

FOD 자동탐지시스템 요구사항 분석

Analysis for FOD Automatic Detection System

김성훈¹ · 박명규³ · 홍교영^{1,2*} · 소준수¹ · 김상권¹ · 김우리얼¹

¹한서대학교 항공시스템공학과

²한서대학교 항공전자공학과

³웨이브텍

Sung-Hoon Kim¹ · Myoung-Kyu Park³ · Gyo-Young Hong^{1,2*} · Jun-Soo So¹ · Sang-kwon Kim¹ · Uri-Eol Kim¹

¹Department of Aircraft System Engineering, Hanseo University, Chungcheongnam-do, 31962 Korea

²Department of Avionics, Hanseo University, Chungcheongnam-do, 31962 Korea

³Wave Tech, Gyeonggi-do, 13906 Korea

[요 약]

전 세계 공항의 이동지역 내 이물질인 FOD (foreign object defective)에 의한 피해량이 연간 2억불에 달하고 있다. 2000년 샤를 드골 공항에서는 FOD로 인한 133명의 인명피해가 발생하기도 했다. 국내에도 각 공항별로 FOD로 인한 사고발생 및 장비의 수리 등 직·간접적인 피해가 발생하고 있는 상황이다. 이에 항공안전기술개발 사업의 일환으로 공항 내 항공기 이동지역 이물질 자동 탐지 시스템의 개발이 진행 중에 있다. 분석 결과에 의하면 운용 방식의 특성상 민간 공항의 경우 고정식 감시를 요구했고 군 공항은 이동식을 선호했다. 본 논문에서는 군·민간 FOD 탐지 시스템의 요구조건을 파악하여 국내 조건에 맞는 최소 성능 사양을 분석하였다.

[Abstract]

Damage caused by FOD which is a foreign substance at the movement area in airports around the world has reached 200 million every year. In 2000, the casualties occurred 133 people at Charles de Gaulle airport due to FOD. The occurrence of damage by FOD has continuously influenced in domestic also it makes equipment repair indirectly or directly. Accordingly, One of the solutions to the problem is the development of FOD automatic detection system. That is ongoing for plane movement area in airport. As the analyzed result, the military airport preferred mobile type and the civil airport preferred fixed type due to the characteristics of the operating type. In this paper, we analyzed the minimum performance specifications meeting the domestic requirements by investigating military and private FOD detection systems.

Key word : Aircraft, Airport, Detect, Foreign object defective, Radar.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.3.210>



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 27 May 2016; Revised 1 June 2016

Accepted (Publication) 29 June 2016 (30 June 2016)

*Corresponding Author; Gyo-young Hong

Tel: +82-41-671-6232

E-mail: kiathgy@hanseo.ac.kr

I. 서 론

활주로 이물질은 항공기 안전에도 직접적으로 영향을 미치지만 안전 외에도 경제적 손실도 함께 발생한다. 미국연방항공청에 의하면 공항 및 활주로 지역의 이물질로 인한 직·간접비용으로 연간 1조 2천억 원의 손실이 발생한다고 한다[1]. 2000년 샤롯데골 공항에서는 추락한 에어프랑스 소속 콩코드 여객기도 활주로 상의 이물질로 인하여 사고가 발생하였으며 133명의 인명피해가 발생하였다[2]. 국내 또한 FOD로 인한 항공기 엔진사고가 발생한 일이 있으며, 각 공항별로 FOD로 인한 정비 비용 및 직간접의 경제적 손실이 발생하고 있는 상황이다. 국내에는 아직까지 인명사고가 발생한 사례는 없지만 앞으로 발생하지 않는다는 보장을 할 수 없기 때문에 FOD 자동탐지시스템의 개발은 반드시 필요하다. 현재 공항에서는 FOD로 인한 피해를 최소화하기 위해 육안으로 이를 식별하고 있으나 기상상황이 불리한 조건에서는 점검이 힘들뿐더러 활주로 전 구간을 육안으로 점검 시 많은 시간이 소요되기 때문에 환경적 제약이 없는 전천후 탐지시스템 구축이 필요한 실정이다. 이에 정부의 항공 교통안전 선진화계획에서는 OECD 수준의 항공 안전시스템 체계화를 통한 항공안전기술의 선진화에 부합한 공항 이동지역 내 FOD 자동탐지시스템 개발의 필요성이 대두된 상태이다. 이에 국내에서는 항공안전기술개발 사업의 일환으로 공항 내 항공기 이동지역 이물질 자동탐지 시스템의 개발이 진행 중에 있다. 이에 본 논문에서는 군·민간 FOD 탐지 시스템의 요구조건을 분석하고 국내조건에 맞는 최소 성능 사양을 분석하였다[3],[4].



그림 1. 인력에 의한 FOD 탐지
Fig. 1. FOD detection by the manpower.

II. FOD 탐지 시스템 기술 개발 동향

2-1 FOD 탐지 시스템 종류

1) 고정형 이물질 탐지시스템

고정형 이물질 탐지시스템의 경우 레이더와 광학카메라 또는 전자광학 카메라를 이용하여 개발이 이루어지고 있으며, 레이더의 주파수 또는 안테나 패턴 등을 통한 이물질 탐지 기법들에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있는 상황이다. 전자광학 카메라만을 이용한 시스템의 경우 고해상도 영상자료의 효과적인 처리를 통한 활주로 감시, 이물질의 탐지 등이 수행되며 기상조건에 의한 영상왜곡의 빈도가 낮은 지형에 설치된다. 고정형 이물질 탐지시스템은 항시 운영이 가능한 장점이 있으나, 넓은 영역을 감시하기 위해 일정 높이를 가지는 형태로 설치되어야 한다. 탐지 영역을 좁게 설정할 경우, 타워의 높이는 낮아질 수 있으나 다수의 센서를 설치해야 하기 때문에 유지, 보수 및 용이성이 낮아지기 때문에 항행에 방해되지 않는 적절한 높이의 타워 설치 및 센서의 수를 파악하여 항공사 요구사항을 만족할 수 있는 최적화된 운용개념 및 그에 따른 성능을 발휘할 수 있는 기술 개발이 필요하다.

2) 이동형 이물질 탐지시스템

이동형의 경우 특정 시간대에 활주로 전체를 빠르게 스캔할 수 있다는 장점이 있으나, 상시 감시의 기능은 기대하기 힘들다. 수시로 이·착륙하는 항공기로 인한 이물질 발생 시 즉각적인 탐지 및 수거가 불가능하기 때문에 항공 안전운항 보장에 제약사항으로 작용할 수 있다. 이동형은 무인 자동탐지 장치 기술에 대한 전망이 있으나, 무인 탐지 장치의 문제 발생 시 대형사고로 이어질 수 있기 때문에 도입의 어려움이 있다. FAA 권고 규격에서는 50 km/h의 속도에서 이물질의 탐지가 가능해야 한다고 규정되어 있으나, 공군에서는 빠르게 활주로 전체를 스캔할 수 있는 시스템을 요구하고 있는 실정으로 향후 더 빠른 스피드에서 이물질 탐지가 이루어 질 수 있는 기술 개발이 필요할 것으로 판단된다.

2-2 국외 FOD 탐지 시스템

1) Tarsier Runway Debris Monitoring System

영국 QinetiQ 사의 Tarsier Runway Debris Monitoring System은 최신식 레이더 기술을 사용하며 지속적인 활주로 FOD를 모니터링 하는 시스템이다. 활주로 상의 이물질 발견 시 운영자에 경고를 통해 알려주며 이물질의 위치정보를 디스플레이를 통해 나타낸다. 레이더를 통한 활주로 표면을 상시 스캔하며, 이물질 발견 시 카메라를 통하여 검증하는 방식으로 운영 중이다. 네트워크 간섭을 피하기 위해 타워근처에 캐비닛을 설치하여 7~9 m 정도위에 설치된다. 스캔 영역이 넓기 때문에 2~3개의 시스템으로 활주로 스캔이 가능하나 해상도가 떨어지는 문제가 있다[5].

2) FODetect

이스라엘 Xsight System사의 FODetect는 레이더와 광학 카메라를 이용하는 이물질 탐지시스템으로, 활주로 가장자리의 항공 등화 인프라와 연동하여 운영된다. 적외선 카메라를 사용하여 야간에도 운영이 가능하며 썬, 틸트 및 줌 기능이 장착되어 좁은 영역을 정밀하게 관찰하는 것이 가능하다. 레이더는 비금속 물질과 같이 레이더 반사율이 낮은 이물질에 대해서는 탐지가 어렵지만 카메라를 통해 이를 식별이 가능하며, 카메라의 단점인 스킵드 마크, 그림자 등에 의한 오 경보를 레이더를 이용하여 확인하는 방식으로 보완적인 형태를 띠고 있다[2],[6].

3) iFerret

싱가포르 Stratech사의 iFerret은 전자 광학 카메라 기술만을 사용하는 이물질 탐지시스템으로 강력한 영상처리 알고리즘을 통해 이물질을 탐지하고 있으며 별도의 조명 없이 전자 광학 기술과 영상처리 기법을 통해 야간에도 탐지가 가능하다. iFerret의 전자 광학 센서는 일반 광학 줌에 비하여 더 높은 배율을 가지며 최대 70배 까지 확대가 가능하다. 활주로 스캔을 위해선 4분 정도의 소요시간이 필요하다. 하나의 센서는 340 m 까지 스캔이 가능하며, 싱가포르 창이 공항의 활주로에 12개의 센서가 설치되어 있다. 센서의 고장이나 정비 시에도 나머지 센서가 지속적으로 감시가 가능하다[7].

4) FOD finder

미국 Trex Enterpris사의 FOD finder는 이동형 이물질 탐지 시스템으로, 차량 상부에 E-Band 레이더를 설치하여 전천후 탐지가 가능하다. 레이더는 48 km/h의 속도 이하에서 180 m × 60 m 반경의 스캔이 가능하며 차량 후부의 진공 흡입기를 통하여 이물질의 제거가 가능하다. 이동형 자동탐지 장치로 활주로 이외의 유도로, 계류장 등에서의 활용이 용이하다. 이물질의 상시 감시는 불가능하며 빠른 시간에 활주로의 이물질 점검이 필요할 시 운용하는 형태이다[8].

5) LFOD

캐나다 Pavemetrics 사의 LFOD는 Laser Line Projector와 카메라를 통하여 이물질의 크기 및 형상을 탐지하는 시스템으로 차량에 부착하여 고속으로 달리면서 이물질을 탐지하는 시스템이다. 별도의 조명 없이 광학 기술과 영상처리를 통해 야간의 이물질을 탐지하고 있다. 비행 이착륙이 잦은 시간에 LFOD 탑재 차량을 이용하여 활주로 비행기의 휠 사고를 일으킬 수 있는 중앙의 범위로 18 m 정도를 우선 검사한다. 항공기 사용이 없는 시간에 전 활주로에 대한 탐지가 이루어지며, 탐지 위치에서 운용자가 이물질을 수거하게 된다. 최대 100 km/h로 이동하며 2 mm 크기의 이물질 탐지가 가능하다.

III. FOD 탐지 시스템 성능

3-1 시스템 성능 요구

1) 인천국제공항

인천 국제공항은 국내 민간공항에서 규모가 매우 큰 공항으로 이동식 FOD 자동탐지 시스템보다는 24시간 감시가 필요한 고정형 FOD 자동탐지시스템을 선호하고 있는 상태이다. 현재 인천 국제공항에서는 전천후 감시가 가능한 레이더 방식으로 주/야간 식별이 가능한 EO/IR 센서를 포함한 전자 광학방식을 선호하고 있다. 성능 요구로는 FOD 물질의 오탐지율 및 미탐지율을 줄이기 위하여 탐지 거리를 활주로 주변에서 활주로까지의 거리보다 최대 2 km 더 긴 거리까지 탐지가 될 것을 요구하고 있다. 탐지율은 기상이 맑을 시 100%를 충족해야하며, 오탐지율은 광학장비와 연동 및 융합시에 80일 기준으로 1번, 그렇지 않을 경우에는 3번 이하를 충족해야 한다. 성능 요구조건은 밑의 표 1과 같다[2],[3].

2) 한국 공군

국내 공항은 우천 및 안개등으로 인한 저시정 상황이 잦아 전천후 센서 레이더를 사용해야 하며, 특히 공군은 작은 전투기 나사까지 찾아야하기 때문에 5 mm정도의 비금속 탐지를 위한 광학 센서 카메라를 요구하고 있는 실정이다.

고해상도 레이더와 광학·열상 카메라를 같이 운용하여 각각 독립적으로 동작하며 상호 단점을 보완하도록 설계하여야 한다. 또한 공군에서는 비행 훈련 시작 전 활주로 상태 점검하는 정도로 사용되기 때문에 상시 감시 시스템보다 이동형 탐지 시스템을 선호하고 있다. 성능 요구조건은 밑의 표 2와 같다 [2],[3].

3-2 국내 기술 수준

활주로 내의 FOD 탐지 시스템 기술수준은 다른 기술 분야 대비 수준이 낮은 편이다. FOD 자동탐지를 위한 요소 기술은 다음과 같다.

1) 체계 통합운영 기술

시스템의 최적화를 위해서는 시스템 내부의 다양한 센서 모듈, 원격 조정, 데이터 송수신센서 및 주변 장치들 간의 신호전달 체계 구성 등 복합적인 체계 통합 기술이 필요하다. 국내에서는 무기체계, 도로망 및 항공/항만 통합감시체계 개발 경험을 바탕으로 선도 국가들에 비해 유사한 기술수준을 갖춘 상태이며 시스템 차원의 최적화 성능 구현이 가능한 단계이다. 국내 SI (system integration)사에서 프로젝트를 수행한 경험을 바탕으로 향후 기술 선도국가에 비해 우월해질 것으로 기대된다.

2) 레이더·신호처리 기술

탐지 목표물이 항공기, 차량, 사람인 레이더는 국방부에서

표 1. 인천국제공항 성능 요구사항

Table 1. The incheon international airport performance requirements.

Classification		Requirement performance
Operational Mode		- Fixed detection
Detection Method		- Radar(mm wave) + Electronic optics + Infrared light etc) - Position detection (GPS etc)
Detection Range		- Min. 50ft(15m)~Max. 650ft(200m) - Max. 1km - Max. 2km(<Assumption> Incheon Airport 1~4 Runway - 4 sensors)
Detection Angle		- 360° - If Necessity 180°(<Assumption> Incheon Airport 1~4 Runway - 4 sensors)
Sweep Velocity [Scan Velocity]		- 2seconds
1Time Detection Area		- 22,710m ²
Detecting Ability	Long Range	- Higher than 3.1cm(Lengths)X3.8cm(Diameter) Metal cylinder objects - Higher than 4.3cm (Diameter) Sphere objects - Higher than 5cm(Scale) Socket, PVC pipe - Nuts or Fuel caps - Higher than 1.5cm (TBC) Tire fragments - Distinguishing Pavement (Crack/Sink/Protrusion etc.) - Higher than 10cm Birds or Dead birds (Include other animals)
	Short Range	- Higher than 5mm (Diameter) Nuts/Bolts - Higher than 1mm (Diameter) Metal wires - Higher than 10mm(Scale) Stones, Pavement fragments - Higher than 10mm(Scale) Timbers - Higher than 5mm Distinguishing Pavement (Crack/Sink/Protrusion etc.) Only, Higher than RCS 0.01m ² (-20dBsm) - detecting object
Detection ratio		- 100% (Pavement, Clear and fine weather) Higher than (3.1cm(Lengths) X 3.8cm(Diameter) metal cylinders, Higher than 4.3cm(Diameter) sphere objects
False detection ratio		- Less than 3times per day(Average 90 days) (Using Optical equipment - less than 1 times per day)
2 Objects Discernment Ability		- Minimum 10ft(3m) - 2 Objects discernment ability
Detection Position Error		- Within 16ft(5m) (<Standard> Common GPS)
Power Supply		- 12V, 6A(TBC)
Detection Equipment Weight		- Lower than 15kg (TBC)
Radar Frequency Range		- E-Band or W-Band
Optical Camera		- Higher than zoom(X20), Day, Night image photographing
Heat Image Camera		- Need for reexamination
Warning		- Warning sounds, Visual alarm(If detecting FOD)
Weather		- All-weather workable(Higher than 16mm/h rain) (Performance of Bad weather)
Follow-up support		- Spare parts, Operation/Maintenance/Instructional manuals, Supporting item list
Operation test		- Satisfied test examination (Specified in FAA AC 150/5220-24)

표 2. 공군 성능 요구사항

Table 2. The air force performance requirements.

Classification	Requirement performance
Operational Mode	- Movable detection
Detection Range	- Min. 50ft(15 m) ~ Max. 1,000ft(300 m)
Detection Angle	- 360° - If Necessity set-up 80°(Direction left,,right angle 40°)
Sweep Velocity	- 2seconds
1Time Detection Area	- 22,710 m ² (<Detection> Angle80°)
Detecting Ability	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Movable Radar Vehicle (Stop) Within 30 m x 30 m (Detecting/Distinguishing ability about below objects) <ul style="list-style-type: none"> - Higher than 5mm (Diameter) Nuts/Bolts - Higher than 1mm (Diameter) Metal wires - Higher than 10mm(Scale) Stones, Pavement fragments - Higher than 10mm(Scale) Timbers - Higher than 5mm Distinguishing Pavement (Crack/Sink/Protrusion etc.) → Higher than RCS 0.01 m² - detecting objects ▶ Movable Radar Vehicle (Run - 40km/h) <ul style="list-style-type: none"> - Higher than 3.1 cm(Lengths) x 3.8 cm(Diameters) metals - Higher than 4.3 cm(Scale) Sphere objects - Higher than 5cm(Scale) Socket, PVC pipe - Higher than 5cm(Diameter) Nuts or Fuel caps etc - Higher than 1.5cm Tire fragments - Higher than 1.5cm Pavement (Crack/Sink/Protrusion etc.) → Higher than RCS 0.01 m² - detecting objects
Detection ratio	- Within 30 m x 30 m (100%)
False detection ratio	- Radar operate - less than 3 times per day (An average of 90 days) - Laser, optical instruments linked(co-operation) - less than 1 time per day
2 Objects Discernment Ability	- Minimum 10ft(3m) - 2 Objects discernment ability
Detection Position Error	- Within 16ft(5 m) (<Standard> Common GPS)
Power Supply	- 12 V, 6 A
Radar Weight	- Less than 15 kg
Radar Frequency Range	- E-Band or W-Band
Optical Camera	- Higher than zoom(X20), Day, Night image photographing - Resolution : Higher than 18million (1920 x 1080) - Processing speed : Higher than 30 frame/sec
Heat Image Camera	- Higher than zoom(X10), Day, Night image photographing - Resolution : Higher than 320 x 240 - Temperature resolution : less than 1° (uncooled way)

표 3. 국내 FOD 탐지 시스템 성능 목표

Table 3. Domestic FOD detection system performance targets.

Division	Fixed type	Mobile type
Sensor Component	- Radar + EO/IR	- Radar + EO/IR + Laser (Lazer can disadhesion)
Basic Function	<ul style="list-style-type: none"> ○ Integrated Management System 1 set - Integrated operation and display funtion of fixed and mobile detection devices - Providing scalability for majority of runway real time integrated operations - Operational functions are associated with navigation systems installed in airports - Associated function with flight information management system - DB associated with the FOD detection and function that automatically generates statistical data 	
Minimum detecting the target substance	<ul style="list-style-type: none"> - Satisfied with More than criteria FAA - Development of 2cm or more objects are also to be sensed - For more than 2cm objects are applied development detecting the target substance and size, criteria, test and evaluation method 	<ul style="list-style-type: none"> - Satisfied with More than criteria FAA - Development of 2cm or more objects are also to be sensed,(Developed to be even more than 2mm sensing object when applying laser) - For more than 2cm objects are applied development detecting the target substance and size, criteria, test and evaluation method
Detection Range	- More than 400 m	<ul style="list-style-type: none"> -Radar front detection range More than 100 m -The width of the laser scanning detection More than 20 m -Moving speed more than 60 km/h
Location Accuracy	- Within 1 m	- Within 1 m
Detection Renewal Cycle	- Within 4 minutes	- N/A
Detection Time	- Within 1 minutes	- Realtime processing
Detection Percentage	> 95 %	> 95 %
Minimum Detection RCS	- 30 dBsm	-30 dBsm
Weather Conditions	- Same with FAA criteria	- Same with FAA criteria
Reliable False Alarm	- Same with FAA criteria	- Same with FAA criteria
Product Life	- Same with FAA criteria	- Same with FAA criteria
Environmental Conditions	- Same with FAA criteria	- Same with FAA criteria
Power Supply	- Same with FAA criteria	- Same with FAA criteria
The others		<ul style="list-style-type: none"> - Inside of vehicle realtime processing and display/control function - Equipped by wireless communication function - Possessed by Foreign object collect device involve equip / interlock function
	- Other criteria that are not defined, is about document by ICAO, FAA, RTCA applying the standard	- Other criteria that are not defined, is about document by ICAO, FAA, RTCA applying the standard

연구 개발을 진행한 이력이 있으나 FOD 자동 탐지 레이더와 같은 초소형 탐지물체의 레이더는 국내 개발 이력이 없는 상태이다. 밀리미터와 대역의 송수신부 및 안테나 등 레이더 센서 하드웨어 설계는 가능할 것으로 보이나 신호처리 및 표적탐지 관련 기술은 선도국가에 비해 기술격차가 큰 편이다[9][10].

3) 광학카메라 · 영상처리 기술

일반적 카메라 개발의 국내 광학기술 수준은 선도국가에 비해 대등한 수준이다. 광학 카메라를 이용한 광범위 지역 탐색 및 위치정보 추출을 위해서는 정밀구동부의 역할이 핵심인데 이러한 기술은 미흡한 상태이다. FOD 탐지를 위한 영상처리 및 패턴인식 기술은 국내에선 개발 경험이 없기 때문에 수준과 약이 힘들지만, 일반적인 영상처리 · 인식 기술수준은 선진국 대비 비슷한 수준이며 목적에 따라 필요한 영상처리 기술은 단 시간 내에 선진국 수준에 도달할 것으로 판단된다.

4) 열 영상카메라 · 영상처리 기술

야간 영상을 획득하기 위하여 사용되는 열 영상 카메라의 경우 국내 기술 수준이 매우 높다고 볼 수 있으나 이물질 자동탐지를 위한 요구 성능을 만족시키기에는 줌 기능이나 프레임 레이트, 온도정보 제공 등의 측면에서 부족하다고 판단된다. 일반적인 광학영상에 비하여 제약점이 존재하고 있으나 인식 보다는 이물질 탐지에 목적을 둔다면 온도정보 등을 이용한 열 영상 처리 기술은 선도국가 수준으로 확보 가능할 것으로 판단된다.

5) 통합 소프트웨어 기술

FOD 통합 소프트웨어 기술은 시스템의 경우 여러 센서들로부터 얻어지는 정보를 융합하여 최적의 탐지 결과를 보여야 하며 센서들의 원격조정을 통한 사용자용 확인 자료 전시 및 사용자의 요구조건에 따른 적절한 정보제공 등 여러 영역에 걸쳐 다뤄지게 된다. 따라서 각각의 소프트웨어 모듈의 기능구현도 중요할 뿐만 아니라 전체적인 소프트웨어의 스케줄링 및 높은 신뢰도에 대한 검증이 강조되고 있다. 현재의 국내 기술수준으로는 선도국가 동등한 수준에 있다고 판단된다.

3-3 FOD 성능 목표

계절이 존재하고 기상의 변화가 잦아 저 시정환경이 자주 발생하는 국내 운용환경에 적합한 복합 센서형 공항 항공기 이동 지역 FOD 자동탐지 시스템의 개발이 필요하며 고정형/이동형 FOD 자동 탐지 시스템의 국내 · FAA 인증 획득을 위해 위의 표 3과 같은 성능 목표를 설정하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 FOD 탐지 시스템 개발을 위해 군 · 민간 기관

의 요구 조건을 반영하여 최소 성능 요구조건을 도출하였다. 국내 기상 사정상 우천 및 안개상황이 잦기 때문에 전천후 센서인 레이더가 이용되어야하고, 특히 공군 전투기의 경우에는 나사 정도의 크기인 5 mm의 비금속 물질까지 까지 식별 가능해야 실제 유효하므로 고해상도 레이더와 광학 · 열상 카메라를 같이 운용하여 독립적으로도 동작하고 상호 단점도 보완하는 형태가 바람직 할 것으로 판단된다. 민간공항과 공군의 가장 큰 차이점은 운용방식에 있고 민간 공항의 경우 24시간 비행이 이루어지는 특성상 실시간 고정식 감시가 요구되나, 군의 경우 훈련 전 활주로 상태를 점검하는 정도로 충분하기 때문에 이동식을 선호하는 것으로 나타났다. 이에, 서로 다른 두 기관의 성능 목표를 정량화 하여 국내 기술 평가를 고려한 성능 목표치를 도출하였으며, 이는 향후 국내 FOD 탐지 시스템의 기술 개발에 도움이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 국토교통과학기술진흥원의 「항공안전 기술개발사업」의 지원을 받아 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] Iain McCreary, Runway Safety: FOD, Birds, and the Case for Automated Scanning, *Insight SRI*, pp.103-153, 2010.
 [2] K. B. Lee, FOD automatic detection system a study on the development direction for localization, Ph.D. dissertation, Incheon University, Incheon, Korea, July 2014.
 [3] 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 .
 [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] Tarsier - QinetiQ Automatic Runway Debris Detection 2009 [Internet], Available: <http://www.QinetiQ.com/Tarsier>
 [6] Xsight - Advanced Radar and Optic Sensors for FOD Detection and Homeland Security 2009 [Internet], Available: <http://xsightsys.com>
 [7] Stratech, iFerret™ System [Internet], Available: <http://www.stratechsystems.com/>
 [8] FOD Finder system [Internet], Available: <http://www.fodfinder.com>

[9] Niu. B, Gu. H, Sun. J, Chen N, “Research of FOD recognition based on gabor wavelets and SVM classification,” *The Journal of Information & Computational Science*, Vol. 10, No.6, pp 1633-1640, Apr. 2013.
 [10] Karim. M, Armin. Z, Jerrome. L, Christian. P, Jean-Yves

D, Claire. M, Naruto. Y, Akiko. K, and Shunichi. F, “76.5 GHz millimeter-wave radar for foreign object debris detection on airport runways,” *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, Manchester: MHT, pp. 222-225, 2011.



김 성 훈 (Sung-Hoon Kim)
 2014년 2월 : 한서대학교 항공전자공학과 (공학사)
 2015년 2월 ~ 현재 : 한서대학교 항공기 시스템학과 석사과정
 ※ 관심분야 : 항공전자



박 명 규 (Myoung-Kyu Park)
 1991년 3월 ~ 1996년 2월 : 경남대학교 전자공학과 (공학사)
 1996년 3월 ~ 1998년 2월 : 경남대학교 대학원 통신공학과 (공학석사)
 ※ 관심분야 : 항공전자



홍 교 영 (Gyo-Young Hong)
 1993년 3월 ~ 2001년 : 대한항공 항공기술연구소 선임 연구원
 2001년 9월 ~ 현재 : 한서대학교 항공전자공학과 교수
 ※ 관심분야 : 비행시험, 항공통신, 항공기 시스템



소 준 수 (Jun-Soo So)
 2015년 2월 : 한서대학교 항공전자학과 졸업 (공학사)
 2015년 ~ 현재 : 한서대학교 항공기 시스템학과 석사과정
 ※ 관심분야 : 항공전자



김 상 권 (Sang-kwon Kim)
 2015년 8월 : 한서대학교 항공전자학과 졸업 (공학사)
 2015년 ~ 현재 : 한서대학교 항공기 시스템학과 석사과정
 ※ 관심분야 : 항공전자



김 우리 열 (Uri-Eol Kim)
 2014년 2월 : 한서대학교 항공전자학과 졸업 (공학사)
 2014년 ~ 현재 : 한서대학교 항공기 시스템학과 석사과정
 ※ 관심분야 : 항공전자