

AESA 레이더와 MSA 레이더 적용에 따른 전투기 공대공 임무효과도 비교연구 : 탐지거리 향상을 중심으로

A Comparative Study on Air-to-Air Mission Effectiveness of the Fighters by comparing AESA and MSA Radar : with Emphasis on the Improvement of Detection Range

임상민^{1*}, 박재찬²
국방기술품질원¹, 한라대학교²

초 록

본 논문은 전투기에 탑재되는 AESA 레이더와 MSA 레이더 차이가 공대공 임무효과도에 미치는 영향을 연구하였다. 이를 위해 먼저 AESA 레이더의 장점을 분석하였고, MSA 레이더와 비교한 AESA 레이더의 탐지거리 향상을 산출하였다. 그리고 이를 교전급 임무효과도 분석 모델로 시뮬레이션하여 MSA 레이더와 비교한 AESA 레이더의 임무효과도 변화를 연구하였다.

ABSTRACT

In this paper, we identify and analyze factors that affect the Air-to-Air Mission Effectiveness of the aircraft fighters by comparing Active Electronically Scanned Array (AESA) and Mechanically Scanned Array (MSA) radar. To accomplish this, we first analyzed the advantages of the AESA then calculated detection improvement range compare to MSA. Finally, Mission Effectiveness of AESA was measured then compared with MSA using engagement class Mission Effectiveness simulation.

Key Words : AESA(능동전자주사배열) 레이더, MSA(기계식주사배열) 레이더, 임무효과도(Mission Effectiveness), 전투효과도(Combat Effectiveness)

1. 서 론

최신 전투기의 화력통제레이더 안테나 방식은 MSA방식에서 AESA 방식으로 변화하고 있다. 이는 신규개발 전투기 뿐만아니라 기존 전투기의 성능개량 측면에서 주요 고려사항중의 하나로 인식될 만큼 중요성이 증대되고 있다.

MSA에 대비한 AESA 방식 레이더의 성능비교 또는 AESA의 기술적인 특성과 우위에 대한 연구는 일반적이다. 그러나 AESA의 성능과 기술적인 우위가 MSA 방식과 비교하여 임무효과도 측면에서 정량적으로 얼마나 향상시키는가에 대한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 이에 본 논문은 전투기에 탑재되는 AESA 레이더와 MSA 레이더 차이가 공대공 임무효과도에 어떠한 영향을 미치는지를 연구하였다. 이를 위해 먼저 AESA 레이더의 장점을 분석하였고, MSA 레이

더와 비교하여 AESA 레이더의 탐지거리 향상을 산출하였다. 그리고 교전급 임무효과도 분석 모델로 시뮬레이션하여 MSA 레이더와 비교한 AESA 레이더의 임무효과도 변화를 연구하였다.

2. 본 론

2.1 전투기 AESA 레이더 현황

미국을 비롯한 주요 전투기 선진국들은 최신 전투기용 화력통제레이더로 AESA 방식을 적용하고 있다.

미국은 F-22 탑재를 목적으로 APG-77(V)1 AESA 레이더를 개발하였고, F-35를 위해 APG-81 AESA 레이더를 개발하고 있다.

F-15용 AESA 레이더로는 APG-63(V)2를 생산한 이래 APG-63(V)3, APG-82(V)1 레이더 등을 각각 F-15C 계열, F-15E 계열 레이더로

성능개량을 추진하고 있다. APG-63(V)3은 APG-63(V)1을 기반으로 빔주사 방식을 AESA로 변경한 것이다.

Table 1. Airborne Fire Control Radar

명칭	탑재기종	특징
AN/APG-63	F-15C/D/K/SG	(V)2/3형은 AESA 방식
AN/APG-65	F/A-18C/D, AV-8B+, F-4F ICE	다중모드 화력통제 레이더
AN/APG-66	F-16A/B, F-4EJ改, 호크 200	소형 화력통제 레이더
AN/APG-67	F-20, F-CK-1(GD53)	소형 화력통제 레이더
AN/APG-68	F-16C/D	AN/APG-66 개량
AN/APG-70	F-15C/D/E	AN/APG-63 개량
AN/APG-71	F-14D	AN/AWG-9 개량
AN/APG-73	F/A-18C/D/E/ F	AN/APG-65 개량
AN/APG-76	F-4 팬텀 2000	이스라엘 F-4 업그레이드
AN/APG-77	F-22	AESA 방식
AN/APG-79	F/A-18E/F	AESA 방식
AN/APG-80	F-16E/F	AESA 방식
AN/APG-81	F-35	AESA 방식
AN/APG-82	F-15E	AESA 방식
SABR	F-16 개량	AESA 방식
RACR	F-16 개량	AESA 방식
N011M	Su-30, Su-35	PESA 방식
N001	Su-27	다중모드 화력통제 레이더
주크	MiG-29, J-8IIM	다중모드 화력통제 레이더
자슬론	MiG-31	PESA 방식
N050	PAK FA	AESA 방식
폭스헌터	토네이도 F.3	다중모드 화력통제 레이더
블루 빅슨	시해리어 FA.2	다중모드 화력통제 레이더
PS-05/A	JAS 39	다중모드 화력통제 레이더
RBE2	라팔	PESA 방식
RBE2 AA	라팔	AESA 방식
RDY-2	미라지 2000-5/-9	RDM 개량
그리포	F-5, F-7, L-159, JF-17	소형 화력통제 레이더
EL/M-2032	F-5, MiG-21, FA-50	소형 화력통제 레이더
J/APG-1	F-2	AESA 방식
JL-10	J-10	주크 파생형
CAPTOR-E	유로파이터 타이푼	AESA 방식
ECR-90	유로파이터 타이푼	블루 빅슨 개량

F-16용 AESA로는 APG-80, SABR, RACR 등이 있다. 이들 레이더 중에서 SABR 레이더는 APG-68(V)9을 토대로 빔주사 방식을 AESA로 개량한 것이다.

미 해군의 F/A-18E/F에는 APG-79 AESA 레이더가 탑재되며, 전자전기인 EA-18에도 동형의 레이더가 탑재된다.

유럽의 전투기용 AESA 레이더로는 유로파이터 전투기를 위해 캡터-E 레이더가 탑재된다. 캡터-E는 캡터-M을 기반으로 빔주사 방식을 AESA로 개량한 것이다.

프랑스는 라팔 전투기 운용을 목적으로 개발한 RBE2 PESA 방식의 레이더를 능동형으로 개량한 RBE2 AA AESA 레이더를 개발하고 있다. 그리고 스웨덴의 그리펜 전투기용으로는 빅슨 1000E AESA 레이더가 고려되고 있다.

러시아는 MiG-29 계열 전투기를 위해 주크 AE AESA 레이더를 개발하였으며, PAK FA를 위해 N050 AESA 레이더를 개발하고 있다.

그밖에 이스라엘은 EL/M-2052 AESA 레이더를 개발하였으며, EL/M-2052는 EL/M-2032를 토대로 빔주사 방식을 변경하여 개발하였다. 전투기에 적용되고 있는 화력통제레이더의 현황을 정리하면 Table 1⁽¹⁾과 같다.

2.2 AESA 레이더 장단점과 효과 영향 요소

AESA 레이더의 장단점은 다음과 같다.⁽¹⁾

첫째, 빠른 빔 편향 속도

기계식 레이더의 경우 빔의 방향을 바꿀 때 유압모터를 사용하여 안테나를 회전시킨다. 안테나를 정밀모터를 사용하여 구동시키기 때문에 방위각(Azimuth) 전체를 스캔하는데에 약 1초정도의 시간이 소요된다. 반면 AESA는 빔을 편향시키기 위한 컴퓨터의 연산후 순간적으로 빔을 편향시키기 때문에 기계식 레이더와 비교할 수 없는 빠른 빔 편향 속도를 가지게 된다. 이러한 빠른 빔 편향 속도는 결과적으로 전투기의 상황인식 능력을 향상시키게 된다.

둘째, 복수 빔 제어를 통한 다모드 동시 운용

AESA는 각각의 송수신 소자를 제어하여 복수의 빔을 동시에 형성할 수 있다. 따라서 복수의 빔에 대하여 상이한 모드 운용이 가능하다.

복수 빔 제어는 지상과 공중의 다양한 표적들에 대한 탐색과 추적을 병행할 때 특히 효과적이다. 가령 AESA를 탑재한 전투기는 지형매핑과

추적을 통해 저고도 침투를 수행하면서 동시에 일부 빔을 공대공 모드에 할당해 적기에 대한 탐색과 추적이 가능하다. 이러한 기능은 종래의 기계식 레이더에서는 불가능한 것으로, AESA를 통해 전투기는 공격능력과 생존성을 대폭 향상시킬 수 있게 된다.

셋째, 신뢰도 향상

AESA는 기계식 레이더나 수동위상배열레이더의 주요 부품인 유압모터, 대형 파워 서플라이, 진행과관(TWT) 등이 필요 없기 때문에 신뢰도가 향상되었다. 그리고 일부 송수신 소자의 고장이 레이더 전체적인 성능에 거의 영향을 미치지 않고, 송수신 소자의 고장 수만큼 레이더 효율이 저하되기 때문에 한꺼번에 레이더가 정지하는 일은 발생하지 않는다. 이는 곧 레이더의 평균 고장간격시간(MTBF : Mean Time Between Failures) 증대로 이어져 AESA는 높은 신뢰성을 확보할 수 있게 된다.

넷째, 포착하기 어려운 목표에 대한 지속적 감시와 추적

AESA는 클러터나 재밍 때문에 포착이 어려운 표적에 대해서 필요한 정보를 얻게 될 때까지 지속적으로 빔을 조사하여 정보 획득이 가능하다. 이는 빠른 빔 편향능력을 활용하여 다수 목표에 대한 동시 탐색과 추적을 병행이 가능하고, 개별 송수신 소자를 제어하여 목표에 따라 특성이 다른 빔을 조사할 수 있기 때문이다. AESA는 복수 목표 동시 추적에서 기계식 레이더의 단일목표추적(STT) 모드와 같은 수준의 정보를 제공한다.

다섯째, 중량 감소

기계식 레이더는 복잡한 기계적 구동장치를 필요로 하지만 AESA는 이러한 구동장치가 불필요하다. 따라서 그만큼 시스템의 경량화가 가능하게 되고, AESA 자체의 구조적 단순함으로 인하여 기계식 레이더에 비하여 전반적인 경량화가 가능하다.

여섯째, 스텔스성 향상

기계식 레이더의 안테나는 안테나가 회전하면서 각도에 따라 높은 전파 반사체 역할을 하게

되므로 전투기의 스텔스성을 감소시킨다. 그러나 AESA는 기수 정면에서 약간 경사지게 고정되어 탑재되므로 전투기의 전면 레이더단면적(RCS : Radar Cross Section)를 낮추는데 큰 역할을 하게 된다.

일곱째, 탐지거리와 탐지범위 확대

AESA는 개별 송수신소자의 출력이 높지 않더라도 레이더 전체적으로는 높은 평균출력을 유지할 수 있다. 그리고 안테나를 회전시키기 위한 구동 공간이 불필요 하므로 동일한 크기의 레이더에 더 넓은 면적의 안테나를 설계할 수 있게 된다. 레이더 안테나 크기는 레이더 탐지능력에 직접적인 영향을 미치기 때문에 AESA는 동일한 면적의 기계식 레이더에 비해 증가된 탐지거리를 갖게 된다. 기계식 레이더와 비교하여 사이드 로브가 덜 발생하여 탐지 효율이 높은 점도 AESA의 장점이다. 뿐만아니라 AESA는 송수신 소자의 일부를 할당하여 방위각을 벗어난 범위의 근거리 목표에 대해서도 제한적인 추적과 탐색이 가능하다는 장점을 지니고 있다.

반면 능동위상배열레이더의 다음과 같은 단점을 지니고 있다.

첫째, 복잡한 냉각장치.

전투기에 탑재되는 기존 기계식 레이더는 공냉식 냉각장치로도 충분했지만 AESA의 송수신 소자는 발열량이 큰 반면 열에 취약하여 공랭식으로는 성능 유지가 곤란하다. 따라서 AESA는 고효율의 수냉식 냉각장치가 필요하다는 단점이 있다.

둘째, 높은 비용

AESA는 대량의 송수신 소자를 필요로 하기 때문에 송수신 소자의 가격이 전체 시스템의 가격으로 직결된다. 송수신 소자의 가격은 점차 낮아지고 있는 추세이지만 AESA 전체 시스템의 높은 획득비는 단점이 되고 있다.

셋째, 측면 탐지거리 및 정확도 감소

AESA는 안테나가 고정되어 있기 때문에 정면에서 측면방향으로 갈수록 빔폭이 커지고 이득

(gain)이 줄어든다. 따라서 방위각 한계에 위치한 목표를 탐지할 경우에는 오히려 같은 안테나 면적의 기계식 레이더보다 탐지거리가 줄어들고, 정확도도 떨어지게 된다는 단점이 발생한다.

2.3 공대공 영향 요소 분석

AESA 레이더의 장점 중에서 전투기 공대공 교전에 영향을 미치는 것은 빠른 빔 편향 속도와 복수 빔 제어를 통한 다모드 동시 운용, 포착하기 어려운 목표에 대한 지속적 감시와 추적, 스텔스성 향상, 탐지거리와 탐지범위 확대 등이 해당된다. 이 중에서 스텔스성 향상은 전투기 플랫폼 레이더반사단면적(RCS)에 제한적인 영향을 미치고, MSA 방식과 비교하여 RCS 측정수치를 학술적으로 분석하는 것이 곤란하다는 특성이 있다.

레이더 탐지거리와 탐지범위 확대는 전투기의 선제 교전능력에 직접적으로 영향을 미친다. 빠른 빔 편향 속도와 포착하기 어려운 목표에 대한 지속적 감시와 추적은 결과적으로 레이더의 탐지 추적능력과 탐지거리 향상을 통해 유리한 기동위치 선점, 무장의 선제 발사, 조종사의 상황인식 향상을 가져오게 된다. 따라서 기존 MSA 방식과 비교하여 AESA 방식의 변경이 공대공 교전에 직접적으로 영향을 미치게 될 대표적인 요소는 레이더 탐지거리 향상이 될 것임을 알 수 있다.

2.4 AESA 탐지거리 증가 분석

전투기 AESA 레이더 현황에서와 같이 AESA 레이더는 신규 개발한 것과 기존 레이더를 개량한 것으로 구분할 수 있다. 신규 개발 AESA 레이더로는 APG-81, APG-77 등을 예로 들 수 있다. 기존 MSA 방식에서 안테나, 송신기 등 빔 주사와 관련된 것을 변경한 AESA 레이더로는 APG-63(V)3, SABR, 캡터-E, EL/M-2052 등을 예로 들 수 있다.

Table 2. Detection range improvement of AESA

MSA 레이더	AESA 레이더	증가율(%)
APG-63(V)1	APG-63(V)3	66.6
APG-68(V)9	SABR	50.0
캡터-M	캡터-E	20.0
EL/M-2032	EL/M-2052	69.2
평균		51.4

본 논문은 MSA 레이더와 비교하여 AESA 레이더 적용에 따른 효과도를 분석하기 위한 것이므로

기존 레이더를 AESA 방식으로 개조한 레이더를 중심으로 탐지거리 변화를 분석하였다. 탐지거리는 ‘전투기 사격통제레이더 개발 동향보고서(기품원, 2010)’를 기준으로 하였으며, 분석 결과는 Table 2와 같다.

2.5 시뮬레이션 분석

2.5.1 모의 논리⁽²⁾

전투기 수행 임무는 공대공 2개(DCA, OCA)로 구분하여 모의하였다. 전투기 공대공 공격효과도 계산식은 다음과 같다.

$$OAAAL = \left(RB_0 - RB_{NDAYS} + RF_0 - RF_{NDAYS} + \sum_{j=1}^{NDAYS} RBF_j - \sum_{j=1}^{NDAYS} RL_j \right) \div \left(RB_0 + RF_0 + \sum_{j=1}^{NDAYS} RBF_j \right)$$

Where: OAAAL = Overall Air-to-Air Lethality,

RB0 = Red Bombers on day 0,

RBNDAYS = Red Bombers remaining on last day of campaign,

RF0 = Red Fighters on day 0,

RFNDAYS = Red Fighters remaining on last day of campaign,

RBFj = Red Bombers flown on day j, and

RLj = Red Leakers on day j

전투기의 생존능력은 소티당 생존율(Survivability per Sortie)로 평가한다. 아군항공기 손실(Total blue Fighter Losses)은 임무 중 손실된 항공기 수를 합하여 계산된다. 아군항공기 손실대수 계산식은 다음과 같다.

$$TBL_j = TBSAL_j + TBAAL_j + CAPL_j + OCAAL_j$$

Where:

TBLj = Total Blue losses on day j,

TBSALj = Total Blue A/G losses from S/A threats on day j

TBAALj = Total Blue A/G losses from A/A threats on day j

CAPLj = Total Blue CAP losses on day j,

OCAj = Total Blue OCA losses on day

2.5.2 모델 입력요소 산정

시나리오 설정은 시계외(Beyond Visual Range) 교전과 시계내(Within Visual Range) 교전을 모두 고려하였다. 청군 전투기는 홍군 전투기를 먼저 탐지하는 대로 중거리 공대공 미사일을 발사하여 교전하고, 재공격 또는 시계내 교전 상황으로 진입하는 것으로 하였다. AESA 레이더의 탐지거리가 51.4% 증가하는 것에 대한 효과를 측정하기 위해 중거리 미사일 성능 등 청군 전투기의 가상 교전 변수는 동일하게 통제하였다. 청군 항공기는 중거리 미사일을 각 2발씩 탑재하였고, 교전 대수는 1 vs 1 경우로 시뮬레이션하였다.

2.6 연구결과

시뮬레이션 결과 MSA 레이더를 탑재한 청군 전투기는 Fig. 1과 같은 교전양상을 보였다. AESA 레이더를 탑재한 청군전투기는 Fig. 2와 같이 MSA 레이더를 탑재한 청군전투기의 경우보다 먼저 무장을 발사하고 전술기동을 실시하는 것을 알 수 있었다.

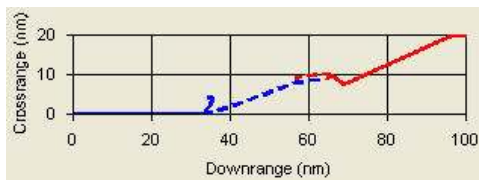


Fig. 1. Engagement of Fighter with MSA radar

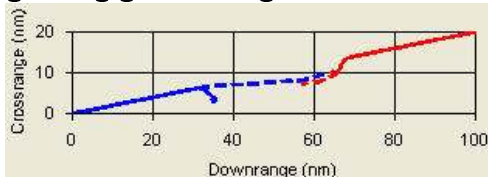


Fig. 2. Engagement of Fighter with AESA radar

이러한 선 탐지, 선제 사격에 의한 교전결과 차이는 Fig. 3, Fig. 4와 같다. Fig. 3은 MSA 레이더를 탑재한 전투기의 교전 결과이고, Fig. 4는 AESA 레이더를 탑재한 전투기의 교전결과이다.

교전급 시뮬레이션에 의한 MSA 탑재 전투기의 손실교환비(LER)는 1.44를 기록한 반면 AESA를 탑재한 전투기는 손실교환비는 1.54를 기록하여 약 6.94%의 공대공 임무효과도가 증가하는 것으로 분석되었다.

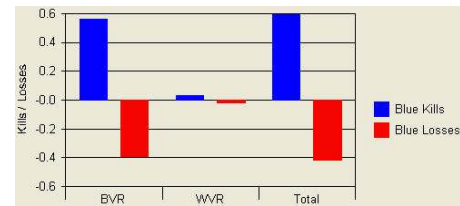


Fig. 3. Result of Fighter with MSA radar

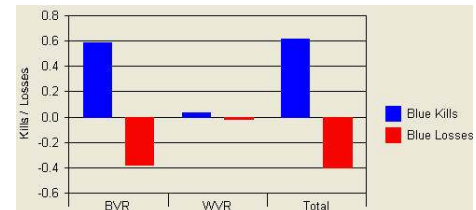


Fig. 4. Result of Fighter with AESA radar

3. 결 론

본 연구에서는 다른 조건을 통제하였을 경우 MSA 레이더를 AESA 레이더로 변경하면 탐지거리 향상으로 인해 공대공 임무효과도가 6.94% 증대됨을 알 수 있었다. 이는 일반적으로 기대되는 AESA 레이더의 능력보다 상대적으로 작은 수치이다. AESA 레이더는 MSA 레이더와 비교하여 탐지거리 향상 뿐만아니라 공대지 능력 향상, 전자공격, 통신능력 등 다양한 특성을 갖지만 본 연구에서는 이를 모두 고려하지 못했다는 한계가 있다. 그리고 학술적 연구로 인해 실제 장비 성능을 모의하지 않았고, 레이더 샘플이 적다는 한계도 있을 것이다. 따라서 향후에는 한계를 보완하여 보다 해상도가 높은 동적 모델을 활용하고, AESA의 다양한 특성과 플랫폼, 전술, 무장 특성을 변화시킨 추가 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

1. 임상민, 2012, "전투기의 이해", 플래닛미디어, pp. 303 ~ 318
2. 이병렬, 박재찬, 임상민, 정일호, "중거리 유도무기 특성을 고려한 전투기 공대공 임무효과도 산출 연구", 한국항공우주학회 추계학회, 2009
3. 임상민, 김병로, 이일우, 2010, "항공기 체제 효과도의 이해", 청문각
4. 최형목, 김진우, 2010, "전투기 사격통제레이더 개발동향", 국방기술품질원