

능동 위상 배열 레이더의 개발 동향

김 현 · 나형기 · 전민현

LIG 넥스원

I. 서 론

레이더는 전자파로 주변 영역을 감시하고 표적을 탐지하는 전천후 센서로서 군사용 레이더는 전장감시, 조기경보 및 정밀타격 무기 체계 등의 핵심 장비이다. 레이더의 역사는, 1900년대 초 독일 과학자 홀스마이어(C. Hulsmeyer)의 반사파를 이용한 물체 탐지 및 위치 파악 시험이 성공하면서 시작되었다. 초기의 레이더 기술은 해상 선박의 충돌방지용 기술로 특허가 등록되었지만 각광을 받지는 못하였다^[1]. 하지만 제2차 세계대전에서 영국이 레이더를 이용해 효과적으로 독일의 공습을 막아냄으로써 감시 정찰 분야에서 레이더의 전술적 가치는 급속하게 높아졌다. 이후 강대국을 중심으로 한 레이더의 연구개발은 많은 투자와 노력 끝에 현대의 위상 배열 레이더(phas-ed array radar) 형태로 진화하였다.

네트워크 중심의 현대전에서 적군은 첨단 무기와 보다 정밀해진 장비로 무장하고 있다. 따라서 이러한 적군의 무기에 대비해 오늘날 레이더 기술은 보다 빠른 속도와 뛰어난 성능의 감시/정찰 능력을 요구받고 있다. 최근의 레이더 기술은 반도체 기반의 초고주파 집적회로(RFIC) 기술과 고속 신호처리 기술을 기반으로 급속히 발전하고 있고, 또한 관련 원천기술 개발을 통해 전자파 산업 전반에 많은 영향을 주고 있는 핵심 산업 분야이다.

2000년 이후 우리 군도 레이더 개발의 중요성을 인식하고 단/중거리 레이더를 포함한, 다양한 기능의 레이더를 개발, 배치하는 중이다. 최근 국내 레이더 개발은, 군의 전투기용 레이더 및 고속 탐색/추적

레이더 등의 요구에 부합해 2007년을 기점으로 수동 위상 배열 레이더(passive electrically scanned array radar)에서 능동 위상 배열 레이더(active electrically scanned array radar)로 발전하고 있다. 본고에서는 현재 능동 위상 배열 레이더 관련 기술과 국내 기술 수준을 정리함으로써 향후 국산 능동 위상 배열 레이더의 국내 개발 가능성 여부를 가늠하였다.

II. 본 론

2-1 레이더 기술 발전 방향

레이더 기술은 그 동안 안테나와 신호처리분야에서 많은 발전을 해왔다. 레이더 기술발전 단계를 안테나 기준으로 판별한다면, [그림 1]과 같이 기계 구동식 레이더, 수동 위상 배열 레이더, 능동 위상 배열 레이더, 그리고 아직은 연구 단계인 디지털 레이더 순서로 구분된다.

초창기 레이더는 배열 안테나 또는 반사판 안테나를 이용하여 고이득의 송수신 안테나를 사용하였지만 기계 구동식이기 때문에 빔 조향 속도가 느리다는 단점이 있었다. 하지만 1940년대 빠른 빔 조향이 가능한 위상 배열 안테나가 개발되면서, 이후 레이더 안테나는 위상 배열이라는 기본틀 안에서 발전하였다. 현재는 선배열 혹은 면배열의 능동 위상 배열 레이더 형태로 개발되고 있는데 레이더의 목적이나 플랫폼에 따라 배열 형태가 결정된다([그림 2] 참조). 특히 다기능 레이더(multi-function radar)나 플랫폼 제약이 큰 항공용 레이더 시스템에서는 면 배열의 능



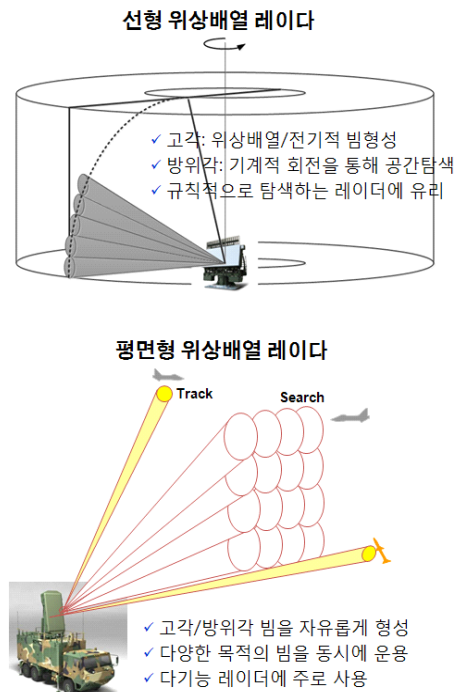
[그림 1] 레이더 기술발전 방향

동 위상 배열 레이더 구조를 이용해 빠른 속도로 다양한 목적의 빔을 형성하고 있다.

2-2 수동 위상 배열 레이더의 특성

위상 배열 안테나는 배열 안테나에서 각 단위 배열소자의 위상을 조절하면 안테나의 기계적 구동 없이도 빔을 조향할 수 있다는 것에서 출발하였다. 위상 배열 안테나는 2차 세계대전 중 영국에서 신속한 레이더 빔 운용을 통한 효과적인 항공관제를 목적으로 알버레즈(L. Alvarez)에 의해 제안되었다. 그러나 이 개념도 레이더가 아닌 주로 전파 천문학 분야의 대형 위상 배열 장치에 사용되었다^[3]. 그러던 중 독일이 1940년대 최초의 위상 배열 레이더인 Mammuth 1을 개발함으로써 기계적 구동 없이 방위각 방향으로 $\pm 50^\circ$ 의 빔 조향 범위를 구현하였다^{[4][5]}. 이후 많은 국가들이 수동 위상 배열 레이더를 연구/개발하기 시작하였다.

위상 배열의 기본원리는 [그림 3]의 선 배열 안테



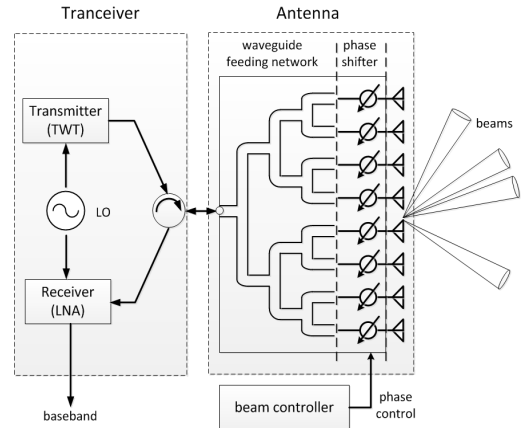
[그림 2] 선 배열과 면 배열 위상 배열 레이더의 특징

나에서 복사소자의 위상지연을 조정하여 전자파의 동위상 파면(wave-front)이 빔 방향이 되는 방식이다. 이때 복사소자별 위상값, $\Delta\phi$ 는 다음과 같다.

$$\Delta\phi(\vec{r}') = e^{-jk_0\hat{k} \cdot \vec{r}'} \quad (1)$$

여기에서 k_0 는 자유공간 전파상수이고, \hat{k} 와 \vec{r}' 은 각각 빔 조향각에 대한 단위 방향 벡터와 복사소자의 위치 벡터를 나타낸다.

수동 위상 배열 레이더는 기본적으로 [그림 4]와 같이 송수신부와 안테나부가 분리되어 구성된다. 송수신부는 진행파 튜브 증폭기(traveling wave tube amplifier, TWTA)와 같은 단일 혹은 소수의 송신기를 기반으로 하는 중앙 집중 송신 구조이고, 안테나부는 복사소자마다 위상 변위기로 위상을 조정하여 단일 주파수와 파형의 레이더 빔을 생성하는 구조이다. 이와 같은 구조의 수동 위상 배열 레이더는 1960년대 전자식 위상 변위기(electrical phase shifter)의 소형화를 통해, 하나의 단위 배열 소자에 복사소자와 위상 변위기가 집적되어 구현되면서 대형 플랫폼 기반의 고성능 수동 위상 배열 안테나가 개발되었다. 1970년대



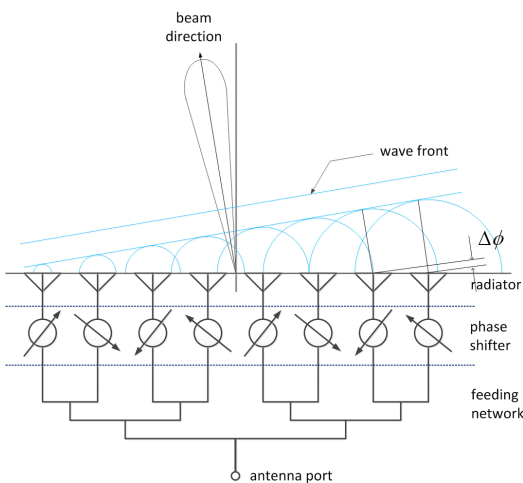
[그림 4] 수동 위상 배열 레이더의 안테나 구조

에 개발된 AN/SPY-1 레이더는 이지스함(AEGIS)에 배치된 대표적인 다기능 수동 위상 배열 레이더로서, 동시에 많은 표적을 탐색 및 추적을 하면서 동시에 미사일에 대한 사격 통제 기능을 보유하고 있다.

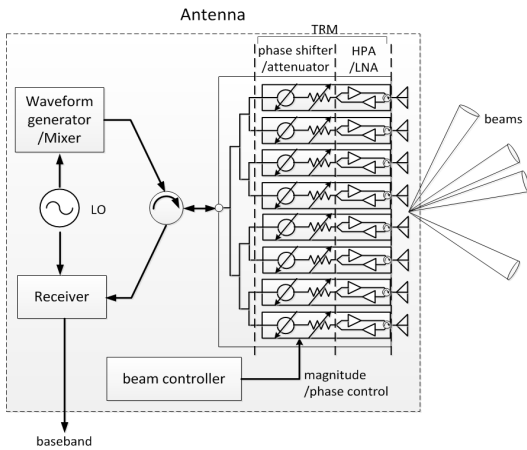
2.3 능동 위상 배열 레이더의 특성

수동 위상 배열 레이더는 중앙 집중 송신 구조이기 때문에 송신기가 고장 나면 레이더 운용이 불가능한 치명적인 단점이 있다. 따라서 레이더 기술은 [그림 5]와 같이 송수신 신호의 증폭 기능을 각 배열 단위 소자가 담당하는 능동 위상 배열 레이더 형태로 발전하였다. 능동 위상 배열 레이더의 배열 단위 소자는 기존 수동 위상 배열 단위 소자 구조에 반도체 기반의 송수신 증폭기를 추가한 반도체 송수신 모듈(transmit receive module, T/R모듈)이 된다.

또한 T/R모듈의 사용은 능동 위상 배열 레이더의 물리적 크기를 줄어줄게 하였다. 수동 위상 배열 레이더는 송신기로부터 발생한 신호를 적은 손실로 복사소자단까지 전달하기 위해 도파관 혹은 공간 급전 방식의, 물리적 크기가 큰 급전 구조가 불가피하였다. 하지만 송신 신호를 각 T/R 모듈에서 증폭하는 능동 위상 배열 레이더의 경우, 급전부가 다층 인쇄 기



[그림 3] 위상 배열 안테나의 원리



[그림 5] 능동 위상 배열 레이더의 안테나 구조(HPA: 고출력 증폭기, LNA: 저잡음 증폭기)

판 등으로 구현되기 때문에 수동 위상 배열 레이더에서 큰 부피를 차지했던 급전부의 크기가 줄어들게 되었다.

위와 같은 특성을 가지는 능동 위상 배열 레이더의 장점을 정리하면 다음과 같다⁶⁾.

- ◎ 신뢰성 향상: 작은 출력의 반도체 증폭기를 사용하기 때문에 고장률이 낮고, 다수의 T/R 모듈이 송신 출력을 분담하기 때문에, 일부 모듈이 고장 나더라도 전체 성능은 크게 변화되지 않거나 점진적으로 성능이 저하된다.
- ◎ 뛰어난 레이더 성능: 하나의 레이더에 탐색/추적 기능 등 다수의 기능을 구현할 수 있고, 빠른 스캔 속도로 인해 월등히 많은 수의 표적을 추적할 수 있다. 또한 멀티 빔(multi-beam)과 적응 빔(adaptive beam)의 디지털 빔 포밍(digital beamforming, DBF)이 가능하기 때문에 대전자전 성능이 우수하다.
- ◎ 확장성 및 기술 재활용성: T/R 모듈을 사용하기 때문에 운용 소프트웨어(software, S/W)의 수정에 따라 확장성 및 기술 재활용성이 높다. 수천 개 급의 T/R 모듈로 구성된 면 배열에서는 용도에 따

라 약간의 하드웨어(hardware: H/W) 변경과 S/W 변경으로 다양한 용도의 다목적, 다기능 레이더로 변신이 가능하다.

이러한 특성의 능동 위상 배열 레이더는 이지스함의 대공 탐지 및 추적, 비행 중인 미사일의 지령, 통제나 F-22 등 최선에 전투기의 탐지/추적 레이더, 포탄이나 탄도의 위치 및 속도 변화를 정확하게 계산하는 대포병 레이더 등에 채택되어 운용/개발되고 있다.

2.4 위상 배열 레이더의 해외 기술 동향

능동 위상 배열 레이더의 주요 기술을 살펴보기에 앞서 본 절에서는 해외 선진국의 레이더 연구 개발 동향을 위상 배열 레이더 중심으로 정리하였다.

2.4.1 미국

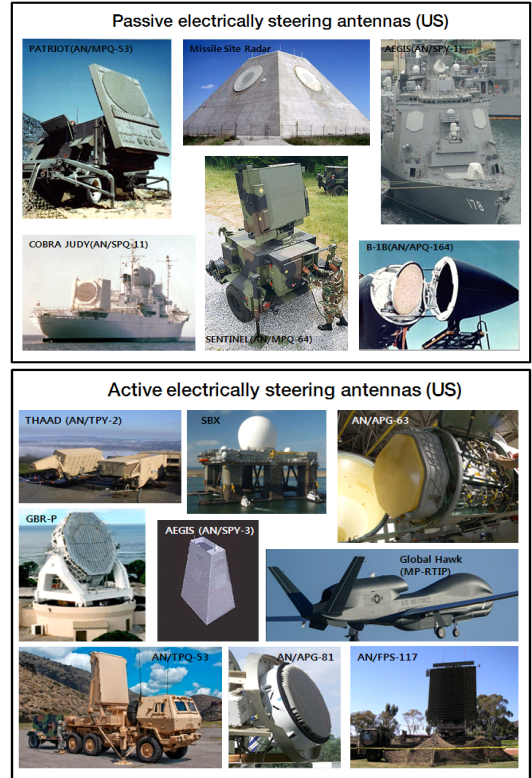
미국은 넓은 국토의 효율적인 방어를 위해 레이더 기술 개발에 많은 예산을 지원해 왔다. 최첨단 레이더의 소요 창출과 막대한 예산 지원을 기반으로 미국은 레이더 연구 개발과 생산의 중심지가 되었다. 미국의 레이더는 3개 방위산업체를 중심으로 생산되고 있는데, 해당업체는 Raytheon, Northrop Grumman, Lockheed Martin이다.

미국은 능동 위상 배열 레이더 분야에서 다른 나라에 크게 앞서 있으며, 많은 종류의 레이더를 능동 위상 배열 레이더로 개발/생산하고 있다. 특히 전투기용 레이더에 있어서는 독보적인 기술을 바탕으로 다양한 종류의 능동 위상 배열 레이더를 생산하고 있는 중이다.

- ◎ 수동 위상 배열 레이더: AN/SPY-1, 지상용 패트리어트 AN/MPQ-53, B-1B의 AN/APQ-164, COBRA JUDY 등이 있다. 미국에서 개발되고 있는 지상/해상용 수동 위상 배열 레이더들은 3차원 탐색, 추적, 사격 통제 기능을 갖춘 다기능 레이더의 특성이 있다.

〈표 1〉 미국의 수동/능동 위상 배열 레이더

위상 배열 방식	구분	주파수	배열수	기능	생산업체 (배치년도)
P E S A	AN/GPN-22	X-밴드		항공관제 레이더	Raytheon
	MSR	S-밴드	20,000	단거리 미사일 및 ICBM 탐지용 고정 레이더	Raytheon
	COBRA JUDY (SPQ-11)	S, X-밴드	12,288	함상용 레이더	Raytheon
	AEGIS (SPY-1)	S-밴드		함상용 다기능 레이더	Lockheed Martin (1983)
	PATRIOT (MPQ-53)	C-밴드	5,161	지상용 다기능 레이더	Raytheon (1977)
	B-1B (APQ-164)	X-밴드	1,526	항공기용 레이더 (SAR 기능)	Northrop Grumman (1984)
	SENTINEL (MPQ-64)	X-밴드		단거리 대공용 레이더	Raytheon
A E S A	TPQ-36	X-밴드		대포병 레이더	Northrop Grumman, Raytheon
	THAAD (TPY-2)	X-밴드		고고도 방어용 다기능 지상 레이더	Raytheon (2006)
	SBX	X-밴드	81,000	해상 고정식 레이더	
	GBR-P	X-밴드	16,896	NMD의 다기능 레이더	
	AEGIS (SPY-3)	X-밴드		탄도 미사일 방어 기능이 추가	Raytheon
	MEADS	X-밴드		중거리 미사일 방어용 다기능 사격통제 레이더	Lockheed Martin (개발 중)
	AN/APG-63 (V)3	X-밴드		F-15 전투기 탑재 레이더	Raytheon
	AN/APG-81			F-35 전투기 탑재 레이더	Northrop Grumman
	MP-RTIP			Global Hawk 탑재 레이더	Northrop Grumman
	AN/FPS-117	L-밴드		대공 탐지 레이더	Lockheed Martin (1980)
	AN/TPQ-53			대포병 레이더	Lockheed Martin



[그림 6] 미국의 수동/능동 위상 배열 레이더

◎ 능동 위상 배열 레이더: THAAD 체계의 다기능 레이더인 AN/TPY-2, 해상 이동식 레이더인 SBX, 그 외 AN/SPY-3, AN/APG-63(V)3, AN/TPQ-53 등이 대표적이다. 특히 항공기용 능동 위상 배열 레이더는 현재 많은 발전과 개발을 거듭하여 전투기의 성능과 직결되는 중요 전투체계 구성품이 되었다.

2-4-2 유럽

유럽(영국, 프랑스, 독일, 스웨덴, 네덜란드, 이탈리아 등)은 작은 레이더 시장으로 인해 위상 배열 레이더 기술이 미국에 비해 다소 뒤쳐져 있었다. 하지만 최근 유럽 국가 또는 미국과의 컨소시엄을 구성해 레이더를 개발함으로써 연구 개발 분야에서는 미국과의 기술 격차를 좁혀 오고 있는 상황이다. 한편,



[그림 7] 유럽의 수동/능동 위상 배열 레이더

러시아는 냉전 종식 이후 레이더 관련 개발들이 주춤하였지만, 최근에는 서방 국가와의 경쟁을 위한 성능 개량을 목적으로 능동 위상 배열 레이더 관련 개발들이 활발히 진행되고 있다.

- ◎ 수동 위상 배열 레이더: 항공관제용인 EMPAR, 대포병 탐지 레이더인 ARTHUR 등이 있다. 시장 규모가 작지만 나름의 경쟁력을 가지고 있다.
- ◎ 능동 위상 배열 레이더: 해상용인 APAR와 SAMPSON, 대포병 탐지용인 COBRA를 이미 개발하여 전력화하였고, 현재는 항공기용 능동 위상 배열 레이더를 전력화하고 있는 중이다.

24-3 기타

미국과 유럽 외에 위상 배열 레이더를 개발하는 해외 국가로는 중국, 일본, 이스라엘 등이 있지만, 이중 중국과 일본은 보안 등으로 인해 자국에서 개발된 레이더를 공개하지 않고 있다. 다만 최근 중국 언론을 통해 항공용 AESA 레이더 시제품이 발표된 것으로 보아 중국 역시 자국 전투기의 레이더로 AESA 레이더를 선택했음을 알 수 있다.



[그림 8] 이스라엘과 중국의 능동 위상 배열 레이더

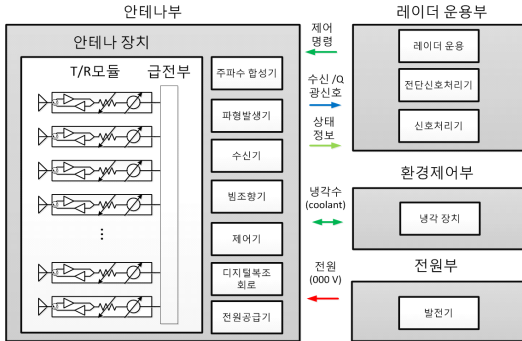
이스라엘은 ELTA사를 중심으로 다양한 플랫폼의 능동 위상 배열 레이더를 생산하고 있다. 대표적인 능동 위상 배열 레이더로는 아이언 돔 방어 체계의 다기능 레이더인 EL/M-2084, 미사일 탐지 레이더 체계인 그린 파인, 함상용 다기능 레이더인 MF-STAR 등이 있다.

2-5 능동 위상 배열 레이더의 주요 기술

2-5-1 능동 위상 배열 시스템의 구조

능동 위상 배열 레이더는 크게 안테나부와 처리부로 구성되며, 기존 수동 위상 배열 레이더의 많은 부분과 기능이 안테나에 통합되었다. [그림 9]와 같이 능동 위상 배열 안테나는 신호 처리 부분을 제외한 레이더 운용에 필요한 복사 소자, 송수신부, 안테나 제어부, 전원공급부 등을 탑재한다. 따라서 안테나의 외부 인터페이스는 광, 제어, 전원, 냉각수(coolant)로 간소화된다.

안테나의 구성은 크게 전기적 부분과 기계적 부분으로 구분할 수 있다. 전기적 부분은 T/R 모듈을 비롯한 송수신부와 안테나 제어부로 구성되고, 기계적



[그림 9] 능동 위상 배열 레이더의 구조

부분은 많은 능동소자의 열을 순환/방열시키는 환경 제어부로 구성되는데 냉각 방식은 레이더의 안정적인 성능을 위해서 많은 주위 환경과 플랫폼을 고려하여, 최적화 설계가 이뤄져야 하는 부분이다.

2-5-2 능동 위상 배열 시스템의 동작

송신 구간에서 안테나 제어부는 빔 조향 명령에 따라 송수신부와 빔 조향 모듈에 제어 신호를 전송한다. 제어 신호를 전달받은 송수신부의 송신 신호 발생 모듈은 구동 RF 신호를 생성하고, 이는 급전 경로를 통해 각 T/R 모듈로 전달되게 된다. 전달된 RF 신호는 고출력 증폭기(HPA: high power amplifier)와 위상변위기를 통해 위상이 제어된 신호로 증폭된 뒤, T/R 모듈의 복사소자를 자유공간 상으로 방사하여 빔을 형성하게 된다. 이때 T/R 모듈은 빔 조향 모듈의 명령에 따라 위상을 제어함으로써 빔을 조향하게 된다.

수신 구간에서는 T/R 모듈은 저잡음 증폭기(LNA: low noise amplifier)를 통해 수신 신호를 증폭한 뒤 크기와 위상을 제어하여, 급전기로 수신 RF 신호를 전송한다. 배열 위치별로 크기와 위상이 제어된 수신 신호는 부 배열별로 전력이 합성되어 수신기로 전송된 뒤, 광신호 변환을 거쳐 신호 처리부로 기저대역의 수신 I/Q 신호를 전송하게 된다. 신호 처리부에 전달된 수신 I/Q 신호는 DBF를 통해 수신 멀티 빔을

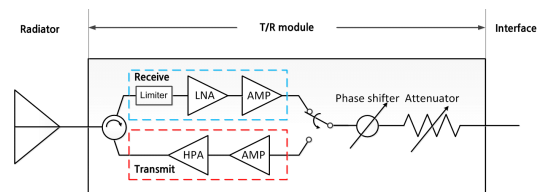
형성하고, 이후 레이더 신호 처리 과정을 거쳐 표적 정보를 추출한다.

능동 위상 배열 안테나는 위와 같은 송수신 과정에서 보정 경로를 통해 실시간 점검을 한다. 이는 능동소자의 발열로 인해 경로의 특성이 변화할 경우, 복사소자단에 위치한 점검 신호 입출력 구조를 이용하여 송수신 채널별 경로 특성을 확인하여 크기/위상을 제어하게 된다.

2-5-3 반도체 송수신 모듈(T/R 모듈)

능동 위상 배열 레이더의 특징은 능동 위상 배열 안테나를 구성하는 TR 모듈의 특성에 기인한다. TR 모듈은 능동 위상 배열 안테나 배열의 구성단위로, [그림 10]과 같이 송신증폭, 저잡음 수신, 전파의 위상/이득 제어, 송수신 제어를 담당하는 MMIC 칩과 제어/전원/RF 회로로 구성된다. TR 모듈의 개발은 반도체 기술의 발전으로 MMIC칩 상에서 여러 RF 기능을 구현할 수 있기에 가능하였다. 또한 MMIC 형태로 개발되어 부가 정합회로가 내장되어 있기 때문에, 보다 작고 가벼운 레이더를 가능하게 하였다.

송수신 모듈의 핵심 부품인 송신 전력 증폭기는 시스템 전체의 크기와 효율에 가장 많은 영향을 주기 때문에, 사용 주파수와 용도에 따라 Si, GaAs, GaN 소자를 적용한 고효율 전력 증폭기가 국내에서도 많이 연구되고 있다^{[7]~[14]}. GaN 소자를 적용한 전력 증폭기는 GaAs 소자를 적용한 전력 증폭기에 비해 높은 출력 밀도를 갖기 때문에 소형화, 집적화 및 고출력이 가능하며, 우수한 열 전도성을 가지며 신뢰성이



[그림 10] T/R 모듈의 기능 블록도

〈표 2〉 국내 개발된 T/R 모듈^{[7]~[14]}

	형상	반도체 소자	주파수	비고
1			L-밴드	
2			K-밴드	브릭형 T/R 모듈
3			X-밴드	
4		-	X-밴드	LTCC 공정을 이용한 T/R 모듈
5		-	X-밴드	타일형 T/R 모듈
6		GaAs	X-밴드	레이다용 반도체 전력 증폭기
7		GaN	S-밴드	레이다용 반도체 전력 증폭기
8			Ka-밴드	
9		GaN HEMT	X-밴드	선박용 레이더 시스템 적용 예정
10			X-밴드	차세대 위성 탑재 SAR의 이중 편파 수신 T/R 모듈
11		GaN	C-밴드	Quad pack 형태의 T/R 모듈

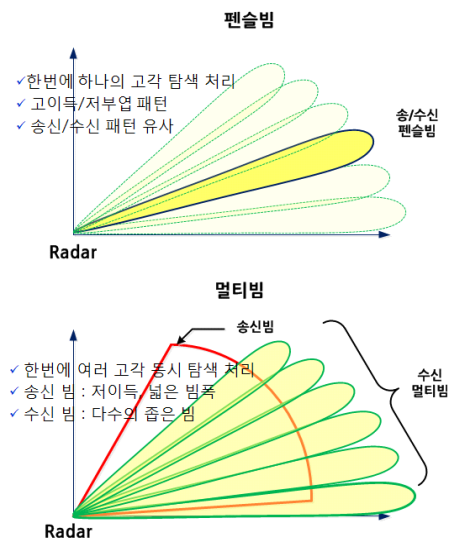
성이 높은 장점을 가지고 있어서 최근에 적용이 확대되고 있다. 국내에서는 L, S, C, X-밴드 등 거의 모든 주파수 밴드의 능동 위상 배열 레이더 개발을 진행하면서 기술이 축적되어 기술 성숙도가 높은 기술 분야이다.

2-5-4 신호 처리

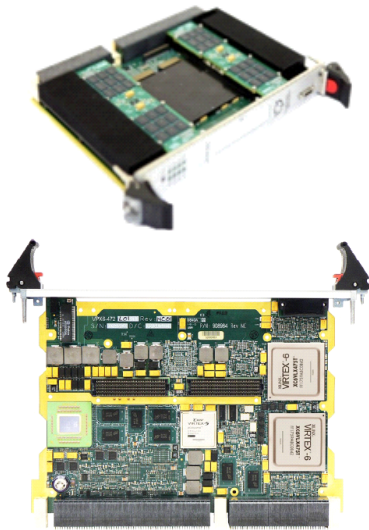
능동 위상 배열 레이더의 운용 모드에 따라 신호

및 데이터 처리 과정이 다르지만, 기본적인 과정은 디지털 빔 형성, 도플러 처리, 펄스 압축, CFAR(constant false alarm rate), 플롯(plot)을 추출한다. 추출된 플롯 정보는 데이터 처리 과정을 거쳐 표적 정보로 변환된다. 이 신호 및 데이터 처리 과정 중 가장 중요한 것은 전단 처리에서 이뤄지는 DBF 기능이다. 능동 위상 배열 레이더는 DBF를 이용하여 수신 멀티 빔 형성(multiple beamforming), 부엽 제거(sidelobe canceller), 재밍 방향 적응 널 형성(adaptive beamforming) 등의 기능이 가능하다. 특히 DBF는 수신시 멀티 빔을 생성하여 동시에 처리가 가능하게 함으로써, 한 번에 하나씩 탐색하는 펜슬 빔보다 공간 탐색의 효율이 증가하는 장점이 있다([그림 11] 참조). 또한 표적 주변에 여러 개의 빔을 동시에 형성할 수 있어 정확한 표적 정보 획득이 가능하기도 하다.

최근 능동 위상 배열 레이더는 디지털 적응 빔 형성(adaptive digital beamforming), 시공간 적응 빔 형성(STAP: space-time adaptive processing), 비협조 표적 인식(NCTR: non-cooperative target recognition) 기술 등의 알고리즘을 이용해 신호 처리를 수행하고 있다.



[그림 11] 펜슬 빔과 멀티 빔



[그림 12] COTS 보드(상)과 Curtiss Wright社의 FPGA 보드(하)

이들 알고리즘은 계산량이 많아 대용량 처리가 가능한 고속 병렬 신호 처리 방식이 하드웨어로써 지원되어야 한다. 실시간 고속, 대용량 병렬 신호 처리를 해야 하는 능동 위상 배열 레이더의 신호처리부의 하드웨어는 크게 FPGA 보드, DSP 보드, SBC 보드로 구성된다. 이중 FPGA 보드는 전단 처리 기능을 담당하고, SBC 보드는 데이터 처리 및 레이더 제어를 담당하게 된다. 후단 처리의 DSP 보드는 고성능 다중 CPU가 포함된 COTS 보드 기반으로 빠른 연산을 담당하게 된다. 최근에는 부동소수점 처리에 단점을 가지고 있는 FPGA 솔루션 대신 높은 속도의 FPOP(Floating Point Operations per second)를 제공하는 GP-GPU(General Purpose Graphics Processing) 솔루션을 적용하려는 경향도 있다.

2-6 국산 능동 위상 배열 레이더의 개발

국내 레이더 개발은 2000년대 들어서 활성화되었다. 이전의 기계구동식 레이더 개발에서 벗어나, 수동 위상 배열 레이더인 PKX 탐색 레이더와 철매-II



[그림 13] 국내 능동 위상 배열 레이더(출처: LIG Nex1 홈페이지)

다기능 레이더를 개발하면서 활성화되기 시작하였다. 그 이후 개발되는 모든 국내 레이더는 능동 위상 배열 레이더로 개발되고 있다.

국내에서 개발되는 레이더는 대부분 방위산업 용도이기 때문에, 관련된 상세 내용은 보안 사항으로 본고에서는 관련 회사들의 홈페이지에 공개된 이미지를 중심으로 소개하고자 한다. 울산-I급 탐색 레이더, 공군 저고도 레이더는 개발 완료된 능동 위상 배열 방식의 탐색 레이더이며, 이어서 다수의 능동 위상 배열 방식의 탐색 레이더가 개발되고 있다. 이러한 탐색 레이더는 30~50여개의 배열로 구성되는 선 배열 방식으로 방위 방향으로 회전하면서 고각 방향으로 빔 조향을 하기 때문에 공간상의 표적 위치를 정확하게 탐지하는 3차원 레이더이다.

수천 개의 T/R 모듈로 구성되는 면 배열 능동 위상 배열 레이더로는 항공기용 AESA와 차기 탐지 레

이다가 있다. 특히 차기 탐지 레이더는 포탄과 로켓을 탐지/추적하는 레이더로, 약 3,000여 개의 T/R 모듈로 구성되고, 최신의 능동 위상 배열 레이더 기술이 적용되어 개발되고 있다. 국내에서도 다양한 능동 위상 배열 레이더가 개발되고 있고, 많은 연구 개발을 통해 기술이 성숙 단계에 다가가고 있다.

III. 결 론

국내 능동 위상 배열 레이더는 10년 남짓의 짧은 역사를 가지지만, 짧은 기간 동안 다양한 플랫폼의 능동 위상 배열 레이더를 성공적으로 연구 개발해 왔다. 이 개발 과정에서 능동 위상 배열 레이더의 핵심 기술인 T/R 모듈 설계 기술과 레이더 신호처리 기술의 역량은 급속하게 발전하여 선진국과의 격차를 좁히고 있는 상황이다. 이러한 능동 위상 배열 레이더 기술은 향후에 능동 위상 배열 다기능 레이더 개발 등에 적용되어 한국의 레이더 기술은 한 단계 더 발전할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] <http://www.radarworld.org/huelsmeyer.html>
 [2] C. Fulton, P. Clough, V. Pai, and W. Chappell, "A digital array radar with a hierarchical system architecture", *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, pp. 89-92, 2009.
 [3] http://en.wikipedia.org/wiki/phased_array
 [4] W. Holpp, "The Century of Radar", http://www.100-jahre-radar.de/vortraege/Holpp-The_century_of_radar.pdf
 [5] 홍동희, "능동배열 레이더 안테나 기술", 국방과

학기술플러스, 80권, 2009년 4월.
 [6] 최형목, "레이더 개발 동향 및 기술발전 추세", 국방과 기술, 378호, pp. 64-77, 2010년 8월.
 [7] 박성균, "X 대역 T/R 모듈의 설계 및 구현", 한국전자과학회논문지, 19(2), pp. 168-173, 2008년 2월.
 [8] 이기원, 문주영, 윤상원, "K 대역 브릭형 능동 송수신 모듈 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 19(8), pp. 940-945, 2008년 8월.
 [9] 하정현, 문주영, 이기원, 남병창, 윤상원, "X 대역 타일형 능동 송수신 모듈 설계", 한국전자과학회논문지, 21(12), pp. 1467-1474, 2010년 12월.
 [10] 정민길, 나형기, "레이더용 X-대역 63 Watt Pulsed SSPA 개발", 한국전자과학회논문지, 22(3), pp. 380-388, 2011년 3월.
 [11] 오현석, 염경환, 정민길, 나형기, 이상주, 이기원, 남병창, "쿼드팩을 이용한 소형 Ka 대역 송수신(T/R) 모듈의 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 22(3), pp. 389-398, 2011년 3월.
 [12] 이정원, 임재환, 강명일, 한재섭, 김종필, 이수호, "레이더용 S대역 GaN 반도체 전력증폭기 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 22(12), pp. 1139-1147, 2011년 12월.
 [13] 허전, 진형석, 장호기, 김보균, 조숙희, "선박 레이더용 X-대역 300 W급 GaN HEMT 반도체 전력 증폭 장치 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 23(11), pp. 1239-1247, 2012년 11월.
 [14] 원영진, 윤영수, 우성현, 윤재철, 김정훈, 김진희, "차세대 SAR 탐재를 위한 이중 수신 채널 T/R 모듈 설계", 항공우주기술, 11(2), pp. 1-11, 2012년 11월.

≡ 필자소개 ≡

김 현



2002년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)

2005년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)

2011년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

2011년 2월~현재: LIG 넥스원 ISR 연

구센터 선임연구원

[주 관심분야] 안테나 및 능동 위상 배열 레이더

전 민 현



1983년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

2012년 8월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)

1983년 7월~현재: LIG 넥스원 ISR 연구센터 (現 센터장)

[주 관심분야] 레이더 시스템, 시스템

엔지니어링

나 형 기



1991년 2월: 포항공과대학교 전기전자공학과 (공학사)

1993년 2월: 포항공과대학교 전기전자공학과 (공학석사)

1996년 2월: 포항공과대학교 전기전자공학과 (공학박사)

1996년 1월~현재: LIG 넥스원 ISR 연

구센터 수석연구원

[주 관심분야] 안테나 및 능동 위상 배열 레이더