論文

활주로 FOD 탐지 효율화를 위한 기술적 고찰

이광병*, 이종길*, 김동훈*

A Study for Efficient Foreign Object Debris Detection on Runways

Kwang-Byeng Lee*, Jonggil Lee* and Donghoon Kim*

ABSTRACT

FOD(Foreign Object Debris) has the potential threat to damage aircraft during critical phases of take-off and landing roll with some objects including metal on the runway. FOD can be found anywhere on an airport's air operation areas such as runway, taxiway and apron. It can lead to catastrophic loss of life and airframe, and increased maintenance and operating costs.

In this paper, we defined FOD and surveyed its riskiness and necessity of automatic FOD detection system. We compared the requirements of the environment in Korea to the FAA advisory circular. Also we analyzed operation methods of FOD detection systems already installed at some airports. Based on the surveys mentioned above, we propose hybrid type of FOD detection system considering the environment in Korea which uses millimeter wave radar, optical camera and thermal imaging camera to detect FOD efficiently. In management approach, fixed type of the system should be installed for real-time monitoring, and mobile type of the system can be used additionally.

Key Words : Foreign Object Debris(외부물질잔해), FOD, millimetre wave Radar(밀리미터파 레이더)

1. 서론

항공기가 이·착륙 할 때 활주로 상에 존재하는 금속, 비금속의 각종 이물질들(FOD, Foreign Object Debris)은 항공기의 안전에 치명적인 위협을 내재하고 있게 된다.

대개의 민간과 군 공항에서는 이러한 FOD사고를 줄이기 위한 다양한 방법과 시스템을 동원

하며, 전담부서를 운영하고 있다. 실제로 인천공항 등 민간공항에서는 수시로 차량 등을 이용하여 활주로상의 FOD를 감시하며 수거하고 있으며, 공군의 경우도 매일 주기적으로 많은 병력과 차량을 동원하여 수작업으로 활주로상의 FOD를 탐지하고 수거작업을 수행하고 있다.

그러나, 이러한 다양하고 많은 노력에도 불구하고 FOD의 탐지 및 제거에는 실질적인 효과를 나타내지 못하고 있다. 공항의 특성상 항공기의 이·착륙이 잦은 경우 인력을 통한 FOD의 탐지 및 수거에 한계가 발생하게 된다. 연속해서 이·착륙이 발생할 경우 다른 항공기로부터 발생하는 FOD에 대해서는 탐지 및 제거가 실질적으로 불가능한 상황에 놓이게 된다. 즉, 인력에 의한 FOD 탐지작업 직후를 제외하고는 대부분의 시

2014년 01월 23일 접수 ~ 2014년 03월 19일 심사완료
논문심사일 (2014.01.24, 1차), (2014.03.05, 2차)

* 인천대학교 대학원 정보통신공학과

연락처자, E-mail : justin.lkb@gmail.com

Dept. of Information and Telecomm Engineering

Incheon National University

Incheon, 406-772, KOREA

표 1. 활주로 내 이물질(FOD) 발생 및 사고율

구분	이동 1만회당 FOD 발생 건수	비행 1회당 피해 건수	비고
엔진	3.1 건	0.03%	엔진검사/교체, 블레이드 검사/교체
타이어	9.7 건	0.10%	타이어 파열/교체
기체	2.6 건	0.03%	Skin, airframe 손상
Total	15.4 건	0.16%

Fig. 3. 2000년 FOD에 의한 콩코드기 추락

또한 FOD로 인한 항공기 연착 및 지연 등의 간접비용은 항공기 파손으로 인한 직접비용에 비해 10배 정도가 더 소요되고 있으며, 활주로 상의 FOD 파악 및 제거를 인력에 의존하는 수작업 형태를 취함으로 인해 많은 시간적, 경제적 손실이 발생하고 있는 상황이다.

현재 국내의 공항에서 수행중인 인력에 의한 수작업방식의 FOD탐지/제거 작업은 인력의 숙련도, 피로도 등에 따른 우발적인 실수 가능성을 항상 내재하고 있으며, 비나 안개 같은 기상 악화 환경에서는 수작업이 불가능하게 되고, 검사 직후 이외에 항공기 이/착륙 간에 발생하는 FOD에 대해서는 사고위험을 상시 내재하고 있게 된다. 국내 공항의 경우 하루에 4번 차량을 이용하여 활주로를 이동하면서 눈으로 식별하는 것으로 FOD를 탐지하고 있다.

따라서 활주로 상에서 FOD로 인한 사고를 실질적으로 방지하기 위해서는 공항의 기상상태에 제약을 받지 않고, 활주로 사용시간 동안 활주로 상에 발생하는 FOD를 실시간으로 자동 탐지하여 발생한 FOD를 신속히 제거 할 수 있도록 하는 시스템의 도입이 반드시 필요하다.

2.3 FOD 탐지시스템의 요구조건

미국의 경우, FOD에 의한 사고를 예방하기 위

Fig. 4. 인력에 의한 FOD 탐지

해 미국 연방항공청의 주도로 2009~2010년간 시카고의 O'hare 국제공항, Honolulu 국제공항, McClellan-Paloma 공항 등을 대상으로 FOD 자동탐지장비에 대한 시험운용을 실시하여, 시스템에 대한 효과를 확인하였다. 이결과를 기반으로 2009년 이후에는 FOD 자동탐지장비를 확대 운용 중에 있다. FAA의 Advisory Circular에서는 FOD시스템이 갖춰야 할 기본적인 요구사항을 다음과 같이 정의하고 있다.

FAA에서 제안하는 FOD탐지용 레이더의 요구조건은 금속성의 실린더 형태의 물체(지름이 3.8cm 이며 높이가 3cm인 물체)를 1km 거리에서 탐지가 가능해야 하며, 활주로 중심선에서 50m 이상 떨어진 곳에 설치하여야 한다고 권고하고 있다. FOD탐지용 광학카메라의 경우 300m 거리에서 2cm 크기 물체의 탐지가 가능하여야 하며, 활주로 중심선에서 150m 이상 떨어진 곳에 설치하여야 한다고 권고하고 있다. 두 개의 기술을 함께 사용하는 하이브리드 형태의 FOD 탐지장비는 2cm 크기 물체의 탐지가 가능하여야 하며, 일반적으로 공항의 상황에 따라 모든 곳에 설치 가능해야 한다고 권고하고 있다.

그러나, 이러한 FOD탐지에 대한 요구조건은

공항의 환경 및 운용특성에 따라 각기 많은 차이를 보이고 있는 상황이다. 민간공항과 다르게 군공항의 경우 FAA의 요구조건보다 더 작은 크기의 FOD에 대해서 탐지할 수 있도록 요구하고 있다. 실제로 공군의 전투기의 경우 활주로 상에 쌓여 있는 다량의 모래가 비행기에 치명적인 위해를 가할 수도 있어 활주로상의 미끄럼방지 홈인 그루빙(Grooving)에 쌓여있는 모래를 탐지할 수 있는 성능을 요구하기도 한다.

Fig. 5. 그루빙(Grooving)에 쌓인 모래

2.4 FOD 탐지기술 및 상용제품 분석

대개의 상용 FOD탐지시스템 들은 FOD를 탐지하기 위한 기법으로 광학카메라 혹은 레이더 기술을 활용하고 있으며, 탐지율을 높이기 위해 두 기법을 혼합하는 하이브리드 형태를 취하기도 한다.

광학카메라 기술의 경우 고해상도카메라 이외에 야간에도 주간과 같이 선명한 영상을 얻을 수 있는 열열상기술을 활용하면 야간에도 주간과 같

이 FOD를 탐지할 수 있다. 이러한 기술의 경우 주야간 맑은 날씨를 가지고, 눈, 비가 적은 지역의 공항에서 활용할 경우 적은비용으로 높은 성능을 발휘할 수 있게 된다.

레이더 기술을 사용하는 FOD탐지시스템의 경우 눈, 비, 안개, 야간 등의 악기상 환경에서 다른 탐지기술에 대비 상대적으로 우수하고 신뢰성 있는 탐지특성을 얻을 수 있다. 특히 밀리미터파 (millimetre wave, MMW) 대역의 주파수를 사용하는 레이더의 경우 수mm 직경의 금속형 FOD도 효율적으로 탐지할 수 있다. 그러나 이러한 레이더기술은 광학카메라를 활용하는 방식에 비하여 상대적으로 장비가격이 고가로서 구축 시 많은 비용을 필요로 하게 된다.

Fig. 6. 하이브리드 FOD 탐지시스템

광학카메라 혹은 레이더 등을 활용하여 주기적으로 획득된 활주로의 정보는 처리장치에 의해 처리되어 저장되게 되며, 저장된 정보는 이전정

표 2. 활주로 내 이물질(FOD) 탐지시스템 및 운용 현황

제조사	QinetiQ사	Xsight system사	Stratech사	Trex Enterprises사
모델명	Tarsier	X-Sight	iFerretTM	FOD Finder
센서형태	MMW 레이더, 광학카메라	MMW 레이더, 광학카메라	광학카메라	MMW 레이더, 광학카메라
설치형태	고정형	고정형	고정형	고정형/ 이동형
주파수	94.5 GHz	76.5 GHz	-	78~81 GHz
설치공항	<ul style="list-style-type: none"> ●벤쿠버공항 ●히드로공항 ●FAA에서 시험평가 - 프로비던스공항 	<ul style="list-style-type: none"> ●스키폴공항 ●방콕수안나폼공항 ●FAA에서 시험평가 - 보스턴공항 - 텔아비브공항 	<ul style="list-style-type: none"> ●창이공항 ●시카고오헤어공항 ●푸켓공항 	<ul style="list-style-type: none"> ●시카고 공항 ●호놀룰루 공항 ●샌디에이고 공항 ●유타 공항 ●솔트 레이크 시티 공항 ●공군(엘렌돌프, 알 라스카), ●해군 1개 기지

보와 비교되어 차이 값이 도출되어지게 된다. 이 전정보와 비교되어 도출된 차이값은 그 정도와 변화패턴에 따라 자동으로 FOD로 의심 또는 식별되어 관리자에게 표출되어지게 된다.

현재 상용으로 개발되어 공항현장에서 운용되고 있는 FOD탐지시스템으로는 QinetiQ사의 Tarsier[2], Xight System Ltd사의 Xsight[3], Stratech사의 iFerretTM[4], 그리고 Trex Enterprise사의 FOD Finder[5] 등을 대표적으로 들 수 있다. 표 2에 대표되는 4개사의 FOD 탐지시스템에 대한 사용기술과 운용방식, 사용 중인 공항 등을 나타내었다. 표 2와 같이 Tarsier, Xsight, FOD Finder의 경우 밀리미터파(MMW) 레이더와 광학카메라기술을 하이브리드하여 운용하고 있으며, iFerretTM의 경우에만 광학카메라 기술만을 사용하여 FOD탐지기능을 구현하고 있다.

Trex Aviation사 FOD Finder의 경우 레이더와 광학카메라 기술을 이용하여 차량에 설치해 운용하는 이동형 방식으로, 사용 환경에 따라서 고정형으로도 설치하여 운용이 가능하도록 설계되었으며, FOD흡입기와 병용하여 민간공항 뿐 아니라 항공모함 등에서도 사용이 가능하도록 설계되었다.

Xight System Ltd사 Xsight의 경우 활주로상의 기존등화장치를 변형하여 활용하여 FOD탐지시스템을 구현함으로써, 활주로 주변에 항공기 운행 상 장애요소가 될 수 있는 별도의 타워설치 및 관로공사를 줄이며 차별화된 설치, 운영방식을 실현하고 있다.

앞부분에서 논의된 대부분의 운용중인 FOD탐지 시스템들은 제품의 표시성능 상에서 기상 좋은 상황(최적환경)을 기준으로 90%이상의 탐지확률을 나타내어 FAA Advisory Circular의 권고사항에 부합하도록 제작되었다고 주장하고 있다.

그러나, 이러한 FOD탐지시스템들은 실제 설치되어 운영 중인 공항들에 따라 서로 다른 운영환경과 요구조건을 가지고 있어 실제 현장에서 경험하는 탐지성능과는 많은 차이를 보이고 있는 상황이다. 아울러, 공항현장의 기상상황 등에 따라 빈번한 오경보와 오탐지 발생, 조류 및 야생동물 등의 생물체 탐지기능의 한계, 많은 관리포인트들로 인한 잦은 고장발생, 눈과 비 등의 악 기상 상황에서의 운용불능 상황발생 등의 이유로 인해 운용 상 많은 문제가 제기되고 있는 상황이다.

이러한 자동식 FOD탐지시스템의 문제들과 투자대비 효과에 대한 회의적인 의견들로 인해 자

동식 FOD탐지시스템을 도입하지 않은 많은 공항들에서는 자동식 탐지장비의 도입을 보류하고, 기존에 운영되어 오던 전통적인 방식의 인력에 의한 수작업관리방식이나 그림7과 같은 수동식 FOD 수거장치 등을 활용하는 방식을 계속 유지하고 있는 상황에 있다. 그러나, 이러한 공항의 FOD관리 담당자 대부분은 이러한 기존방식으로 는 실질적으로 FOD에 의한 위협을 제거하는 데에는 한계가 있다는 것을 공감하고 있다.

Fig. 7. 수동식 FOD 수거장치

2.5 효과적인 FOD탐지기술의 적용

본 논문에서는 국내 민/군공항에서의 FOD방지 관련 운영환경과 현재 개발된 FOD탐지기술에 대한 기술적 고찰을 통해 한국의 공항환경에 보다 적합하고 높은 탐지확률과 낮은 오경보율을 가질 수 있는 FOD탐지시스템 구축에 대한 방향을 제시하고자 한다.

활용되는 기술측면에서 보면 많은 눈, 비, 연무가 발생하는 우리나라 환경에서 레이더 기술과 광학기술(고해상도카메라 및 열영상카메라 기술)이 병행 사용되는 하이브리드형 FOD탐지시스템을 통해서만이 안정된 탐지성능을 기대할 수 있다고 제안한다. 그러나 눈, 비, 연무가 발생하는 악 기상 상황에서 활주로를 운용하지 않는다면 비용적 측면에서 이러한 하이브리드형 시스템보다는 단일 센서를 사용하는 탐지시스템의 사용에 대한 재고할 필요가 있을 것이다.

밀리미터파 레이더 기술을 사용하더라도 RCS(Radar Cross Section)가 작은 소형 FOD의 탐지에는 한계가 있으며, 광학 카메라의 경우에는 눈, 비, 연무 등의 악 기상 상황에서는 활용이 어려운 단점을 가지고 있다. 또한 움직이는 생물체에 대한 탐지 및 추적과 FOD의심물체가 위해도가 높은 금속인지, 주의를 요하는 생물체인지에 대한 구분도 거의 불가능한 상황에 있다.

현재 해외 공항에서 운영 중인 대부분의 FOD 탐지 시스템들은 안개, 악천후의 상황에서 은닉된 물체를 탐지하도록 75~110GHz 대역의 밀리미터파 레이더를 사용하고 있다[6-7]. 레이더에 의해 탐지된 FOD 의심 물체를 좀 더 정확히 확인하기 위한 수단이나 병행탐지를 통해 탐지확률을 높이기 위한 방법으로 고성능 광학카메라를 함께 활용하는 방식을 사용하고 있다.

장비의 운용방식의 측면에서 보면 활주로 상의 FOD발생 특성상 실시간 감시를 수행할 때 FOD로 인한 항공기의 손상을 실질적으로 방지할 수 있게 된다. 그러므로 고정형방식의 시스템을 구축을 통한 실시간감시 수행을 기준으로 하고, 악 기상 및 고정형 방식으로 감시가 용이하지 않은 상황 또는 환경에서 이동형방식의 시스템을 활용하여 보완하는 운용방식을 제안한다. 그러나 너무 많은 관리 포인트를 갖는 고정형 시스템과 FOD제거장치를 병행해서 운용하는 이동형시스템의 활용에 대해서는 활주로의 접근 및 공항의 운용특성을 면밀히 검토하여 도입을 결정해야 할 것이다.

7. 결론

본 논문에서는 FOD를 정의하고 위험성과 필요성에 대해서 조사하였고, FAA에서 권고하는 FOD 탐지 시스템의 요구조건과 우리나라 공항 환경에서의 요구조건을 분석하였다. 또한 기존 운용중인 기술과 운용방식을 비교·분석하였다. 아울러, 우리나라 공항환경에서 효과적으로 FOD를 탐지할 수 있도록 하기 위하여 밀리미터파 레이더와 열영상 카메라, 광학카메라 기술을 복합하여 운용하는 하이브리드 형태의 FOD자동탐지시스템의 적용을 제안하였고, 고정형방식의 시스템 구축을 통한 실시간감시를 기준으로 하고, 이동형 방식의 시스템을 부가적으로 활용하여 운용하는 방식을 제안한다.

참고문헌

- [1] The Federal Aviation Administration (FAA) (2009), Airport Foreign Object Debris (FOD) Detection Equipment, AC 150/5220-24, US Department of Transportation, Washington, D.C.
- [2] Tarsier - QinetiQ Automatic Runway Debris Detection 2009 [Online], Available:

<http://www.QinetiQ.com/Tarsier>

- [3] Xsight - Advanced Radar and Optic Sensors for FOD Detection and Homeland Security 2009 [Online], Available: <http://xsightsys.com>
- [4] Stratech, iFerretTM System[Online], <http://www.stratechsystems.com/>
- [5] FOD Finder system [Online], Available: <http://www.fodfinder.com>
- [6] 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, Vol. 4, June 2012, pp.317-326
- [7] Karim M., Christian P., Jerrome L., Jean-Yves D., Claire M., Shunichi F., Akiko K. and Naruto Y. "77 GHz offset reflectarray for FOD detection on airport runways" International Journal of Microwave and Wireless Technologies, Vol. 4, Feb 2012, pp.37-43
- [8] Xu Q., Ning H. and Chen W., "Video-based Foreign Object Debris Detection", IEEE International Workshop on Imaging Systems and Techniques, May 2009, pp.119-122
- [9] Ben N., Hongbin G., Jin S. and Ning C., "Research of FOD Recognition Based on Gabor Wavelets and SVM Classification", Journal of Information and Computational Science, April 2013, pp.1633-1640