

항공기 및 무인기 SAR 기술 동향

황 용 철 · 전 병 태

국방과학연구소
영상정보체제단

I. 서 론

과거의 주요 정보 수집 수단은 사람에 의존하였으나, 항공기 등의 이동 수단이 개발하면서 전자 광학 장비를 이용한 영상 정보 획득 센서 분야도 비약적인 발전을 이루게 되었다. 레이더(RADAR) 분야도 주로 항공기 등의 표적 탐지에만 활용하였으나, 1951년 SAR (Synthetic Aperture Radar) 원리가 개발된 이후로 1960년대부터 주로 군용 영상획득 장비가 개발되어 왔으며 그 활용 범위가 점차 증대되고 있는 추세이다. SAR는 전자파를 방사하여 지표면에서 반사되어 오는 신호를 합성하여 전파 영상을 형성하는 레이더 시스템의 일종이다. SAR 시스템은 주야간 전천후로 영상을 획득할 수 있는 장점이 있어 영상 정보 획득 센서로서 군사 분야에서 주로 활용되어 왔다. 항공기를 활용한 감시 정찰분야의 초기에는 항공기/전투기를 개조하여 SAR 장비를 탑재하여 운용하였으나, 최근에는 레이더와 SAR 기능을 통합한 SAR 장비도 많이 등장하고 있다. 또한 레이더의 고유한 기능이던 이동 표적을 탐지하는 기술인 MTI(Moving Target Indicator) 기능이 SAR 장비 기능으로 포함되어 하나의 SAR 센서를 이용하면서도 다양한 운용 모드를 선택적으로 활용할 수 있게 되었다.

최근에는 무인화 기술의 발전으로 감시 장비를 항공기 탑재에서 무인기에 탑재하는 개념으로 발전하고 있는 추세이며, 미국에서는 이라크전 및 대테러전에서 SAR 센서가 탑재된 무인공격기를 적극적으로 활용하였다. 미래전에 대비한 전장 상황 변화 및 기술 발전으로 인하여 감시정찰 장비의 무인화 추세는 더

욱 심화될 것으로 예상된다. 미래의 무인기에 탑재할 감시정찰 체계는 단순한 감시, 정찰 수단에 국한되지 않고, 정찰, 감시, 표적 탐지, 식별, 공격을 포함한 무인전투기에 탑재할 수 있는 시스템으로 발전할 것으로 전망된다.

SAR 시스템은 군사 분야에서 주로 활용되어 왔으나 최근에는 민수 분야에도 그 활용 분야가 점점 증대되고 있는 추세이다. SAR 탑재체 온보드 영상 처리 기술과 안테나 기술의 발전으로 SAR 시스템 이득과 영상 해상도가 급격하게 향상되고 있고, 시스템의 경량화 및 저전력화 구현으로 영상 획득 모드에서 동일 해상도 대비 탐지 거리도 지속적으로 증가하고 있다. 광학 및 적외선 센서를 활용하던 탐색기 분야도 소형 경량화된 고해상도 SAR 탐색기가 등장하여 표적 탐지 임무 및 공격 임무를 동시에 수행하는 개념으로 발전하고 있다.

본 논문은 2장에서 항공기 및 무인기용 SAR 센서의 특징과 현재까지 개발된 주요 SAR 장비의 특징을 체계적으로 정리하였다. 3장에서는 현재 및 향후 SAR 핵심 분야에 대한 기술 발전 방향 및 발전 추세를 분석하고, 4장에서는 향후 SAR 기술의 발전방향 및 추세를 전망한다.

II. SAR 시스템 개발 현황

2-1 시스템 개요

항공기 SAR 시스템의 운용적인 측면에서의 중요한 특징은 다음과 같다.

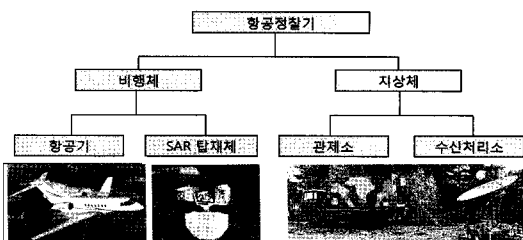
- 기상 조건과 무관하게 주야간 전천후로 영상

- 정보 획득하므로 적시성이 우수
- 임무 거리에 따라 영상 해상도를 일정하게 유지하는 영상 정보 획득 능력 우수
- 원거리에서 임무 수행이 가능하므로 적의 위협으로부터 운용 장비의 생존성이 우수
- 하나의 SAR 센서로 고해상, 표준 해상, 광역 관측, GMTI 등 다양한 운용 모드 운용
- 다중주파수/다중 편파를 이용하여 다양한 표적 특성을 활용하기 위한 영상 정보 획득

위성에 탑재된 SAR 시스템은 궤도 운용특성에 따른 재방문 주기에 의하여 제한된 임무를 수행해야 하지만, 상대적으로 임무 지역에 대한 입사각이 작아 상대적으로 지형차폐가 적으면서 광역 관측이 가능한 특징이 있다. 항공 및 무인기에 탑재되는 SAR 시스템은 영상 획득 임무가 요구되는 시점에 빠른 갱신 주기로 운용이 가능하지만, 장거리 관측시에는 임무 지역에 따라 지형 차폐에 의한 사각 지역이 발생할 수 있다.

항공 정찰기를 구성하고 있는 시스템은 [그림 1]과 같이 크게 비행체 및 지상체로 분류할 수 있으며, 비행체는 임무 특성을 고려한 SAR 시스템을 개발하여 운용하게 된다. 일반적으로 지상체는 임무 계획 및 임무관리를 담당하는 관제소/비행 통제소와 획득 자료를 수신하여 처리를 담당하는 수신 처리소로 구성된다.

SAR 시스템의 대표적인 운용 모드는 [그림 2]와

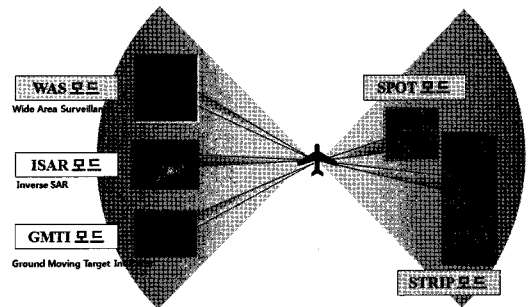


[그림 1] 항공 정찰기 시스템 구성

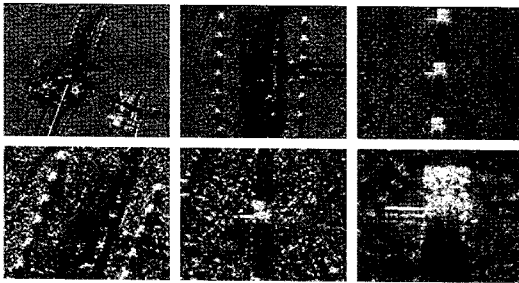
같으며, 시스템의 운용 목적에 따라 선별적으로 적용하며, 운용 모드의 개략적인 설명은 다음과 같다. 용 목적에 따라 선별적으로 적용하며, 운용 모드에 대한 개략적인 설명은 다음과 같다.

- SPOT(Spotlight) 모드: 방위각 해상도를 증가시키기 위해 특정 지역을 집중적으로 관측하는 운용 모드
- STRIP 모드: 방위각의 빔 조향 각도를 일정하게 고정하고 비행 방향의 직각방향으로 지속적으로 영상을 획득하는 운용 모드
- WAS(Wide Area Surveillance) 모드: 넓은 지역을 탐색할 수 있지만 상대적으로 저해상도 영상을 획득하는 운용 모드
- ISAR(Inverse SAR) 모드: SAR 기본 원리를 역으로 이용하여 주로 해상에서 선박 식별에 적용하는 운용 모드
- GMTI(Ground Moving Target Indicator) 모드: 지상의 이동 표적을 탐지하고 속도를 추정하는 운용 모드

SAR 영상 해상도는 SAR 시스템에서 가장 중요한 성능평가 요소 중의 하나이다. [그림 3]은 미국 Lynx SAR 시스템을 이용하여 T-47 탱크를 대상으로 획득한 영상으로서 해상도 1 m, 0.3 m 그리고 0.1 m 해상도에 따른 표적 특성을 잘 보여주고 있다^[1].



[그림 2] SAR 시스템의 대표적인 운용 모드



(A) 해상도 1 m (B) 해상도 0.3 m (C) 해상도 0.1 m

[그림 3] 영상 해상도에 따른 SAR 영상 비교

2-2 항공기 및 무인기 탑재 SAR

현재까지 전 세계적으로 공개된 항공기 및 무인기 탑재 SAR 시스템 중에서 중요 SAR 시스템의 특성을 설명할 것이며, 그 대표적인 주요 성능을 <표 1>과 <표 2>에 정리하였다^{[2],[3]}.

2-2-1 Advanced Synthetic Aperture Radar System(ASARS)-2

Raytheon Systems사에서 개발한 ASARS-2 레이다는 고고도에서 운용 가능하며, 실시간 고해상도 영상

모드와 MTI 기능을 보유한 시스템이다. U-2S에 장착된 시스템은 항공기 전면부에 장착된 전자 빔 조향 안테나, 수냉식 냉각 장치/열교환기, 송수신기, 전원 공급 장치 및 통제기 등으로 구성되어 있으며, Power PC 프로세서, i860 Mercury 기반의 컴퓨터를 이용한 온보드 영상처리 기능을 갖도록 성능 개량이 이루어졌다.


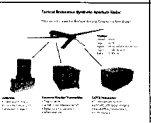

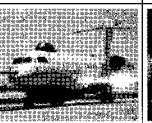


2-2-2 Airborne Stand-Off Radar(ASTOR)

Raytheon System사에서 영국의 지상 감시 ASTOR 항공기에 탑재 가능하도록 ASARS-2 센서를 개량하여 개발 위험도를 낮추고 SAR/MTI 이중 모드가 가능한 ASTOR 레이다를 개발하였다. SAR 시스템은 미 공군의 표준 송수신기, 성능 향상된 영상처리기, BAE Systems Avionics사 및 QinetiQ사에서 개발한 4.6 m 기계/전자빔 조향의 혼합형 안테나로 구성되어 있다.






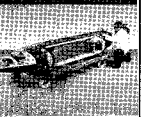
2-2-3 AN/APY-3 Multimode Side-Looking Airborne Radar

Northrop Grumman사에서 개발한 AN/APY-3 레이다

<표 1> 해외 SAR 시스템 주요 성능 (1)

특성 \ 체계	HISAR	AN/ZPQ-1	AN/APY-6	ASTOR	SOSTAR	CARABAS
영상						
해상도(m)	0.3/1	0.3/0.6/1	0.3~1/1~8	0.5	-	1.75~2.5
관측폭(km)	2/10	0.8/1.6/2.4	6~48 km	-	-	8 km ²
운용 모드	Spot/Scan/ GMTI	Spot/Scan	Spot/Strip/ ISAR/GMTI	-	-	SAR/IF-SAR/ GMTI
최대 탐지 거리 (km)	200	28(Spot)	200	250	250	50~60
운용 고도(km)	15~20	4.5~7.5	9~12	12~15	-	10~14
탑재체 무게(kg)	280	80	186	-	-	>100
플랫폼	Global Hawk	Predator RQ-1 (Tier 2)	Aircraft	Aircraft	Aircraft Eurohawk	-
개발 국가	미국	미국	미국	미국/영국	유럽	스웨덴

<표 2> 해외 SAR 시스템 주요 성능(2)

특성 \ 체계	QUASAR	SARIS	AN/DPY-18	EL/M-2055	EL/M-2022	EL/M-2060P
형상						
해상도(m)	0.3/1/3	0.5	0.1/0.3-3	0.3~0.6/1-3	-	0.6
관측폭(km)	2~3.5/5~7/20	10	-	12	-	80
운용 모드	Spot/Strip/ Scan/GMTI	Spot/Strip/ GMTI	Spot/Strip	Spot/Strip/ GMTI	SAR/MTI	Spot/Strip/ GMTI
최대 탐지 거리 (km)	100	180~200	39(Spot) 87(Strip)	< 100	< 360	120
운용 고도(km)	5~15	8	~13	8	-	12
탑재체 무게(kg)	46 (max. 100)	70	36	56	90~100	590
플랫폼	Eagle1 (MALE/TUAV)	Heron, Predator, Rafale, UH60	Predator I-GNAT Fire scout Black Hawk	Heron Eagle 1, 2 Hermes 1500 Searcher I, II	Airborne Helicopter UAV	F-16, F-18, Gripen, Tornado
개발국	영국	프랑스	미국	이스라엘	이스라엘	이스라엘

는 미공군 및 육군의 Joint STARS(Joint Surveillance Target Attack Radar System)란 프로그램명으로 개발되었다. Joint STARS는 장거리, 장시간 체공이 가능한 시스템으로서 온보드 영상처리 기능을 가진 AN/APY-3C 레이더, 운용 및 통제, 통신 시스템을 갖춘 E-8C 비행기와 지상 수신체로 구성되어 있다.

2-2-4 AN/APY-6 Surface Surveillance Radar

Northrop Grumman사에서 개발한 AN/APY-6 SAR/GMTI 해면 탐색 레이더는 육지에서의 고정 및 이동 표적, 바다에서의 선박 표적에 대한 영상을 획득할 수 있다. 레이더는 4채널(1 채널 GMTI 및 3 채널 SAR)로 구성되어 있으며, TWT(Travelling Wave Tube) 송신기 및 Flexible planar-array 안테나를 장착하고 있어 비행체의 전면부 또는 하부에 장착하여 측면 관측 및 360도 전방위 관측이 가능한 특징이 있다. APY-6 레이더 운용 모드는 Strip SAR, Spotlight SAR, ISAR,

GMTI 및 회전 안테나 탐지 모드가 있다. GMTI 모드는 이동 표적의 정확한 위치 정보 제공뿐만 아니라 SAR 영상위에 합성하여 표시할 수 있는 기능을 가지고 있다. 추가적으로 능동형 전자방 조항 안테나(AESA)를 채택하여 SAR 탑재체 성능 개량하였다.

2-2-5 AN/ZPQ-1 SAR

Northrop Grumman사에서 개발한 AN/ZPQ-1 레이더는 RQ-1 무인기에 탑재하기 위하여 TESAR 장비를 기반으로 개발한 시스템으로서, 평판 안테나, 송수신기, COTS 영상처리 등으로 구성되어 있다.

2-2-6 EL/M-2055 SAR

ELTA사에서 개발한 EL/M-2055 SAR/MTI 무인기 SAR 탑재체는 실시간 온보드 신호처리, INU(Inertial Navigation Unit) 및 통신 장치 등으로 구성되어 있다. 저부엽 평판 안테나, drift/roll 및 진동을 고려

한 안정화 장치, 소형 TWT 송신기 등으로 구성되어 있다.

2-2-7 Hughes Integrated Surveillance And Reconnaissance Radar (HISAR)

Raytheon사에서 개발한 HISAR 레이더는 기존에 개발된 ASARS-2 레이더 시스템을 기반으로 민수 및 군용 겸용 목적으로 사용하기 위하여, 용이한 형상 변경, 모듈화 및 SAR/MTI 기능을 갖도록 개발되었다. HISAR 시스템은 Havilland RC-7B ARL-M 플랫폼 및 미공군의 RQ-4A Global Hawk 무인기에 적용하였다. HISAR는 광역 MTI, combined SAR/MTI strip, SAR spot, 해양 감시 및 대공탐색 모드를 가지고 있다. RQ-4A 무인기 레이더는 X-대역(8 ~ 12.5 GHz), 7.4 km/h의 이동 표적을 탐지할 수 있는 MTI 기능, 0.3 m 해상도의 Spot 모드, 1 m 해상도의 광역 탐색 모드를 보유하고 있으며, 최대 탐지 거리는 200 km 까지 가능한 것으로 알려져 있다.

2-2-8 Lynx SAR

Sandia National Laboratories와 General Atomics사에 개발한 Lynx SAR는 무인기용으로 개발된 소형 경량 고 해상도 성능을 갖는 시스템으로서 레이더 전자부(radar electronics assembly)와 센서 전단부/감발부(sensor front-end/gimbal assembly)로 구성되어 있다. 레이더 전자부(REA)는 레이더 제어부, 파형 발생기, 상향 변환기, 수신기, 영상기, A/D 변환기 및 신호 처리기 등으로 구성되어 있으며, VME(Versa Modular Eurocard) 버스를 기반으로 개발되었다. 초고주파 기능 모듈은 STALO, 상향 변환기, 주파수 발생기, 수신기 및 RF 연결기 등의 5개 VME 표준 모듈로 구성되어 있다. 파형 합성기는 1 GHz 클럭에서 동작하는 42비트 정밀도를 갖는 송신 파형을 발생시키기 위해 Custom VME로 구현되어 있다. 영상 처리기는 200 MHz 클럭의 Power PC 프로세서를 채택한 16노드의 Mercury Computer Systems사

의 RACEway를 기본적으로 채택하고 있다.

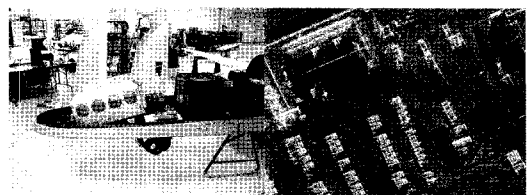
영상처리기의 구조는 사용자의 요구에 맞게 가변할 수 있으며, 레이더 제어 및 선택적인 자료 저장 및 요동보상을 위하여 추가적인 4개의 노드를 할당하여 사용한다. 센서전단부/감발부는 안테나, 요동 측정 센서 및 송수신 전단 장치(TWT 송신 장치 및 저잡음 수신 장치)로 구성되어 있다. 안테나 감발은 3축 제어가 가능한 구조이며, 수직 편파의 혼 안테나가 장착되어 있다. 요동 측정은 Litton사의 LN-200 fibre-optic INS와 GPS 수신기를 활용한다. Lynx SAR의 초기 모델 형상 및 획득 영상은 [그림 4]에 나타내었다.

2-2-9 Stand-Off Surveillance and Target Acquisition Radar(SOSTAR)

EADS Dornier사가 2001년 주축이 되어 유럽 5개국 업체가 NATO의 Airborne Alliance Ground Surveillance (AGS) 규격을 고려한 SOSTAR-X 레이더 기술데모 프로그램을 계획하고, SOSTAR GmbH란 합작회사를 설립하여 시스템 개발을 주도하였다. 2005년도에 개발된 SOSTAR-X는 장비를 Fokker 100 테스트베드 항공기에 장착하여 비행 시험을 수행하였으며, 비행 시험 시 획득한 SAR 영상과 GMTI 정보를 합성하여 지도위에 일치시킨 영상 정보를 [그림 5]에 나타내었다.

2-3 소형 무인기 탑재 SAR

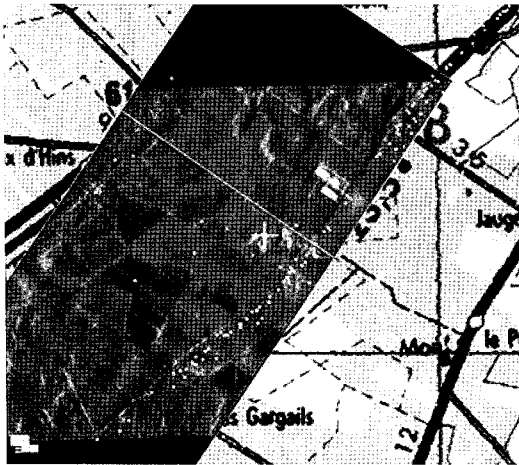
소형 SAR는 소형 항공기 및 소형 무인기에 탑재 가능하도록 SAR 시스템을 소형 경량화한 장비로서,



(A) Lynx 초기 모델

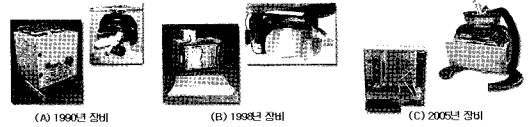
(B) Lynx SAR 영상

[그림 4] Lynx SAR 탑재체 초기 모델 및 영상



[그림 5] SAR 영상과 GMTI 합성 정보


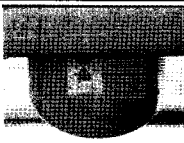
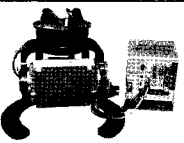
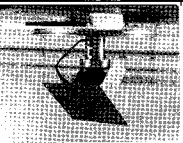

미국 Sandia lab의 소형화 기술 발전 추세를 소개한다. 1990년에 개발된 SAR 시스템은 무게 227 kg에 최고 해상도 15 cm이었고, 1998년에는 무게 55 kg에 최고 해상도 10 cm이며, 2005년도에는 무게 12 kg에 해상도 10 cm의 성능을 갖는 SAR 시스템이 개발되었다. Lynx SAR 장비의 기술 발전에 따라 개발된 SAR 시스템의 형상은 [그림 6]과 같다.



[그림 6] 미국 Sandia Lab의 소형화 발전추세

세계적으로 개발된 소형 경량 SAR 시스템은 MISAR, I-Master, Mini SAR, StacSAR 및 SWROD SAR 등이 공개되어 있으며, SAR 시스템의 주요 특성을 <표 3>에 정리하였다. 최근에 개발된 소형 SAR 장비는 EO/IR 장비를 대체할 수 있을 정도로 저전력, 소형 경량 및 고 해상도 영상 획득 기능을 보유하고 있기 때문에 감시 정찰 분야에서 그 활용성이 점차 더 증대될 것으로 전망된다. 특히 I-Master 시스템은 표준 15인치 EO/IR 센서 터릿과 기구적인 인터페이스가 맞기 때문에 ‘plug & Play’ 형태로 장착 가능하여 EO/IR 센서를 대체하거나, 2개의 센서를 장착하여 운용할 수 있는 특징이 있다^[4]. SWROD(Standoff all-Weather Observation and Reconnaissance Drone)은 CL-289 광학 탑재체를 항공기 개조없이 대체하기 위하여 개발되었으며, 주요 기능은 실시간 고해상도 SAR 영상 전시 및 근실시

<표 3> 소형 SAR의 주요 특성 비교

	MISAR	I-Master	Mini SAR	StacSAR	SWROD
형상					
탐지 거리	< 5 km	< 27 km	< 20 km	< 10 km	< 10 km
중심주파수	Ka 대역	Ku 대역	Ku 대역	J 대역	J 대역
최고해상도	0.5 m	0.3 m	0.3 m	0.3 m	1.4 m
중량	< 4 kg	< 30 kg	< 13 kg	< 30 kg	< 30 kg
운용모드	SAR/GMTI	SAR/GMTI	SPOT	SAR/GMTI	SAR/GMTI
전력 소모	< 100 W	< 600 W	<60 W	<300 W	<220 W
제작사	EADS	Thales	Sandia Lab	Lockheed	EADS
제작국	독일	영국	미국	미국	독일

간 중해상도 MIT 기능 및 온보드 저장 능력을 보유하고 있다. Mini SAR는 Lynx 시스템을 기반으로 하여 소형 경량화시킨 SAR 시스템으로서 근거리에서 최고 10 cm 해상도를 갖는 SAR 영상을 획득할 수 있으며, [그림 7]은 SAR 영상은 구조 헬기를 찍은 영상으로서 선명한 표적 특성을 확인할 수 있다^[5].

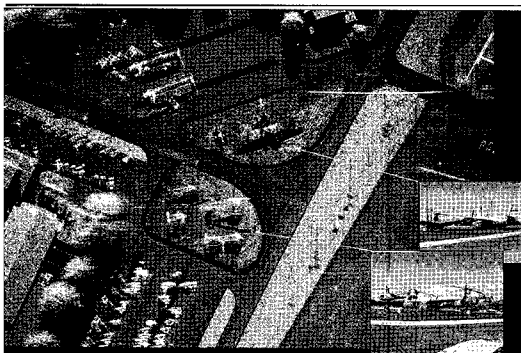
2-4 공격용 무인기 탑재 SAR

2-4-1 무인전투기 탑재 SAR

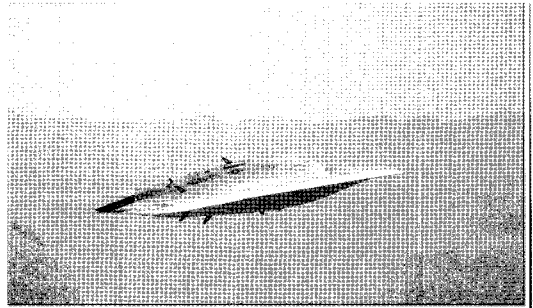
Northrop Grumman사는 전자광학, 적외선, SAR, ISAR, MTI 및 ESM(Electronic Support Measure) 센서를 탑재한 무인전투기 X-47B를 개발 중에 있으며, 향후 SAR를 탑재한 무인공격기는 더욱 더 증가할 것으로 예상된다^[6].

2-4-2 SAR 탐색기 TARES

EADS사의 TARES(Tactical Advanced Recce Strike) 무인공격기는 2002년도에 개발된 TAIFUN 시스템을 개량하여 2005년도에 개발되었다. TARES 시스템은 고정 및 이동 표적물 등을 공격하기 개발되었으며, 고해상도 IR 및 SAR 탐색기가 탑재되어 있다. SAR 탐색기는 35 GHz의 Ka 대역에서 0.7 m 영상 해상도의 영상을 획득할 수 있으며, 표적 확인 및 추적을 위하여 DBS(Doppler Beam Sharpening) 기능과 MTI(Moving



[그림 7] MiniSAR로 획득한 구조 헬기 SAR 영상



[그림 8] 비행중인 X-47B 무인전투기

Target Indicator) 기능을 이용한 패턴 인식 방식과 모노펄스 추적기술을 적용하였다^[7].

III. SAR 기술 발전 방향

2장에서 살펴본 바와 같이 세계적으로 항공/무인기 탑재 SAR 시스템의 종류가 형태, 크기, 구성, 특징, 적용 고도, 적용 분야, 활용 등에 따라 다양하며, 복잡성을 가지며 개발되었음을 알 수 있다. 기상 조건이나 주·야간에 상관없이 고해상 이미지를 획득할 수 있어 항공 운항, 관제, 화재 진압, 지구 탐사, 기상 관측, 지형 측정 등의 민수뿐만 아니라 조기 경보, 도시 방어, 미사일 유도 등 군사적 목적으로 그 필요성이 점점 증가되고 있는 실정이다. 이러한 요구에 따라 점점 다양한 형태의 새로운 기술을 적용하여 개발되고 있으며, 특히 고해상도, MTI, 넓은 관측폭, 소형, 자동화, 다양한 정보 추출 등에 대한 요구가 높아지고 있다. 이 절에서는 소형 경량화, 저전력, 해상도, 활용 등 여러 관점에서 현재 및 앞으로의 항공/무인기 탑재 SAR



(a) 운영 개념도 (b) 발사 장면 (c) Seeker 형상

[그림 9] TARES 운영 개념도 및 형상

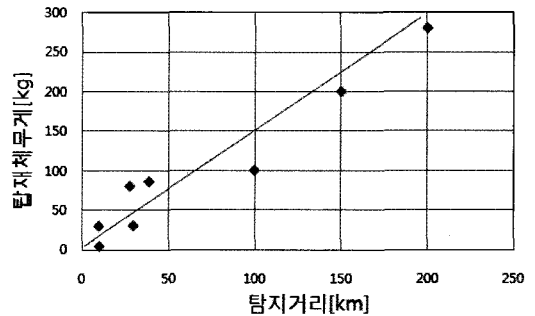
시스템의 기술 발전 추세를 살펴보고자 한다.

3-1 SAR 시스템 발전 추세

SAR 시스템의 전자파 영상 획득 특징이 항공/무인기 적용 탑재 장비로서 중요한 요인이 되었으나, 광학 센서에 비해 낮은 해상도, 높은 무게 비율, 소모 전력의 과다, 안테나 크기 등의 문제가 무인기 적용에 단점이 되어 왔다. 그러나 RF 부품 개발, 재료의 발전, 프로세서 성능 발달, 신호 처리 기술 발전 등으로 소형 무인기 탑재 SAR 및 해상도가 급격히 발전되었고, 관측 영상폭이 증가되었다. [그림 10]에서 나타난 것처럼 영상 관측폭이 매 6년마다 1 mm씩 증가되는 현상을 보였는데, 데이터 획득 및 처리 속도가 높아져서 넓은 영상 관측폭 요구에 대한 구현이 가능해졌음을 알 수 있다^[8].

전체적으로 무게 감소 추세도 이루어지고 있으며, 도시 지역이나 근거리 영상 획득 요구 및 기술 개발에 따른 소형/초소형 무인기용 구현이 가능해짐으로써, 중형 SAR 탑재체와 별도로 경량화 SAR 탑재체 개발 추세를 보이고 있다. EADS사에서 개발한 Mi-SAR의 경우 10 kg급 무게의 초소형 탑재체를 개발하여 EO/IR센서와 비교할 수 있을 정도이다.

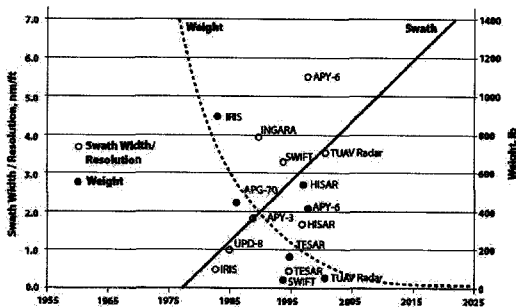
기술 개발에 따른 탐지 거리의 변화를 살펴보기 위해서 탐지 거리 대비 탑재체 무게 상관 관계를 [그림 11]에 그래프로 도시하였다. 임무 장비의 탐지 거



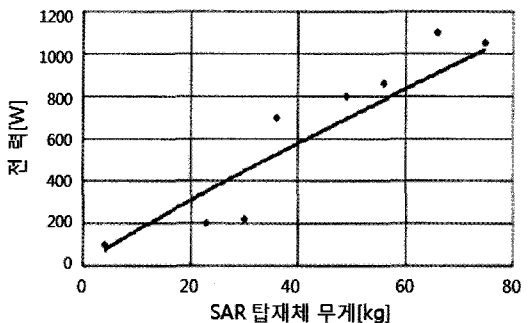
[그림 11] SAR 탑재체 무게 vs 탐지 거리

리가 탑재체 무게와 비례 관계를 보이는 것은 당연한 결과이며, 개발 장비들의 분포점들이 직선 주변에 모여있는 점을 판단하면, 기술적으로 무게에 부담을 주지 않으면서 탐지 거리를 급격히 증가시킬 수 있는 새로운 기술 개발이 필요한 것으로 판단된다.

[그림 12]는 SAR 탑재체의 무게 대비 전력 변화가 비례 관계임을 나타내고 있다. 앞의 탐지 거리 대비 무게 비교 그림에서 비례 관계임을 고려하면 탐지 거리 대비 전력 관계도 비례 관계임을 알 수 있다. 무게가 80 kg 미만 범위의 SAR가 개발된 것을 보아서 저전력/경량 탑재체 구현이 이루어지고 있는 추세를 알 수 있지만, 탐지 거리뿐만 아니라 운용 측면에서 판단한다면 활용 관점에서 크게 두 분류로 구분되어 개발 추세를 알 수 있다. 탐지 거리가 짧은 무인기와 중/장거리 탐지 거리의 무인기로 구분되며, 소형/경량



[그림 10] SAR 시스템의 영상 관측폭 및 무게 변화 추세



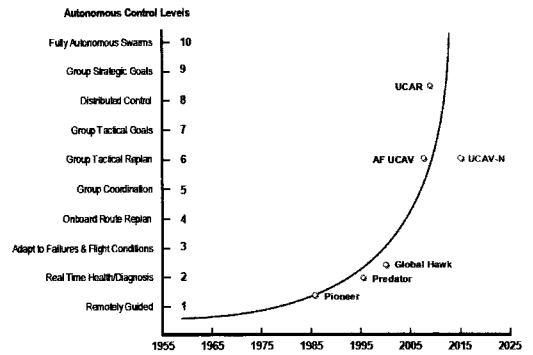
[그림 12] 탑재체 무게 vs 전력

화 기술 적용으로 짧은 탐지 거리 적용의 초소형 무인기의 개발 사례가 많아졌음을 알 수 있다.

전력 관점에서 SAR 탑재체의 소모비는 EO/IR 센서에 비해 높은 편이어서 비행체 체공 시간 관점에서 무인기 적용에 단점인 면이 있다. 그러나 이를 극복할 수 있는 기술로서 Solar-Electric 무인기 기술 개발도 한 방향성을 보이고 있다. 1972년도에 6피트 크기의 RF-4 모델 비행체에 연료 대신 전기 배터리에 의해 1시간 동안의 비행이 성공된 이후 Solar cell를 이용한 무인 비행 개념의 구현을 노력하고 있다^[9]. 현재 solar cell의 효율이 40 %까지 도달되어 있으므로 무인 비행체의 날개 넓이를 고려하면 구현 가능성이 높은 편이다. [그림 13]의 위도에 따른 태양 전력량을 기준으로 255 ft² 면적, 6월달 시기, 정오 시점, 해수면을 기준으로 전력량을 계산하면 24 kw 이상의 전력 획득이 가능함을 알 수 있다^[10]. Solar-electric 무인기 탑재 SAR 시스템 기술 개발도 추세를 보이고 있다.

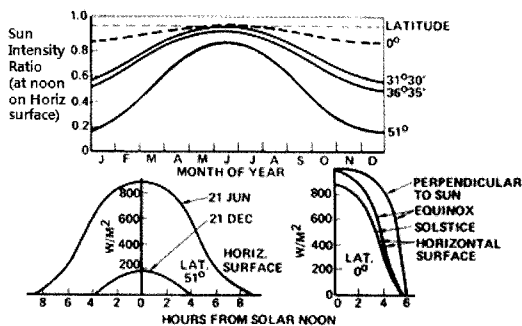
역사적으로 무인기는 단순한 원격 조정 비행체였으나, 자동 제어 개념을 적용하기 위한 요구가 점점 증가되고 있다. [그림 14]는 년도별 무인기의 자동 조정 수준 변화 추세이다^[8].

조정 관점에서 무인기는 원격 조정(수천 km 떨어진 대륙간 조정 가능)과 이륙전 업로드된 비행 계획에 따라 자동 조정 비행을 한다. 자동 조정이 인력 및 데이터 전송의 문제점을 최소화하는 장점뿐만 아



[그림 14] 자동 제어 레벨 개발 추세

니라 가시선(line of sight) 범위를 넘어 전술 운용도 가능하게 한다. 이에 따라 영상을 획득하는 SAR 시스템도 비행체의 자동 제어 개념 도입에 따라 영상 획득 기능이 다양화되어야 한다. 정보 획득 관점에서 이륙전업로드된 임무 계획에 따라 임무 지점에 도달시 임무를 수행하는 자동 모드와 무인기 운영자의 요구에 따라 수시 지정된 지역의 영상을 획득하는 수동 모드가 있을 수 있다. 현재 운용 개념은 미리 지정된 영역에 대하여 영상을 획득하고, 특별한 경우에 재촬영하는 제한된 운영 개념이지만, 자동 표적 인식 알고리즘을 적용한 특정한 특성의 표적 데이터베이스를 활용하여 자동적으로 센서가 표적을 찾고 추적할 수 있는 개념의 기술이 앞으로 개발해가는 방향이다. 현재 구현된 기술 능력 제한으로 ATR(Automatic Target Recognition)보다는 ATC(Automatic Target Cueing)개념으로 표적을 자동 탐지하고, 운영자에게 알려 운영자가 확인하는 개념으로 센서를 활용하고 있다. 다수 무인기와의 협동 편대 임무를 수행하는 자동 모드의 개념은 더욱 복잡한 개념의 임무 장비 운용성이 요구된다. 임무 장비의 상태 여부를 점검하는 BIT(Built In Test)개념도 자율 관리 체제에서 항상 자체 동작 상태 점검을 수행하며, 수동 운용 기능도 필요시 사용할 수 있도록 병행하여 작용하여야 한다.



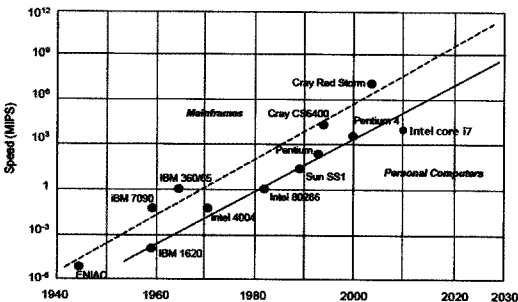
[그림 13] 해수면 기준에서 월/시간별 태양 에너지 세기

3-2 부체계 핵심 기술 발전 추세

SAR 센서는 짧은 역사이지만 레이더 기술을 바탕으로 급격히 발전하였다. 레이더의 안테나 기술, RF 부품, 선형 주파수 변조 기법, 그리고 신호처리 기술 등을 접목하여 고해상도 영상 획득이 가능하게 되었다. SAR 센서의 성능을 향상시키기 위해 요구되는 부체계의 기술들로서 고속프로세서 및 신호 처리 기술, 초광대역 펄스 생성 기술, 경량화 및 능동형 빔 방향 제어 기술 등이 있으며, 몇 가지에 대하여 간단히 살펴보고자 한다.

SAR 센서에서 획득되는 원시 데이터량은 EO/IR 센서의 영상 데이터량에 비해 대용량이기 때문에, 대용량의 샘플링된 데이터를 광역 밴드의 고속 데이터 링크를 통해 지상으로 전송하여 신호 처리하는 방법과 온보드 프로세싱을 수행하여 저용량으로 데이터량을 감소시켜 영상 데이터를 지상으로 전송하는 두 가지 방법이 있다. 온보드 프로세싱을 처리하기 위해서는, 대용량의 원시 데이터를 실시간 신호 처리할 수 있는 고속 프로세서가 필요하다. [그림 15]는 현재 반도체 프로세서의 속도 발전 추세를 보여주고 있으며, 2010년 147,600 MIPS 성능의 Intel core i7 Extreme Edition이 최고 기록을 보여 주고 있다^{[11],[12]}.

동작 주파수면에서 발전 추세를 살펴보면 2015~2020년경에는 1 Terahertz 프로세서가 상용화될 추세를 보인다. 그러나 실리콘 반도체 기술은 물리적인



[그림 15] 프로세서 속도의 기술 발전 경향

제한점을 갖고 있어 0.1 um의 프로세스 극복이 양자 이론에 의하여 불가능하므로, 새로운 기술의 프로세서 개념이 필요하게 될 것으로 보인다.

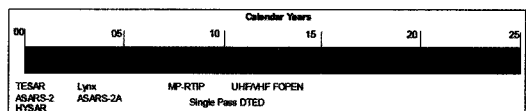
현재 수준의 계산 능력 프로세서를 활용하여 근 실시간 신호 처리 구현이 가능하나, 실시간 및 여러 가지 모드들을 다중으로 구현하기 위해서는 아직 처리속도가 다소 떨어지는 면이 있다.

SAR 안테나는 다른 구성품 및 EO/IR 센서와 비교하여 크기가 큰 경향이어서 무인기 탑재 관점에서 무게 및 적에게 노출 등의 단점이 된다. 이를 극복하기 위해 사용 주파수를 K 대역으로 증가를 시키고 있으며, 또한 기능 측면에서 능동 전자 빔 주사를 구현하는 추세이다.

[그림 16]에서 보듯이 SAR 안테나는 현재는 2축 구동 방식의 김발을 이용한 기계적 구동이 주축을 이루고 있으나, TR 모듈을 이용한 능동 전자빔 주사와 다채널 안테나 구현도 실현되고 있다. 안테나 구조 분야에서는 conformal 형태를 개발하는 프로그램들이 진행 중이며, 이를 적용 시에는 비행체 공간 활용면에서 효과가 증대될 뿐만 아니라 두 개의 날개를 이용하여 두 개의 안테나로 활용 시에는 단일 패스 In-SAR 구현이 가능하여 DEM(Digital Elevation Model) 영상을 획득할 수 있게 된다.

3-3 영상 활용 기술 발전 추세

가축 감시, 화재 감시, 송유관 감시, 자원 조사, 수색/구출 등 민수용 활용 분야와 관계되어 SAR 영상 활용이 급격히 확대되고 있는 추세이다. SAR 영상 활용 분야는 Coherent Change Detection, Polarimetry SAR, Interferometry SAR, FOPEN(FOLIAGE PENetration) SAR 등



[그림 16] 안테나 기술 발전 추세

이 있다.

인간의 접근이 불가하거나 수색영역이 광대할 경우, SAR 시스템을 탑재한 무인기의 수색/구출 응용이 앞으로 기대되는 분야이다. 일례로서 2008년 허리케인이 미국 텍사스 지역을 강타하였을 때 SAR 시스템의 coherent change detection 영상을 활용하여 수색기능을 수행한 적이 있다. [그림 17]에서 예를 보여준 것처럼 1시간 간격으로 같은 지역을 획득한 SAR 영상에서 기계 이동에 의한 위상 특성의 변화가 생긴 부분이 명확하게 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다.

SAR 영상의 In-SAR 기술은 이미 상용화되어 DEM 자료를 판매하고 있는 실정이다. [그림 18]에 항공기 In-SAR 시스템 사진과 In-SAR 영상에서 숲들의 영역을 구분한 독일 Star3i 영상을 예로 나타내었다.

편파 특성을 이용한 Pol-SAR의 개발/활용이 점점 증대되고 있다. 표적의 반사 특성에 따라 획득한 Pol-SAR 영상을 분석함으로써 여러 가지 활용 분야에 적용되고 있다. 4종류의 편파 수신 데이터를 이용하여 작물 상황, 작물 종류 구분 등에 응용할 수 있다.

Pol-SAR에 In-SAR 기법을 더한 Pol-In-SAR 영상



[그림 17] SAR 시스템의 change detection 영상

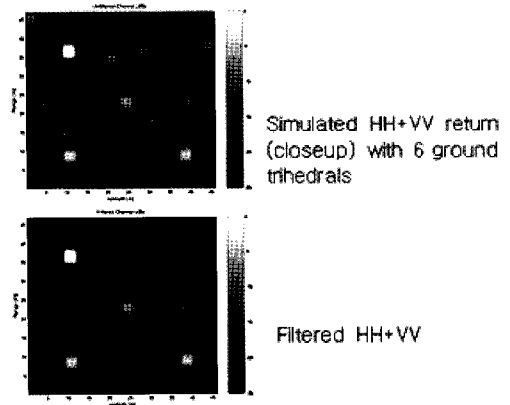


[그림 18] 항공기 In-SAR 영상의 숲 경계 지역 구분 영상

활용 기법이 최근 개발되는 추세를 보이고 있다. 각각의 편파 수신 신호를 이중 패스동안에 모두 획득하여 Interferometry 기법을 적용한다. 기본적인 개념은 HH, VV, VH 편파들이 각각 숲속 투과 특성 및 표적에 따른 반사 특성이 다름을 이용하는 것으로 적용으로는 나무의 높이 추출, 숲/지표 특성화, 숲속의 지표 모델, FOPEN 프로세스 적용하여 숲속표적 탐지 등이 가능하다. [그림 19]에 시뮬레이션에 의한 결과를 예로 나타내었다. HH 및 VV 신호를 필터링함으로써 숲속의 표적을 획득한 영상을 보여준다. Pol-In SAR 기법은 아직 미성숙 단계이며, 앞으로 계속하여 개발될 것으로 보인다.

IV. 결 론

지금까지 SAR의 주야간 전천후 임무 수행 능력과 기술 발전에 부응하여 미국, 이스라엘 및 독일 등 SAR 기술 선진국을 중심으로 SAR 탑재체 개발이 활발히 진행되어 왔다. 세계적으로 개발된 항공기 및 무인기에 탑재된 SAR 탑재체의 기술 현황 및 기술 발전 추세를 살펴보았다. 특히 소형 SAR는 소형 무인기 탑재될 수 있을 정도로 소형화 고해상도 특성을 보유하고 있어 소형 EO/IR 탑재체를 대체하거나 상호 보완적



[그림 19] Pol-In SAR 영상에 FOPEN 처리 결과

으로 운용하게 될 것으로 전망되며, ISR(Information, Surveillance and Reconnaissance) 분야에서 더욱 중추적인 센서로서 핵심 기능을 담당할 것으로 전망된다.

앞으로 등장할 SAR 시스템은 경량화, 고성능화 추세가 계속 지속될 것으로 보이며, 신호처리 프로세서의 기술 개발로 다중 영상처리 모드가 합쳐져 다중모드로 운용될 것으로 예상된다. 향후 SAR 탑재체의 성능 향상을 위하여 기술 개발이 요구되는 분야는 다중모드의 융합, 다중주파수/다중 편파 기술, 영상 정보 융합 기술, 고해상도 영상을 위한 초광 대역 펄스 발생 기술, 자동 표적 식별 기술, 소형/경량화 기술, 영상 활용 기술 등이 있으며, 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 프로세서의 고속 온보드 신호처리 및 실시간 구현
- 영상 관측폭의 증가
- 능동 전자빔 주사 및 Flexible Conformal 안테나 기술
- 소형/초경량화 무인기용 SAR 탑재체 기술
- SAR/GMTI 다중 모드 동시 운용 기술
- 4인치 이하의 초고해상도 구현 기술
- 자율 운용 제어 및 표적 식별 자동화
- In-SAR, Pol-SAR, Pol In-SAR, FOPEN 등 영상 정보 처리 기술

참 고 문 헌

- [1] <http://www.sandia.gov>, Sandia national Lab. Home page
- [2] Analysis - Synthetic Aperture Radar (SAR) and Moving Target Indication (MTI) radar, Jane's Electronic Mission Aircraft, 2007년 9월.
- [3] 양태석, 전병태, "무인정찰기 SAR 개발동향", 국방신기술동향분석서, 10, pp. 17-24, 2008년 10월.
- [4] <http://WWW.thalesgroup.com>, Thales UK Ltd.
- [5] <http://www.sandia.gov>, Sandia national Lab. Mini SAR Flight Image
- [6] <http://www.northropgrumman.com>, Northrop Grumman Home page
- [7] <http://www.militaryphotos.net>
- [8] Office of The Secretary of Defense, "Unmanned Aerial Vehicles Roadmap 2000-2025", Apr. 2001.
- [9] <http://www.projectsunrise.info/page-3.html>
- [10] Hughes Aircraft Spacecraft designers handbook P2
- [11] Office of The Secretary of Defense, "Unmanned System Roadmap 2007-2032", Dec. 2007.
- [12] <http://www.overclock3d.net>

≡ 필자소개 ≡

황 응 철



1987년 2월: 한양대학교 전자통신과 (공학사)

1989년 2월: 한양대학교 통신공학과 (공학석사)

2005년 8월: 충남대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)

1989년~현재: 국방과학연구소 책임연구원

[주 관심분야] 레이더, 영상레이더, 무인기

전 병 태



1986년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1988년 2월: 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)

1993년 2월: 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학박사)

1993년~현재: 국방과학연구소 책임연구원

[주 관심분야] 레이더, 영상레이더, 무인기