

EO/IR 카메라 및 레이더를 이용한 공항 이물질(FOD) 자동탐지 실험

Experiment on Automatic Detection of Airport Debris (FOD) using EO/IR Cameras and Radar

홍재범¹ · 강민수¹ · 김윤섭² · 김민수² · 홍교영^{1*}

¹한서대학교 대학원 항공시스템공학과

²(주)웨이브텍

Jae-Beom Hong¹ · Min-Soo Kang¹ · Yun-Seob Kim² · Min-Soo Kim² · Gyo-Young Hong^{1*}

¹Department of Aviation system Engineering, Hanseo University, Chungcheongnam-do, 32158, Korea

²Wavetech Co.Ltd, Gyeonggi-do, 13906 Korea

[요 약]

FOD는 항공기에 위험을 줄 수 있는 위험요인을 지닌 각종 금속, 비금속의 이물질을 총칭한다. FOD는 활주로 및 유도로, 정비시설 등 특정구역 및 시간을 가리지 않고 발생하며, 항공기의 이동 및 이착륙 시 항공기의 안전에 치명적인 위험을 내재하고 있다. 이에 활주로 내 FOD 발생 시 신속하고 효과적인 탐지 및 제거가 필요하다. 최근 항공 안전 기술 개발의 일환으로 공항 내 활주로 이물질 자동 탐지 시스템 개발이 진행 중에 있다. 본 논문에서는 한서대학교 태안캠퍼스에서 EO/IR 카메라 및 레이더를 이용한 이물질 자동 탐지 실험을 진행하여 주야간 정상적으로 탐지되는 것을 확인하였다.

[Abstract]

FOD refers to various metals and non-metallic foreign substances that pose a risk to aircraft. FODs occur in all areas and time zones, including runways, taxiways, and maintenance facilities, and pose a fatal hazard to aircraft safety during aircraft movements and take-off and landing. Rapid and effective detection and removal of FODs in the runway is required. As part of recent developments in aviation safety technologies, automatic detection of debris in runways in airports is under way. In this paper, we conducted an automated detection test using the EO/IR camera and radar at the Taean campus of Hansu University to confirm normal detection during the day and night.

Key word : FOD, Automatic detection, Rador, EO/IR camera.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.6.522>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 23 November 2018; Revised 30 November 2018

Accepted (Publication) 19 December 2018 (30 December 2018)

*Corresponding Author, Gyo-young Hong

Tel: +82-41-671-6232

E-mail: kiathgy@hanseo.ac.kr

I. 서 론

활주로 이물질 (foreign object debris)는 항공기에 위협을 줄 수 있는 위험요인을 지닌 금속, 비금속의 각종 물질들을 총칭한다. FOD는 활주로, 유도로, 계류장, 정비시설 등 특정구역 및 시간을 가리지 않고 발생하며, 항공기가 이륙 및 착륙시 항공기의 안전에 치명적인 위협을 내재하고 있다[1].

따라서 FOD는 공항 전체 지역에서 제거되어야 하는 요소이고 특히 활주로와 같은 항공기 이동지역에서 발생 가능성 제거 및 FOD 발생 시 신속하고 효과적인 탐지 및 제거가 필요하다. FOD 자동 탐지 시스템은 운영 중이거나 준비 중인 활주로 및 공항의 운영특성을 반영 해야하며, 주야간과 강설, 강우, 안개와 같은 악기상 상황에 관계없이 실시간으로 FOD의 발생을 정확하게 탐지해야 한다. FOD를 탐지하게 되면 이물질의 유형 분석 및 판별을 한 후 운영자에게 최종적으로 발생 경보 및 위치정보를 제공해야 한다. FOD 탐지 기술의 종류에는 전자 광학 시스템 (electro-optical system), 열 영상 시스템 (thermal image system), 레이저 스캔 시스템 (thermal image system), 레이더 시스템 (radar system)등이 있다[2].

대표적인 FOD 사고 사례는 2000년 7월 25일 파리 샤를 드 골 공항에 추락한 에어프랑스의 콩코드 항공기사고가 있다. 선행하는 항공기의 금속 파편에 의해 후행 이륙하던 콩코드기의 연료탱크가 파손되어 113명의 사망자가 발생하였다. 이와 같이 활주로의 FOD 물질 사고로 FOD는 항공기 운항 안전에 직접적인 영향을 주기도 하지만 안전적인 문제 외적으로 천문학적인 경제적 손실도 함께 발생한다. 미국 연방 항공청에서 발표한 자료에 따르면 한해 공항 및 활주로의 FOD로 인해 발생하는 직간접 비용은 한해 1조 2000억원이 소요된다고 한다[3].

현재 공항에서는 FOD 피해를 최소화하기 위해 육안으로 이를 식별하고 있지만 야간 및 악시정 상황에서는 FOD 식별이 힘들 뿐만 아니라 활주로 전체를 육안으로 점검 시 많은 시간이 소요되어 악시정 상관없이 전천후 탐지 시스템 구축이 필요한 시점이다. 이에 국내에서는 항공 안전 기술 사업의 일환으로 공항 내 활주로 이물질 자동탐지 시스템 개발이 진행중이다 [4],[5].

본 논문에서는 한서대학교 태안비행장에서 EO (electro-optic) /IR(infra-red) laser light 카메라 및 레이더 센서를이용한 이물질 자동 탐지 실험을 진행하여 활주로 상에 존재하는 FOD를 탐지 및 탐지과정에서 발생한 미탐지, 에어요인을 분석하고 해결방법을 제시하였다.

II. FOD 시스템 구성

이물질 자동탐지 시스템의 구성은 그림 1에서 보듯이 공항의 환경에 따라 활주로, 유도로, 계류장등 상황에 따른 이물질 탐지가 가능하도록 고정형 이물질 자동탐지 시스템, 이동형 이

물질 자동탐지 시스템, 통합 운영 시스템으로 구성된다. 각각의 이물질 탐지 시스템에서 수집된 정보들은 통합 운영 시스템으로 전달되어 시스템 운영자가 실시간으로 FOD를 알람, 관리수거할 수 있도록 하여 항공기의 운항 안정성을 확보 할 수 있다[6].

2-1 고정형 FOD 자동탐지 시스템

고정형 이물질 탐지 자동탐지 시스템은 탐지하고자 하는 활주로의 길이에 따라 고정형 플랫폼의 수가 결정되며, 설치된 플랫폼 상단에 각종 탐지 센서들을 장착하여, 각 플랫폼 별로 해당 활주로 영역에서 이물질을 탐지한다. 태안비행장에 설치되어 있는 고정형 플랫폼은 그림 2와 같이 구성되고 레이더 센서와 EO/IR 센서, 제어모듈, 광 switch hub, 전원장치로 구성되어 있다. EO/IR센서의 경우 주간에는 광학, 야간 및 악시정 시에는 IR센서를 이용하여 주야간 및 악시정 관계없이 사용이 가능하다. 레이더 센서의 경우 짧은 파장의 밀리미터파를 사용해 야간, 눈, 비와 같은 악시정에서도 이물질을 탐지가 가능하다 [6],[7].

2-2 이동형 FOD 자동탐지 시스템

이동형 이물질 자동탐지 시스템은 그림3과 같이 이동할 수 있는 플랫폼의 상단에 탐지 센서들을 장착하여 탐지하고자 하는 활주로 상을 이동하면서 이물질을 탐지해내는 시스템이다. 고정형 이물질 자동탐지 시스템을 이용하기에 넓은 공간의 계류장, 복잡한 유도로도등 고정형 이물질 자동탐지 시스템을 사용하기 어려운 지역에서 사용이 용이하다. 또한 시스템 사용자가 원하는 시간에 활주로를 스캔할 수 있다는 장점이 있다[6].

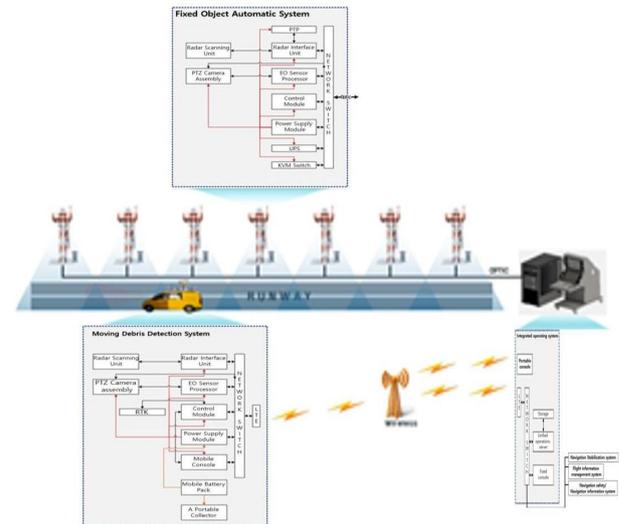


그림 1. FOD 자동탐지시스템 구성도
Fig. 1. Automatic FOD detection system.

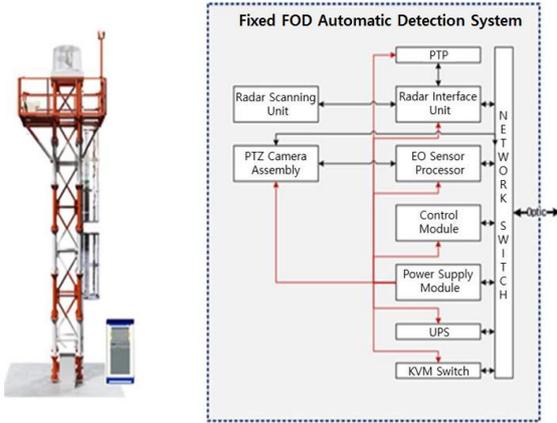


그림 2. 고정형 FOD 자동탐지 시스템
Fig. 2. Fixed FOD detection system.

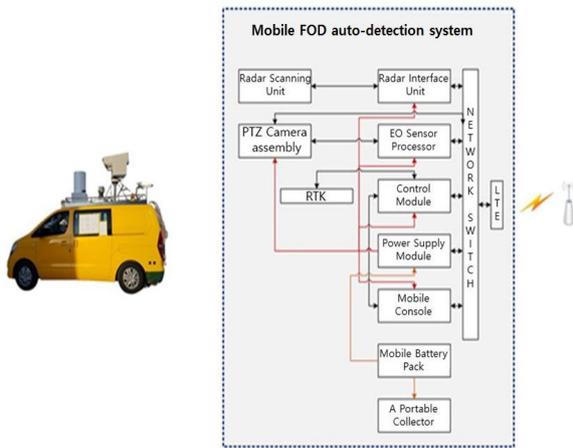


그림 3. 이동형 FOD 자동탐지 시스템
Fig. 3. Mobile FOD detection system.

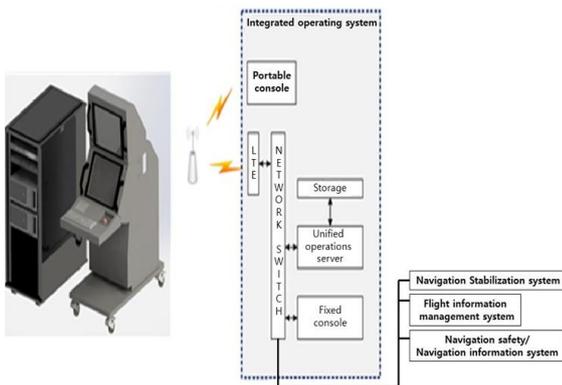


그림 4. 통합 운영 시스템
Fig. 4. Intergrated operating system.

2-3 통합 운영 시스템

통합 운영 시스템은 그림4와 같이 구성되며, 고정형(또는 이동형) 이물질 자동탐지 시스템으로부터 탐지된 결과를 유무선으로 전달받아 탐지된 이물질을 확인한다. 확인된 결과를 바탕으로 후속조치를 가능하게 하며 공항의 항행안전 시스템 및 운항정보관리 시스템으로부터 항공기의 운항정보 및 항행정보를 수신해 공항 운용의 효율성을 증대할 수 있다[6].

III. 시스템 운영개념

활주로 이물질(FOD) 자동탐지 시스템은 3가지 시스템 체계로 분류되므로 운영하고자 하는 공항의 환경에 따라 고정형 이물질 자동탐지 시스템을 기반으로 하는 운영과 이동형 이물질 자동탐지 시스템을 기반으로 한 운영, 고정형 및 이동형 이물질 시스템을 복합적으로 기반한 운영으로 사용이 가능하다[7].

3-1 고정형 이물질 자동탐지 시스템을 기반으로 한 운영

24시간 365일 무중단 이물질 탐지가 가능하며, 원거리에서 고정된 형태로 이물질을 탐지하기 때문에 공항을 운영하는데 시스템이 간섭을 주지 않고 운영 효율성을 증대할 수 있다는 장점이 있다. 설치 위치는 해당 공항 규정을 준수하며 위치를 선정 해야 하는데 필요에 따라 항공학적 검토 및 보안성 검토가 필요할 수 있으며 설치 위치에 따라 플랫폼의 대수를 결정해야 한다. 활주로의 간격이 좁은 공항의 경우 공항내 무 장애구역에 해당될 가능성이 있으므로 활주로 간 간격이 넓은 공항에 적합하다. 통합운영 시스템과의 통신은 유선으로 이루어지고 관로 및 통신공사가 필요하기 때문에 관로 및 통신라인에 대한 설계도면이 있는 공항에 적합하다[6].

3-2 이동형 이물질 자동탐지 시스템을 기반으로 한 운영

설치에 따른 제약사항이 없고 비용도 고정형 시스템 대비 저렴하게 운영이 가능하며, 군 공항과 같은 상시적 이물질 탐지가 불필요한 공항 및 유지보수 및 운영을 고려하였을 때, 소형 공항에 적합한 방식이다. 공항의 구조를 고려하여 차량의 크기를 선정해야하며, 높이는 최대 3 m 이내를 준수해야한다. 통합 운영 시스템과의 통신은 WIFI, LTE와 같은 무선으로 이루어지며, 무선통신의 사용에 제한이 있는 경우 보안성 검토가 추가적으로 진행될 수 있으며 불가할 경우 이동형 이물질 자동탐지 시스템의 단독운영으로 진행이 가능하다[6].

3-3 고정형과 이동형 이물질 자동탐지 시스템을 복합적으로 기반으로 한 운영

고정형 이물질 자동탐지 시스템과 이동형 이물질 자동탐지 시스템의 장점을 활용한 운영방식으로 두 가지의 운영 방식을 복합적으로 운영하기 때문에 각 운영방식에서 발생하는 오경

보율을 낮출 수 있다는 장점이 있지만 레이더 센서의 경우 동기화 문제가 발생할 수 있으며, 설치에 따른 비용 및 제약사항이 가장 크게 존재할 수 있다[6].

IV. 고정형 레이더 센서 모듈 구성

고정형 레이더 센서 모듈은 밀리미터파 레이더 기술을 사용하여 일반적 레이더보다 짧은 파장의 밀리미터파를 사용해 야간, 눈, 비와 같은 저시정에서도 수 cm의 크기의 이물질 탐지가 가능하다. 그림 5와 같이 고정형 레이더 센서 모듈은 크게 레이더 스캐닝 유닛, 레이더 인터페이스 유닛으로 구성된다[6].

4-1 레이더 스캐닝 유닛

레이더 스캐닝 유닛은 고정형 플랫폼의 상단에 장착되며 태양열로부터 발생하는 열을 방지하는 열차단판과 안테나 어셈블리 보호를 위한 레이돔, 레이더 동기화를 위해 사용되는 GPS 안테나와 파형발생기, RF 송수신기 레이더 센서프로세서로 구성된 안테나 어셈블리 및 안테나를 고정 및 틸링 및 구동시키는 베이스플레이트 어셈블리로 구성되어있다[6].

4-2 레이더 인터페이스 및 전원제어

레이더 스캐닝 유닛과 고정형 제어모듈 타이밍 유닛과 연결되어 로테이터가 안테나를 다시 구동하기 위해 스캔시작 위치로 이동할 때, 전류의 급격한 변화로부터 외부전원 공급 장치를 완충해주는 커패시턴스를 제공해준다[6].

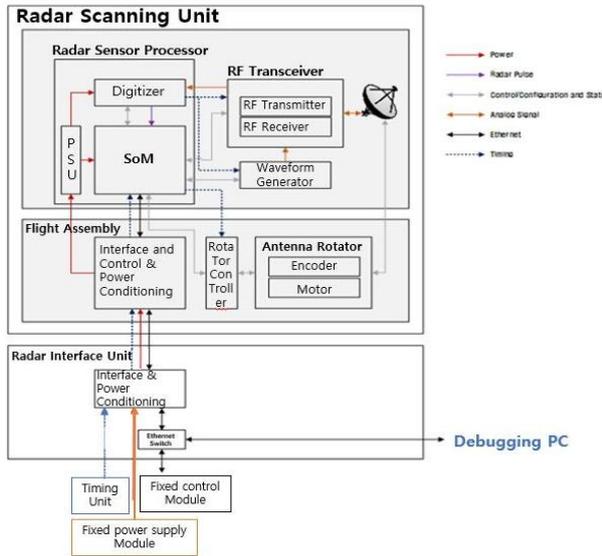


그림 5. 고정형 레이더 센서 모듈 구성도
Fig. 5. Fixed radar sensor module configuration diagram.

표 1. 레이더 스캐닝 유닛 구성

Table 1. Configuration of radar scanning unit.

Name	Configuration/Function/Role		
Block heat board	<ul style="list-style-type: none"> Prevent heat from the sun Circular plate composed of non conductive materials 		
Radome	<ul style="list-style-type: none"> Protection of the antenna assembly from wind or rain Low loss plastic cylindrical form 		
GPS Antenna	<ul style="list-style-type: none"> GPS signal received for radar synchronization 		
Antenna Assembly	<ul style="list-style-type: none"> Composition of heat insulation Consists of waveform generator, RF transceiver, and radar sensor processor 		
	Antenna	<ul style="list-style-type: none"> Double parabolic reflector operated by feedhorn directly connected to RF transceiver 	
		Feidhorn	Role of connecting the reflector to the RF transceiver
		Reflector	Discharge RF signal from feedhorn and connect reflected signal to feedhorn
	Antenna Support	Role to support reflectors, feedhorns, RF transmitters, RF receivers, waveform generators, radar sensor processors	
	Waveform Generator	Generating the FMCW modulation signal	
	RF Transmitter	Transmits 78 to 81GHz signals to the antenna	
	RF receiver	Received signals from antenna	
radar sensor processor	Signal processing and target detection for received signals		
Base Plate Assembly	<ul style="list-style-type: none"> Composition of the rigid substrate form of metal for radar structure Support for antenna rotator, rotor controller, interface and power control module 		
	Antenna Rotator	<ul style="list-style-type: none"> Consists of an encoder that tells the location of the antenna and the motor that drives the antenna 	
		Motor	Driving antenna rotator
	Encoder	Role to show location of antenna	
	Rotator Controller	Antenna Rotator Control	
Base Plate	<ul style="list-style-type: none"> Fixing the Antenna Assembly Role to reinforce the area to be detected through mechanical tilt 		
Interface & Power Control	<ul style="list-style-type: none"> Provides all connections to fixed radar interface units Support various power supplies in radar sensor scanning unit 		

V. 고정형 EO/IR Laser Light 센서 모듈 구성

고정형 EO/IR laser light 모듈은 그림 6과 같이 구성되며 고정형 이물질 자동탐지시스템 철골 구조물 상부 펜스에 설치된다. EO/IR 카메라와 EO/IR laser light 모듈은 시스템 랙에 장

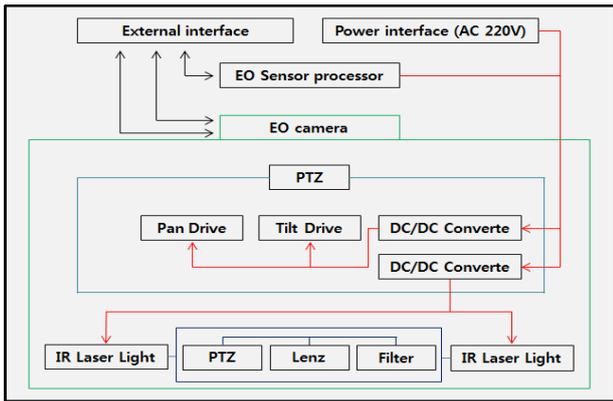


그림 6. 고정형 EO / IR Laser Light 센서 모듈
Fig. 6. Fixed EO / IR Laser Light Sensor Module.

착되어 획득한 영상을 분석하고 활주로 내 FOD를 탐지하는 EO 센서 프로세서로 전송한다. EO/IR 카메라는 400 m에서 20 mm × 20 mm 크기의 FOD를 탐지할 수 있도록 1500 mm의 렌즈를 탑재하여 설계 되었다. 눈, 비, 안개, 야간 등 악기상에서도 FOD 탐지를 위해 860 nm 밴드패스 필터를 탑재한다[6],[7].

5-1 PTZ 카메라 함체

1) 카메라 모듈

(1) EO 센서 카메라

- 광신호를 감지하는 촬상소자, 광신호를 전기신호로 변환하는 신호변환부, 영상신호를 압축하는 IP모듈로 구성되어 있으며, 유효 화소수 2 mega pixel의 구성으로 렌즈와 결합하여 20 mm x 20 mm의 FOD를 검출 가능하도록 활주로를 촬영하여 영상신호를 전송한다. 상세 규격은 아래 표 2와 같다[6],[7].

(2) 1500 mm 렌즈

- 거리별로 식별력있게 관찰 대상물체의 크기를 확대 축소하는 zoom부와 거리별 확대한 관찰 대상물체의 초점을 조정하는 focus 부로 구성되며, zoom lens의 최소각은 최대 400 m 거리의 FOD 검출시 산정한 적정 각도로 활주로를 촬영 가능하게 한다. 렌즈의 경우 온도 변화에 의해 포커스가 틀어지는 현상이 발생하였다. 이는 렌즈 경통내 렌즈들이 온도 변화에 따라 수축 혹은 팽창하는 것으로, 섭씨 25℃를 기준으로 온도 변화가 발생했을 시, 포커스 변화가 발생하는 것을 확인하였다. 이를 스텝모터를 통해 온도 보상을 하여, 분해능을 이용한 정확한 위치 탐색이 가능하게 하였다[6].

(3) 필터 / IR laser light

- 촬상소자의 NIR (near-infrared) 대역의 특성을 이용하는 것으로, 860 nm 파장대 투과 필터를 사용한다. NIR 대역의 파장을 방사하여 야간 촬영 및 악기상 FOD 탐지 시 근적외선을 이용한 적외선 영상을 볼 수있게 해준다[6],[7].

2) P/T/Z/F 제어부

Pan 포지셔너 모터의 회전속도 및 회전각도를 제어해주는 pan 제어부, tilt 포지셔너 모터의 회전속도 및 회전각도를 제어해주는 tilt 제어부와 렌즈의 zoom, focus를 제어하는 zoom/focus 제어부, 와이퍼의 동작을 제어하는 와이퍼 제어부로 구성된다. Pan, tilt, zoom, focus의 세부 제어를 위해서 각 제어부에서 RS232, RS422, RS485통신을 통해 세부 제어가 가능하도록 한다[6].

3) P/T/Z/F 기구부

Pan 포지셔너 모터, tilt 포지셔너 모터로 구성되며 pan 제어부로부터 명령을 받아 pan의 속도 및 방향을 제어 한다. 좌우 미세 조정 각도 분해 및 최대 회전속도는 아래 표 3과 같다[6],[7].

5-2 EO 센서 프로세서

획득한 영상을 신호 처리하고 표적탐지를 하기 위한 프로세서로 신호처리 알고리즘과 표적탐지 알고리즘 이물질 정보 전송 프로그램으로 구성된다. 신호처리 알고리즘에서는 EO 센서 카메라에서 RTSP (real-time streaming protocol) 영상을 수신하여 수신영상을 디코딩한 후 영상 처리 및 표출을 하고, 표적탐지 알고리즘에서 입력 영상을 전처리 후 엣지를 검출해낸 후 추출된 FOD 후보를 정밀 분류하고 최종 FOD를 판정한다. 판정한 FOD는 이물질 정보 전송 프로그램을 이용하여 이물질 확인 시간, 크기정보, 위치정보를 전송한다. EO센서가 고정형 플랫폼 상단에 위치하여, 높은 각도에서 활주로의 이물질을 탐지하기 때문에, 각도로 인한 포착 면적이 작아져, 수직 성분이 낮은 물체에 대해 미탐지율이 높은 것을 확인 할 수 있었다. 또한 기존 활주로에 존재하는 정보표시선 또는 기타 구조물에 대해 FOD 오인탐지를 방지하기 위하여 FOD에 대해 최대 탐지 크기를 설정하였으나, FOD가 활주로의 백색 혹은 황색의 정보표시선 위에 존재 하였을 때, 정보표시선 자체를 최대 탐지가 가능한 FOD를 초과하는 것으로 판단하여, 정보표시선 위에 존재하는 FOD에 관하여 미탐지율이 높은 것을 확인할 수 있었다[6].

VI. 고정형 플랫폼의 FOD 탐지 결과

고정형 FOD 자동탐지 시스템 실험은 한서대학교 태안비행장에서 수행 하였다. EO 카메라는 광센서를 사용하여 빛의 양이 많은 경우, 광학을 사용하여 주간에 실험을 하였고, 야간 및 악기상을 경우 IR을 사용하여 FOD를 탐지 하였다. 레이더의 경우 주 야간, 악기상 상관없이 FOD 탐지가 가능하다. 레이더를 통하여 활주로의 이물질을 탐지하고, RTK (real time kinematic)를 통해 얻은 정확한 위치로 EO/IR 카메라를 통해 이물질을 탐지 및 확인하여 FOD 탐지 확률을 높였다. 그림 7은 대략 2 cm 쇠구슬을 그림 8과같이 활주로에 배치하였을 때, 고

표 2. 고정형 EO / IR Laser light 카메라 규격
Table 2. Fixed EO / IR laser light camera standards.

Category		Detailed specifications
Video	The image pickup element	1/2.8" Ps Exmor(2.38M, CMOS)
	Effective Pixels	1944(H) x 1104(V)
	Scanning method	Progressive
Camera Function	Minimum illumination	B/W : 0.01 Lux (F1.2, 50IRE)
	Improving Contrast	SSDR(Samsung Super Dynamic Range)(Off/On)
	Noise Reduction	SSNR(2D+3D Noise Filter)(Off / On)
	White Balance	ATW / AWC / Manual / Indoor / Outdoor
	Electronic Shutter	Minimum / Maximum / Anti flicker (2~1/12,000sec)
Network	Serial Interface	RS-485
	Ethernet	RJ-45 (10/100BASE-T)
	Video Compression Method	H.264 (MPEG-4 Part 10/AVC), Motion JPEG
	Resolution	Maximum 1920x1080
	Maximum Frame Rate	Maximum 30fps
	Image quality control	H.264 : Compression level, Bit rate level control MJPEG : Quality Level Control
	Bit rate control	H.264 : CBR or VBR, Motion JPEG : VBR
Power	Transmission method	Unicast / Multicast
	Power consumption / current consumption	AC24V, DC12V, PoE
Exterior	Power Consumption	Max. 12.5W (AC 24V) Max. 10.5W (DC 12V) Max. 12.0W (PoE)
	material	Aluminum / plastic
	Dimensions	73.1 x 66.6 x 147.8 mm
	weight	395g

표 3. 고정형 PTZ 규격
Table 3. Fixed PTZ Standards.

Category	Detailed specifications
CPU specifications	AVR 1280
Memory specifications	64KB
I/O Interface	Ethernet RJ-45 1 port PTZ (IN 4Port HUB)
Power Interface	AV 24V MS3102A18-3P
Rotation speed	PAN : 0.01 ~ 12°/sec TILT : 0.01 ~ 9°/sec
Rotation angle	PAN : 0° ~ 360° TILT : -20° ~ +15°
Positioning resolution	PAN: 0.00002288° TILT : 0.000019°
Size	1060 x 852.5 x 800
Weight	70Kg Max

정형 플랫폼으로부터 430 m 떨어진곳에서 레이더를 통해 정상적으로 FOD 탐지가 된 것을 그림 9에서 볼 수 있다. 그림 10에서 FOD 물질을 야간 활주로에 배치하였을 때, 고정형 플랫폼으로부터 약 400 m의 거리에서 EO/IR 카메라를 통해 정상적으로 FOD 탐지가 된 것을 그림 11에서 볼 수 있다.



그림 7. 2 cm 쇠구슬 FOD
Fig. 7. 2 cm iron beads FOD.



그림 8. 레이더 대상 FOD 물질 활주로 배치
Fig. 8. Arrangement of radar target FOD material runway.

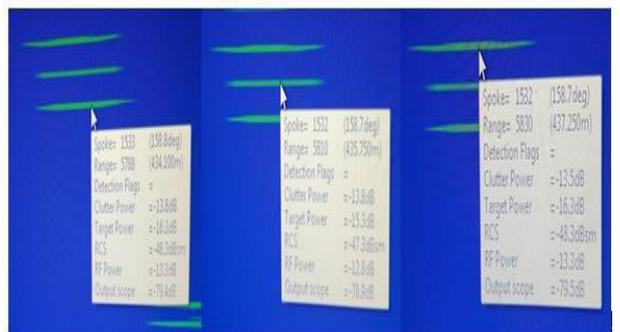


그림 9. 레이더 FOD 탐지
Fig. 9. Radar FOD detection.



그림 10. EO/IR 카메라 대상 FOD 물질 활주로 배치
 Fig. 10. Arrangement of EO/IR camera target FOD material runway.



그림 11. EO/IR 카메라 FOD 탐지
 Fig. 11. EO/IR camera FOD detection.

VII. 결 론

본 논문에서는 항공기 운항 안전에 심각한 위협을 초래할 뿐만 아니라 경제적 손실을 발생시키는 FOD에 대해 자동탐지가 가능한 시스템 개발 실험을 한서대학교 태안비행장에서 진행하였다. EO/IR 카메라 및 레이더를 사용하여 눈, 비, 강풍과 같은 악천후에서도 24시간 탐지가 가능하며, 주야간 테스트를 통해 FOD를 탐지한 것을 확인하였다.

현재 EO/IR 카메라의 경우 최대 400 m까지 탐지가 가능하며, 그 이상 거리에서는 포커스 문제로 인하여 탐지가 불가능하다. EO/IR 센서는 높은 각도에서 활주로 위의 이물질을 탐지하기 때문에 스페너와 같은 수직 성분이 낮은 물체에 대하여 미탐지율이 높았다. 활주로의 정보표시선 또는 기타 구조물에 대하여 FOD 오인탐지가 발생해 최대 탐지 FOD 크기를 설정하였다. 하지만 이로인해 백색 혹은 황색의 정보표시선 위에 존재하는 FOD에 대하여 미탐지율 또한 높았다. 렌즈의 경우 온도 변화에 의해 포커스가 틀어지는 현상이 발생하였는데, 이는 렌즈

경통내 렌즈들이 온도에 따라 팽창 혹은 수축하는 것으로 EO/IR카메라의 경우 정확한 위치제어 및 분해능을 필요로하기 때문에, 스텝모터를 이용하여, 온도보상을 시행하였다. 현재 지속적인 실험을 통하여 프로그램 수정 및 하드웨어 추가로 보다 효율적인 온도보상 방법을 지속적으로 연구해나갈 예정이다.

또한, 본 시험결과는 EO/IR 카메라와 레이더를 각각 독립적으로 운영하여 탐지한 것으로 추후 EO/IR 카메라와 레이더를 통합하여 운용한다면 더 정확한 탐지가 가능할 것이라고 예상된다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행 되었습니다(과제번호:15ATRP-C108046-01)

References

- [1] K. B. Lee, FOD automatic detection system a study on the development direction for localization, Ph.D. dissertation, Incheon University, Incheon, Korea, July 2014.
- [2] J. G. Lee, Development of automatic detection system for FOD in runways, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, pp.3-5, 2014.
- [3] I. McCreary, Runway safety: FOD, birds, and the case for automated scanning, insight SRI, pp.103-153, 2010.
- [4] K. B. Lee, J. G. Lee, and D. H. Kim, "A study for efficient foreign object debris detection on runways," *The Journal of Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol. 22, No. 1, pp. 130-135, Mar. 2014.
- [5] J. G. Lee, Inside Runway FOD automatic detection system development planning final report, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, Korea, Technical Report MONO1201509307, pp.3-5, 2014.
- [6] A Study on the design of the automatic detection system for airport aircraft movement area, Wavetech, Anyang, 2017-FOD-AN-02, Jan. 2018.
- [7] H. S. Shin, G. Y. Hong, J. B. Hong, Y. S. Choi, and Y. S. Kim, Automatic FOD detection test using EO/IR laser light camera, *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol.21, No.6, pp. 638-642, 2017



홍 재 범 (Jae-Beom Hong)

2012년 3월 ~ 2018년 9월 : 한서대학교 항공전자학과 (공학사)
2018년 9월 ~ 현재 : 한서대학교 대학원 항공기 시스템학과
※ 관심분야 : 항공기 시스템, 비행시험, FOD



홍 교 영 (Gyo-Young Hong)

1993년 3월 ~ 2001년 : 대한항공 항공기술연구소 선임 연구원
2001년 9월 ~ 현재 : 한서대학교 항공전자공학과 교수
※ 관심분야 : 비행시험, 항공통신, 항공기 시스템



김 윤 섭 (Seob-Yun Kin)

1999년 3월 ~ 2006년 2월 : 한양대학교 전기전자공학부 (공학사)
2006년 3월 ~ 2008년 2월 : 광운대학교 전자공학과
※ 관심분야 : 초고주파공학, 항공전자



김 민 수 (Min-Soo Kim)

2002년 3월 ~ 2009년 2월 : 경남대학교 정보통신공학과 (공학사)
2009년 3월 ~ 2011년 2월 : 경남대학교 첨단공학과 (공학석사)
2011년 3월 ~ 2015년 2월 : 경남대학교 첨단공학과 (공학박사)
2013년 5월 ~ 2016년 3월 : (주)LICT 기술연구소 선임연구원
2016년 3월 ~ 현재 (주)웨이브텍 SI사업부 책임연구원
※ 관심분야 : millimeter wave, SI, Radar



강 민 수 (Min-Soo Kang)

2013년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 항공전자학과 (공학사)
※ 관심분야 : 항공기 시스템, 비행시험