대한 분석을 항공 LiDAR 정보를 토대로 3차원 복원하여 판단하는 연구가 수행되었다[10]. 무인항공기를 통해 획득한 항공 LiDAR 정보를 통해 지형에 대한 매핑 연구가 진행되었으며[11], 쿼드콥터에 저가형 LiDAR를 탑재하여 실내 항법을 위한 3차원 매핑 연구를 수행하였다[12]. 우주분야에서는 LiDAR가 포함된 센서시스템 기반 초소형 위성 항법 알고리즘 연구[13]와 달착륙선의 착륙시스템[14] 연구가 수행되었다.

본 논문에서는 항공 LiDAR 정보를 이용해 장애물 위치를 매핑하여 농업용 무인헬기를 위한 충돌방지시스템을 제안한다. 장애물 검출 시스템, 매핑 알고리즘, 충돌회피 알고리즘으로 구성된 충돌방지시스템을 설명하고, 비행시험을 위한 무인헬기 시스템에 대해 기술한다. 개발된 충돌방지시스템의 무인헬기를 이용한 비행시험 결과를 나타낸다. 본 연구를 통해 농업용 무인헬기를 위한 충돌방지시스템을 개발하였으며, 항공방제 시 비행 궤적을 모사한 비행시험을 통해 충돌방지 성능 및 적용 가능성을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 장애물 검출 시스템, 장애물 매핑 알고리즘, 그리고 충돌방지 알고리즘으로 구성된 충돌방지시스템을 소개한다. 개발된 충돌방지시스템 검증을 위해 무인헬기 시스템을 이용 수행한 비행시험을 수행하였으며, 3장에서 결과를 나타낸다. 마지막으로, 결론 및 향후 연구는 4장에 기술한다.

II. 충돌방지시스템

본 연구는 농업용 무인헬기 운용 시 전봇대, 차량, 둔덕과 같은 장애물에 충돌을 피해 안전한 운용이 가능하도록 하는 충돌방지시스템 개발하는 것을 목표로 한다. 충돌방지시스템은 장애물 검출 시스템, 장애물 매핑 알고리즘, 그리고 충돌방지 알고리즘으로 구성된다. 시스템 개발에 앞서 충돌방지에 대한 성능 요구조건을 설정한다. 무인헬기 전방 30m 이내 장애물이 존재 할 시 검출 가능해야하며, 장애물과 무인헬기의 거리가 30m에서 5m 까지 범위에서는 충돌 위험 경고를 발생토록 한다. 장애물과 상대거리가 5m 위치를 접근 제한으로 설정하며, 충돌회피 기동을 수행하도록 한다. 장애물 검출고도는 농업용 무인헬기의 운용고도인 지면 위 3m를 기준으로 한다. Fig. 1은 충돌방지시스템의 개념도를 보여준다.

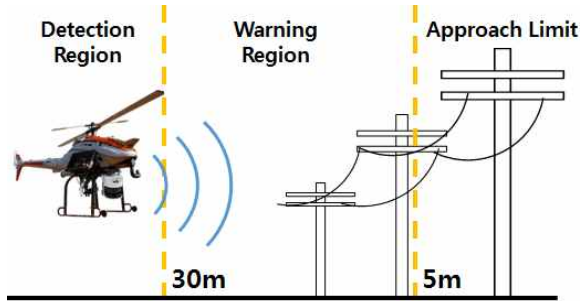


Fig. 1. Concept of collision prevention system

2.1 장애물 검출 시스템

장애물 검출 시스템은 무인헬기에 탑재되는 시스템으로 연구개발 시 운용에 있어 기존 비행 제어 탑재 시스템과 상호영향을 줄이기 위해 독립적으로 구축한다. 개발된 장애물 검출 시스템은 LiDAR 센서를 기반으로 구축되며, 비행시험 시 상황 모니터링을 위한 카메라를 탑재한다. 검출된 데이터 전송을 위해 무선 통신장비를 장착하였으며, 전력 공급을 위해 외부 배터리를 장착하였다. 장애물 검출 시스템은 탑재 구조물을 설계하여 무인헬기에 장착되며, Fig. 2와 같이 구성된다.

본 연구에서는 장애물 검출 시스템을 위한 LiDAR 센서는 독일 SICK의 LMS-511를 선정하며, 사양은 Table 1과 같다. LiDAR 센서를 통해 검출된 장애물을 지상에서 확인하기 위해 무선

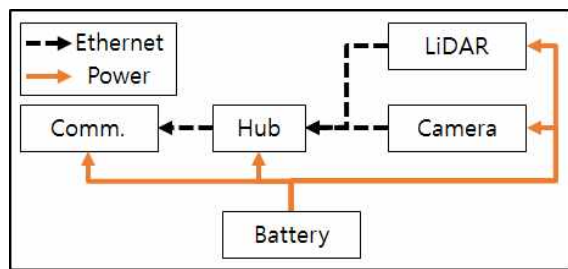


Fig. 2. System interface of obstacle detection system

Table 1. Specification of LiDAR sensor[15]

	Manufacturer	SICK
	Model	LMS-511
	Range	80m
	Scan angle	190°
	Frequency	max100Hz
	Weight	3.7kg

Table 2. Requirement of batteries

Device	Voltage	Power consumption	Required batteries
LiDAR	24V	24W	24V/1,500mAh
Comm.	12V	18W	12V/3,800mAh
Hub	5V	5W	
Camera	12V	7.2W	

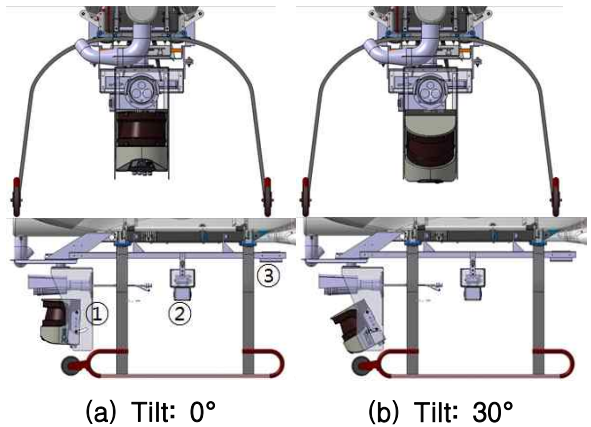


Fig. 3. Mounting structure of obstacle detection system

통신장비를 선정한다. 본 연구에서는 LiDAR 센서와 영상 정보를 하나의 통신장비로 송신이 가능한 ethernet 규격으로 통신장비를 선정하였다. 선정된 통신장비는 ethernet hub를 통한 여러 정보의 통합 전송이 가능하다. 또한, 탑재 장비의 전원공급을 위해 배터리를 선정한다. 배터리는 1시간 운용을 기준으로 Table 2와 같은 요구조건을 도출하며, 안전용량 1.5배를 고려한 배터리를 선정한다.

무인헬기에 상기 장비들 탑재를 위한 구조물은 LiDAR 센서와 영상 카메라 장착이 용이해야 하며, 통신장비와 배터리 탑재 공간을 고려하여 설계한다. 탑재 구조물은 Fig. 3과 같이 설계하며 각 LiDAR 센서와 카메라 탑재(①), 통신장비와 배터리 탑재(②), 그리고 탑재장비로 인한 무게중심 변경 보상을 위한 무게 더미 장착(③) 부분으로 구성된다. 장착 센서의 각도 조절을 위해 센서 탑재부(①)는 각도조절(0°~30°)이 가능하게 설계한다.

2.2 장애물 매핑 알고리즘

충돌방지시스템 구축을 위해 장애물 검출 시스템을 통해 확보된 거리 데이터를 토대로 장애물 매핑을 수행한다. 매핑을 위해서는 검출된 거리 데이터의 좌표변환 및 회전변환이 요구되며,

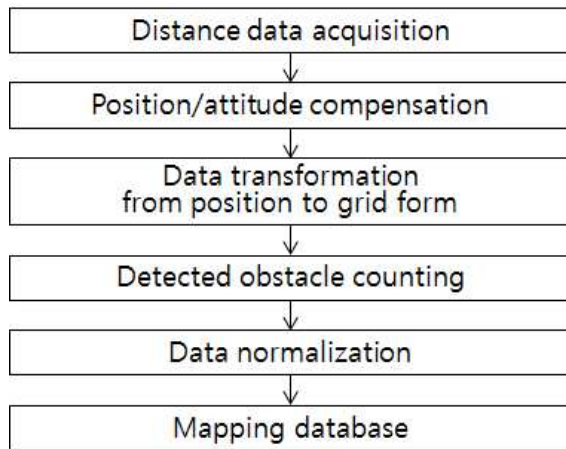


Fig. 4. Mapping procedure

이를 위해서 위치정보와 자세정보가 필요하다. 본 연구에서는 이를 위해 무인헬기에 탑재되어 있는 GPS 수신기를 통해 획득한 위치정보와 자이로/지자기 센서를 통해 얻을 수 있는 자세정보를 이용해 매핑을 수행한다. 매핑은 기본적인 격자 지도 기법을 적용한다. 격자 지도 기법은 지면을 일정한 격자로 가정한 후 장애물이 검출될 시 해당 부분의 격자에 검출 정보를 저장해 맵을 생성한다. 본 기법은 격자와 맵의 크기에 따라 정보 처리 시간이 증가하나, 장애물과 같은 지형정보 저장이 유리하다. 본 연구에서 적용한 매핑은 아래와 같은 절차로 이루어지며, Fig. 4와 같이 설정한다.

LiDAR를 통해 획득한 거리정보를 무인헬기에서 받은 위치/자세 정보를 이용해 변환한다. 변환된 데이터는 정의된 격자에 장애물 정보를 저장하며, 장애물 탐지 요구조건이 m급으로 설정되어 있기에 하나의 격자를 1m×1m로 설정하여 매핑을 수행한다. 확보된 장애물의 위치정보는 누적된 값으로 격자에 저장시키며, 데이터 정규화를 선정 LiDAR 센서의 검출 가능한 범위로 설정한다. 선정 센서를 지상 단품시험을 통해 80m 거리에서 적절한 검출 정보가 나오음을 확인했으며, 기하학적 단순화를 위해 반원(기수 기준 $\pm 90^\circ$)을 제한조건으로 설정한다. 정규화된 데이터는 등고선 방법을 적용해 장애물 매핑을 수행한다.

구축한 매핑 알고리즘 검증을 위해 지상시험을 수행하였다. 지상시험장치는 선정 장애물 검출을 위한 LiDAR 센서와 위치/자세 정보 획득을 위한 3DR Pixhawk[16], 데이터 수집 및 매핑을 위한 노트북, 그리고 전원부로 구성된다. 구성된 지상시험장치를 이용해 위치와 방향각 변경을 통해 지상시험을 수행하였으며, 결과는 Fig. 5와 같

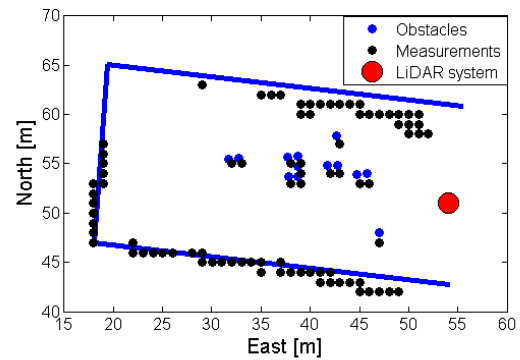


Fig. 5. Ground test result to validate mapping algorithm

다. 장애물의 위치는 청색, 지상시험장치의 위치는 적색, 획득한 장애물 정보는 흑색으로 각각 표시한다. 매핑 결과에서 보이는 것과 같이 자세 보정값 오차에 따라 장애물 검출 에러가 발생함을 볼 수 있다. 하지만 이 에러는 측정 heading값 에러에 기인한 것이며, 지상시험장치를 위해 저가형 센서를 사용하여 발생한 오차로 확인 하였다. 무인헬기에 장착되는 충돌방지시스템은 고정밀도 자세정보를 활용하기 때문에 지상시험을 통해 발생한 오차는 시스템 통합 시 개선되었음을 확인 하였다.

2.3 충돌방지 알고리즘

농업용 무인헬기 운용 시 장애물 검출 시스템과 매핑 알고리즘을 통해 검출된 장애물의 위치정보를 기반으로 충돌방지 알고리즘을 구성한다. 이에 앞서 알고리즘 구성을 위한 장애물 검출 모드와 경고 단계(warning level)에 대한 정의를 한다. 장애물 검출 모드는 총 4가지로 인지(recognition), 주의(attention), 경고(caution), 그리고 충돌(collision)모드로 구성된다. 충돌방지 상황을 판단하는 척도가 되는 경고 단계는 무인헬기와 장애물과의 상대거리와 무인헬기 비행속도에 따라 달라지는 함수로 구성된다. 경고 단계를 위해 범위에 대한 기하학적 형상 결정이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 종방향과 횡방향으로 비행이 가능한 무인헬기의 특성과 LiDAR 센서의 성능을 고려하여 경고 단계를 결정하는 범위를 반-타원(semi-ellipse)으로 결정한다. 형상에 대한 식은 극좌표계(polar coordinate system)에서 아래 식(1)과 같이 정리된다.

$$R = \begin{cases} \frac{a_r b}{\left(\sqrt{a_r^2 + (b^2 - a_r^2) \cos^2(\gamma)}\right)}, & 0 \leq \gamma \leq \frac{\pi}{2} \\ \frac{a_l b}{\left(\sqrt{a_l^2 + (b^2 - a_l^2) \cos^2(\gamma)}\right)}, & \frac{\pi}{2} < \gamma \leq \pi \end{cases} \quad (1)$$

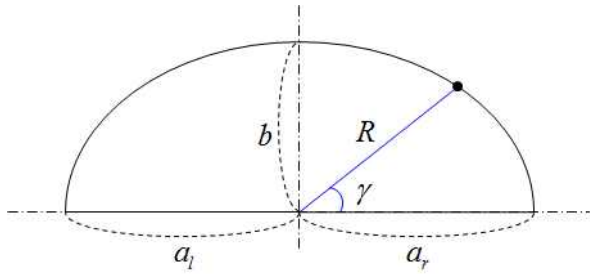
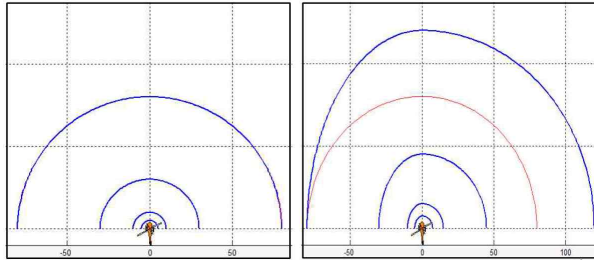


Fig. 6. Geometric definition of semi-ellipse



(a) $V_{lon} = V_{lat} = 0m/s$ (b) $V_{lon} = V_{lat} = 1.5 m/s$

Fig. 7. Boundary with regard to velocities

Table 3. Obstacle detection modes

Mode	Warning level	ECT(sec)	Note
Collision	4	0~ 5	collision avoidance
Caution	3	5~10	
Attention	2	10~15	alarm
Recognition	1	15~	-

위 식의 a_r 과 a_l 은 각각 반-타원 형상의 횡방향에 대한 거리 기준이며, b 는 종방향에 대한 거리 기준이다. γ 는 좌표의 각도를 의미하며 반타원 형상을 고려하기 때문에 범위는 $0^\circ \sim 180^\circ$ 이다. 마지막으로 R 은 좌표의 거리를 의미하며, Fig. 6에 반-타원 형상에 대한 기하학적 정보를 도시한다.

경고 단계 기준 형상은 무인헬기의 비행속도를 고려해 결정된다. 형상을 결정하는 변수 a 와 b 는 무인헬기의 종/횡방향 이동속도에 따라 변경된다. 비행속도가 1m/s 이하일 경우 Fig. 7-(a)와 같이 최소 범위를 유지하도록 하며, 후방으로 속도가 증가되는 경우 역시 최소 범위를 유지토록 한다. Fig. 7-(b)와 같이 무인헬기 기수 기준 종방향과 횡방향 속도가 양으로 증가되는 경우 a_r 와 b 의 값이 증가하는 형상이 생성된다.

상기 내용과 같이 장애물 검출 모드는 속도에 따라 구성되며, 본 연구에서는 속도와 거리 정보를 통해 얻어지는 예상 충돌시간(ECT, expected collision time)을 산출하여 장애물 검출 모드와

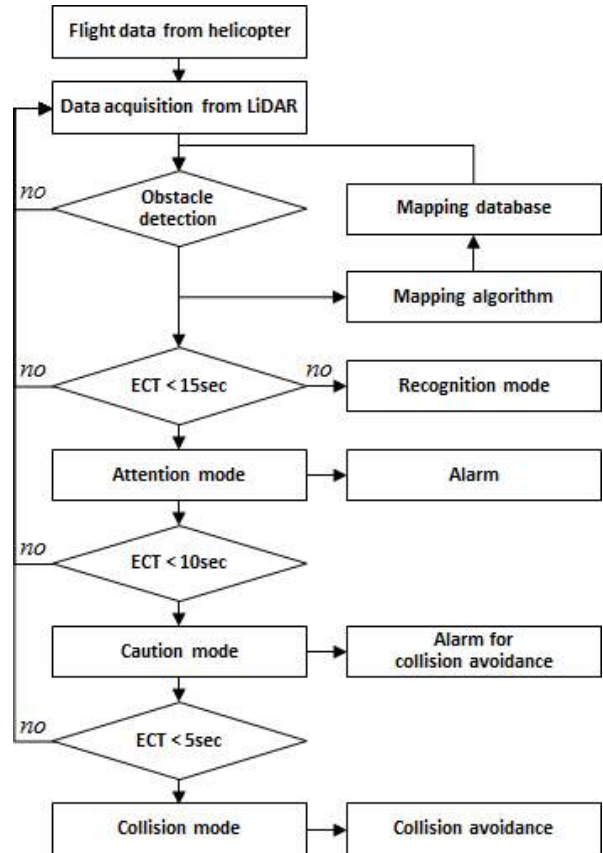


Fig. 8. Collision prevention algorithm

경고 단계를 Table 3과 같이 정의한다.

장애물 검출 과정에서는 LiDAR를 통해 획득한 거리 정보와 매핑으로 확보된 정보를 활용한다. 이를 통해 획득한 거리정보를 토대로 충돌방지 알고리즘은 각 모드별로 적용된다. 주의모드에서 알람을 통해 운용자에게 장애물의 존재를 전달하며, 경고모드에서는 충돌회피를 위한 알람, 그리고 마지막 충돌모드에서는 회피 기동을 자동으로 수행토록 알고리즘을 Fig. 8과 같이 구성한다.

III. 비행시험

충돌방지시스템 검증을 위해 비행시험을 실시한다. 비행시험 중에는 실시간 장애물 거리 정보를 토대로 충돌회피 기동을 수행하며, 매핑이 적용된 알고리즘은 비행시험 데이터 기반 실시간 시뮬레이션으로 검증한다. 비행시험을 위해 탑재 비행시험이 가능한 무인헬기[17]를 사용하며, 세부 제원은 Table 4와 같다. 해당 무인헬기는 상용화된 농업용 무인헬기 시스템[2]을 기반으로 자체 자동비행시스템을 통해 위치정보와 자세정보 획득이 가능하며, 이를 바탕으로 정밀한 비행

Table 4. Specification of RemoH-V2C[17]

Contents	Specification
Length	2,755mm
Width	660mm
Height	1,050mm
MTOW	120kg
Endurance	1hour

이 가능한 비행체이다. 시스템 통합은 비행 상황에서 상호 영향 최소화를 위해 독립적으로 구성한다. 통합 시스템을 통한 충돌방지시스템 검증을 위해 비행에 대한 시나리오를 수립하며, 개발된 충돌방지시스템의 장애물 감지와 경보 기능에 대한 확인을 위한 비행시험을 수행한다. 비행시험은 항공방제 상황을 모사하기 위해서 외부 조종사에 의한 S/CAS 모드 비행을 수행하며, 충돌방지시스템을 통해 감지된 장애물의 위치와 무인헬기의 정보를 기반으로 생성된 경고는 외부 조종사에게 전달되어 회피기동을 수행한다. 상기 충돌방지 알고리즘을 위한 무인헬기의 위치와 자세 값은 자동비행시스템이 구축된 해당 무인헬기에서 제공하는 정보를 활용한다. 또한 LiDAR가 포함된 센서 탑재부는 무인헬기의 정면에 위치하며, 각도는 0°로 고정하여 비행을 수행한다.

3.1 통합 시스템 인터페이스

비행시험을 위해서는 구축된 충돌방지시스템과 무인헬기 시스템의 시스템 통합이 이루어져야 하며, 본 연구에서는 개발된 충돌방지시스템과 무인헬기 시스템과 독립된 탑재물로 구성하여 비행 시 상호영향을 최소화하고자 한다. 장애물 매핑을 위한 무인헬기의 위치/자세 정보는 무인헬기 지상통제시스템을 통해 충돌방지시스템 지상국으로 전송되는 인터페이스를 구축하며, Fig. 9

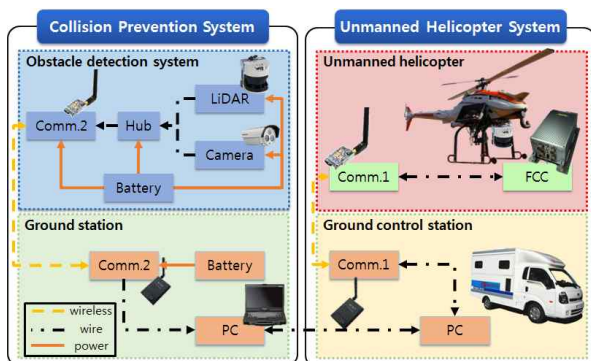


Fig. 9. Integrated system interface

Table 5. Communication information of integrated system

System	Comm.	In/out	Info.
Unmanned helicopter	serial	in	command
	serial	out	flight data
Ground control station	serial	in	flight data
	serial	out	command
	ethernet	out	flight data
LiDAR	ethernet	in	command
	ethernet	out	obstacle
Camera	ethernet	out	video
Ground station	ethernet	in	obstacle/video
	ethernet	in	flight data
	ethernet	out	command



Fig. 10. Integrated system for flight test

와 같이 구성한다.

통합 시스템의 각 시스템의 인터페이스 연결 방법과 통신 정보는 Table 5와 같다. 본 연구에서는 무인헬기 진동으로 인한 센서 영향을 최소화하기 위해 방진장치를 장착하며, 센서부 상단 방열판을 장착하여 소음기에서 발생한 열에 대응하도록 통합 시스템을 구축한다. 구축한 통합 시스템은 Fig. 10과 같다.

3.2 비행시험 시나리오

충돌방지시스템 검증을 위해 장애물 탐지 및 항공방제를 고려한 시나리오를 수립한다. 비행시험 장소는 농지로 사용되는 충청북도 청주시 금계리 일대 농경지로 선정한다. 시나리오 #1 지역은 우측과 하방에 둔덕이 존재하며, 둔덕 위와 하단좌측부에 전봇대가 존재한다. 비행궤적은 농지의 장애물을 효과적으로 검출하기 위해 농경지 테두리를 사각형 모양으로 비행하도록 설정하며, 무인헬기 기수가 진행방향과 일치하며 비행을 하

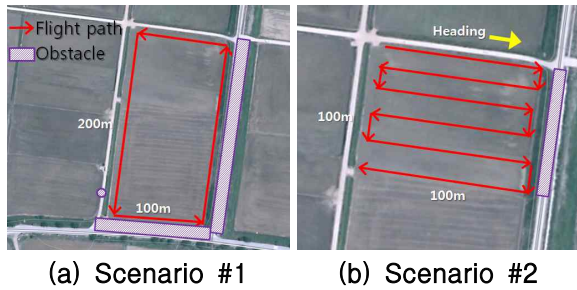


Fig. 11. Scenarios for flight tests

도록 한다. 시나리오 #2는 농업용 무인헬기를 이용해 항공방제를 수행할 때와 동일한 패턴을 비행체적으로 설정하며, 무인헬기의 기수를 최초 진행방향으로 고정한 채 임무를 수행한다.

3.3 비행시험 결과

연구된 충돌방지시스템 검증을 위해 수립된 시나리오에 따라 탑재비행시험용 무인헬기[17]를 이용한 비행시험을 외부 조종사의 조종을 통해 수행한다. 비행의 안전을 위해 장애물 검출 모드가 경고모드(경고 단계 3)에 도달할 시 조종사에 의한 회피기동을 수행한다.

3.3.1 시나리오 #1

첫 번째 시나리오에 따른 사각형 궤적의 비행 시험을 수행하였다. 비행궤적 및 검출된 장애물 지도는 Fig. 12와 같으며, 종/횡 방향 속도와 장애물 검출 모드는 Fig. 13에 나타난다.

이륙지점을 기준으로 조종사가 육안으로 장애물 식별이 가능한 지역은 충돌방지 알고리즘을 적용하지 않으며 점선으로 표시한다. 조종사의 판단이 어려운 지역에서는 충돌방지 알고리즘을 통해 장애물 검출에 대한 회피기동을 수행하도록

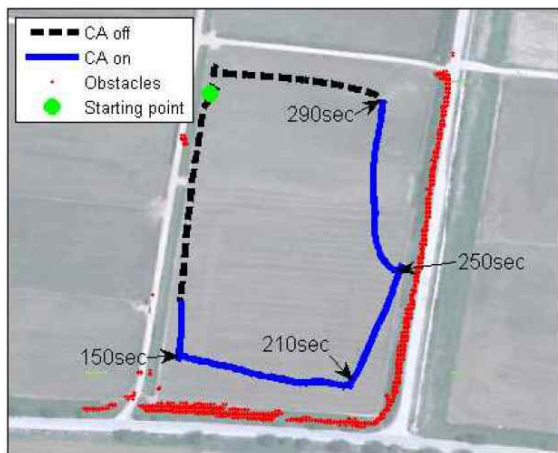


Fig. 12. Trajectory and obstacle map of scenario #1

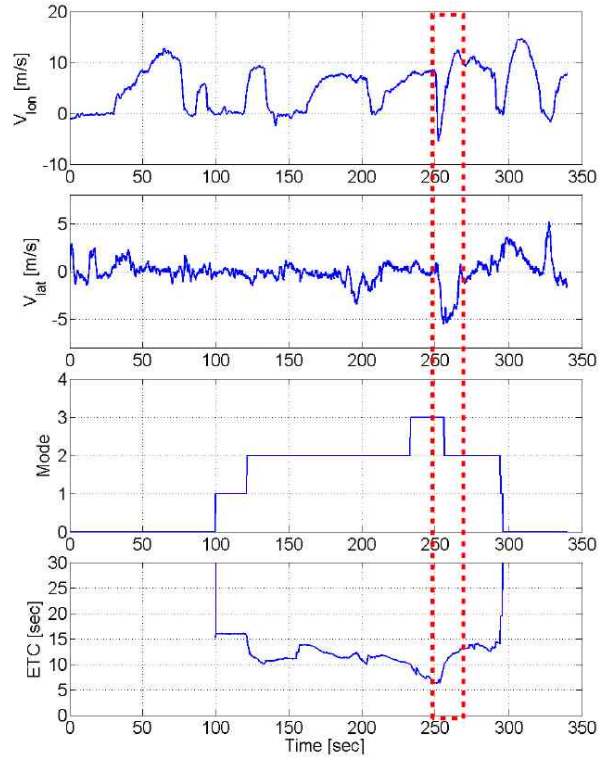


Fig. 13. Flight data of scenario #1

하며 실선으로 나타난다. 무인헬기가 경고모드에 들어온 250초 경 Fig. 13과 같이 횡축으로 회피 명령을 주는 것을 확인 할 수 있으며, Fig. 12의 우측 지점에서 회피기동의 궤적을 확인 할 수 있다.

3.3.2 시나리오 #2

두 번째 시나리오에서는 무인헬기를 이용한 항공방제 시 비행궤적에 따른 비행시험을 수행하였다. Fig. 14의 점선 궤적은 조종사의 장애물 식

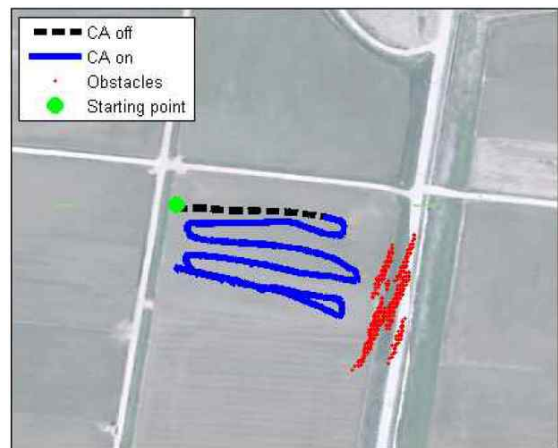


Fig. 14. Trajectory and obstacle map of scenario #2

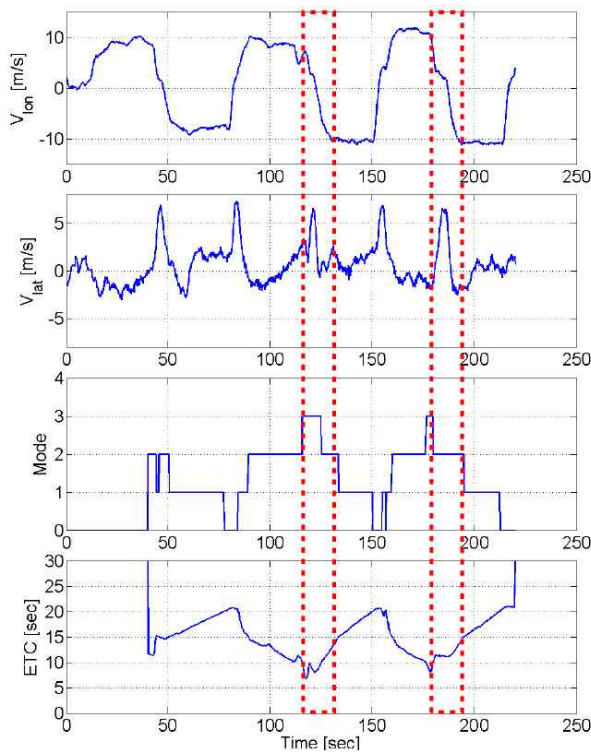


Fig. 15. Flight data of scenario #2

별이 육안으로 가능한 안전지역을 나타내며, 실선은 충돌방지 알고리즘을 통한 장애물 검출 모드 식별을 수행하는 비행궤적을 나타낸다. 작은 점은 장애물을 표시하며, 큰점은 무인헬기의 비행 시작지점을 의미한다. 방제패턴으로 비행 시 장애물 검출을 위한 LiDAR 센서의 데이터 획득 시간이 상대적으로 사각형 궤적 비행 시 보다 적기 때문에 해당 부분의 장애물만을 검출 하는 것을 확인 할 수 있다. 무인헬기가 전면 장애물에 근접하여 장애물 검출 모드가 경고모드에 도달하였을 때 조종사에게 알람을 주며, 종방향 속도 감속을 하며 궤적변경을 위한 횡방향 속도를 증가함을 Fig. 15를 통해 확인 할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 농업용 무인헬기를 위한 LiDAR 기반 충돌방지시스템의 개발과정 및 비행시험 결과를 서술하였다. 충돌방지시스템 구축을 위해 LiDAR 센서를 통해 장애물 감지 시스템을 구성하였으며, 무인헬기의 탑재를 위한 모듈형 장애물 검출 시스템을 개발하였다. 상기 검출 시스템으로 확보된 장애물 위치 정보를 토대로 격자 지도 기법 기반 매핑 알고리즘을 구현하였으며, 지상시험을 통해 알고리즘의 성능을 검

증하였다. 종/횡축으로 가속비행이 가능한 무인헬기의 비행특성을 고려하여 경고 단계와 장애물 검출 모드를 정의하였으며, 이를 토대로 충돌방지 알고리즘을 구현하였다. 구축된 충돌방지시스템은 탑재비행시험이 가능한 무인헬기를 통해 비행시험을 수행하였으며, 안전한 비행시험을 위해 기존 무인헬기 시스템과 독립된 충돌방지시스템을 구축/통합하였다. 무인헬기를 이용한 항공방제 시 충돌의 대부분의 전진비행 시 발생하는 것을 미루어 보아 충돌방지시스템으로써 성능 및 실용화 가능성을 항공방제 패턴을 고려한 비행시험 결과를 통해 확인하였다. 본 연구결과를 통해 농업용 무인헬기를 위한 충돌방지시스템에 대한 개발 기본기술을 확보하였으며, 다양한 알고리즘을 연구하여 무인항공기 분야뿐만 아닌 다른 무인시스템에 확장 가능함을 확인하였다. 하지만, LiDAR 센서만을 이용한 장애물 검출에 있어 전선과 같은 얇은 대상체 검출은 용이하지 않음을 확인하였다. 이를 극복하기 위해서는 영상정보 등 추가 센서와의 융합 및 필터링을 통한 장애물 검출 데이터의 신뢰성을 높이는 연구가 요구된다. LiDAR 센서부의 상하 자동 틸트 메커니즘을 추가할 경우 3차원 매핑이 가능해 보다 효과적인 충돌방지시스템 구축이 예상되며, 실용화를 위해서는 충돌방지시스템의 경량화와 저가 센서를 통한 가격 경쟁력 확보가 요구된다. 이번 연구를 통하여 구축된 충돌방지시스템 개발 기술을 토대로 항공 LiDAR를 이용한 정밀 지형정보 획득, 무인자율비행 등 다양한 연구 및 응용분야에 적용 될 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 산학연 첫걸음기술개발사업(협약 번호 : C0191293)에 의해 지원되었음.

References

- 1) <http://www.yamahaprecisionagriculture.com>
- 2) <https://www.remo-h.com/>
- 3) Yoon, H., Song, H., and Park, K., "A phase-shift laser scanner based on a time-counting method for high linearity performance," *Review of Scientific Instruments*, Vol. 82, 2011.
- 4) Park, J., Kim, J., and Kim, J., "The

Research of Unmanned Autonomous Navigation's Map Matching using Vehicle Model and LIDAR," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems* 17(5), May. 2011, pp.451-459.(in Korean)

5) Zhang, J. and Singh, S., "Visual-LiDAR Odometry and Mapping: Low-drift, Robust, and Fast," *Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA)*, May. 2015, pp.2174-2181.

6) Ariyasu, E., Koizumi, M., Ikubo, M., and Hatake, S., "Application of Mobile LIDAR Mapping for Damage Survey after Great East Japan Earthquake," *Proceedings of International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Sep. 2012, pp.573-576.

7) Joyce, K. E., Samsonov, S. V., Levick, S. R., Engelbrecht, J., and Belliss, S., "Mapping and monitoring geological hazards using optical, LiDAR, and synthetic aperture RADAR image data," *Natural hazards*, Vol. 73 Issue 2, 2013, pp.137-163.

8) Grebby, S., Cunningham, D., Naden, J., and Tansey, K., "Application of airborne LiDAR data and airborne multispectral imagery to structural mapping of the upper section of the Troodos ophiolite, Cyprus," *International Journal of Earth Sciences*, Vol. 101, Issue 6, 2012, pp.1645-1660.

9) Lee, W., "Object-oriented Classification of Urban Areas Using LiDAR and Aerial Images," *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 33, No. 3, 2015, pp.173-179.

10) Cheng, L., Wu, Y., Wang, Y., Zhong, L., Chen, Y., and Li, M., "Three-Dimensional

Reconstruction of Large Multilayer Interchange Bridge Using Airborne LiDAR Data," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 8, No. 2, Feb. 2015, pp.691-708.

11) Lin, Y., Hyyppä, J., and Jaakkola, A., "Mini-UAV-borne LIDAR for fine-scale mapping," *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, Vol. 8, No. 3, May. 2011, pp.426-430.

12) Huh, S., Cho, S., and Shim, D. H., "3-D Indoor Navigation and Autonomous Flight of a Micro Aerial Vehicle using a Low-cost LiDAR," *Journal of Korea Robotics Society*, Vol. 9, No. 3, 2014, pp.154-159. (in Korean)

13) Choi, W., Cho, D., Song, H., Kim, J., Ko, S., and Kim, H., "A 5-DOF Ground Testbed for Developing Rendezvous/Docking Algorithm of a Nano-satellite," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 43, No. 12, Dec. 2015, pp.1124-1131. (in Korean)

14) Lee, C., Park, Y., and Park, C., "Performance Analysis of Landing Point Designation Technique Based on Relative Distance to Hazard for Lunar Lander," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 44, No. 1, Jan. 2016, pp.12-22. (in Korean)

15) <https://www.sick.com/>

16) <https://store.3drobotics.com/t/developer>

17) Jeong, J., Lee, M., Bang, K., Kim, D., Suk, J., Kim, S., Jung, D., and Park, J., "Operation of an Autonomous Unmanned Helicopter for Captive Flight Test," *Proceedings of 2013 KSAS Spring Conference*, Apr. 2013, pp.902-905.(in Korean)