

# 천마 탐지레이더 Limit&STC 조립체 개선을 통한 탐지성능 향상

윤재복<sup>\*,1)</sup> · 김시옥<sup>1)</sup> · 금종주<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 국방기술품질원 대구센터

## Detection Performance Improvement by Limit&STC Assembly Betterment of Surveillance Radar

Jaebok Yoon<sup>\*,1)</sup> · Siok Kim<sup>1)</sup> · Jongju Keum<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> The Daegu Center, Defense Agency for Technology and Quality, Korea

(Received 14 July 2015 / Revised 2 November 2015 / Accepted 18 December 2015)

### ABSTRACT

In this paper, we have described the performance improvement of surveillance radar to prevent damage or malfunction of surveillance radar RF head unit due to the strong reflections caused by artificial obstacles at close range. We have proposed a technique to improve the performance of the RF head unit as a solution to overcome the limitations of the operating system and improve radar performance. We have verified the effectiveness of the improvement by comparing the before and after results applied to actual system.

Key Words : Surveillance Radar(탐지레이더), RF Head Unit(RF 헤드 유닛), Limit&STC 조립체

### 1. 서론

천마 탐지레이더는 항공 표적을 탐지하여 천마 유도 무기 체계에 획득된 표적정보를 제공하여 추적 및 사격을 가능하게 하는 핵심 센서이다. 그 구성은 안테나, 회전구동기, 송수신장치가 장착된 마스트, 신호처리기로 구성되어 궤도차량 위에 설치되며, 각 장비는 운용 환경조건에 적합하도록 설계되고 제작되어 있다. 하지만 천마 유도무기 체계의 운용 개념 상 근거리 인공 장애물(전신주, 철탑, 건물 등)이 존재하는 상태에서

운용되는 경우가 자주 발생된다. 근거리 인공 장애물이 존재할 경우에는 장애물에 의한 반사파로 인해 탐지레이더 수신단(RF헤드 유닛)의 손상 및 오동작이 발생할 수도 있다. 천마 유도무기 체계는 Fig. 1과 같이 이러한 운용상의 제한사항을 해결하기 위하여 탐지레이더 운용 시 각 부대별 운용환경에 적합하도록 빔방사 가능구역 및 금지구역을 운용자가 설정하여 사용하도록 되어 있다. 그러나 작전상 불가피한 경우, 이동간 탐색(Search On the Move) 또는 운용자 실수에 의한 설정 오류 등으로 원하지 않는 고 전력의 반사파를 수신해야만 하는 상황이 빈번히 발생되고 있다. 따라서 본 논문에서는 운용환경 조건에 의한 근거리 반사체의 강한 수신신호에도 수신단의 손상 또는 오동

\* Corresponding author, jaebok@dtaq.re.kr

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

작이 발생되지 않도록 하는 성능 개선에 대하여 기술하였다.



Fig. 1. Transmission permission zone of surveillance radar

천마 유도무기 체계 운용의 제한사항을 해소하고 탐지레이더의 성능을 개선하기 위한 해결 방법으로 RF 헤드 유닛의 성능개선 기법을 기술하였고 개선품을 실제 장비에 적용 및 시험하여 측정된 결과 값을 비교하여 개선의 효과를 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 천마 탐지레이더의 구성 및 레이더 이론에 기반을 둔 수신 전력을 분석하여 성능개선에 필요한 요소를 도출하였다. 3장에서는 도출된 성능개선 요소를 실제 구현하기 위한 설계방법을 제안하였고, 4장에서는 성능개선 장비를 천마 탐지레이더 체계에 실물 장착하여 실험하여 그 측정결과를 고찰하였다. 5장에서는 연구내용을 정리하고, 추가로 예상되는 기대 효과에 대하여 기술하였다.

## 2. 천마 탐지레이더 분석

천마 탐지레이더는 펄스 도플러 레이더로 탐지 간추적(Tracking While Scan) 기능을 가지고 있으며 최소 20개 이상의 표적을 감지하여 탐지된 표적의 거리, 방위 및 형태 등의 데이터를 획득하여 컴퓨터에 전달하는 기능을 수행한다.

천마 탐지레이더(MPS-22K)의 형상은 Fig. 2와 같으며 주요 기능은 아래와 같다.

- 펄스 도플러 레이더
- S-Band(L-Band 피아식별기 채용)
- 다이폴 평면배열 안테나 채용
- TWTA Transmitter 적용
- 주파수 도약기법 채용

- 디지털 펄스 압축 기법 채용
- 도플러 필터링 기법 채용
- OS CFAR 적용
- 자동 표적(Plot) 생성 기능
- 대전자 방해방책(ECCM) 기능



Fig. 2. Figuration of surveillance radar

### 2.1 탐지레이더 수신전력 분석

레이더는 강력한 RF 빔을 집중해서 방사하고 탐지 거리 내에 있는 목표물로부터 반사되는 빔을 다시 수신하여 목표물의 거리, 방위 및 속도를 시험하는 장치로<sup>[1]</sup>, 레이더에서 사용하는 방정식은 표적으로부터 반사된 에코(Echo) 전력과 거리와의 관계를 표시한 식으로 표현된다. 이때 레이더의 송신기 및 수신기, 안테나, 표적의 상태 및 주변 환경 등과 밀접한 관계를 가지고 있다.

레이더의 수신 전력은 식 (1)과 같이 나타내며, 이때의 수신 전력  $P_r$ 은 송신 전력  $P_t$ 에 비례하고 또 거리  $R$ 의 4승에 반비례하여 감소됨을 알 수 있다<sup>[2]</sup>.

$$P_r = \frac{P_t \lambda^2 G^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (1)$$

레이더에서 거리가 먼 표적일수록 에코 수신전력  $P_r$ 은 작아지게 되고, 수신된 신호가 수신기의 최소 탐지 신호( $S_{min}$ ) 보다 약하게 수신되면 표적은 나타나지 않으며, 최대탐지거리( $R_{max}$ )는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{max} = \left[ \frac{P_t \lambda^2 G^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

여기서 중요한 것은 표적의 유효반사 단면적  $\sigma$ 는 항상 요동하고 있고 또 최소탐지신호  $S_{min}$ 은 수신기 특성에 좌우되는 수신기의 잡음전력과, 최저 에코 신호를 검출하여 판정하는 방법에 따라 크게 달라진다. 따라서  $\sigma$ 와  $S_{min}$ 은 항상 변동하고 있는 값이기 때문에 통계적 예측값을 취하여야 한다<sup>3)</sup>. 식 (2)의 경우 이상적 전파경로를 가정하여 도출한 식이기 때문에 실제에 있어서는 전파경로 상에서 전력의 감쇄 또는 대지에 의한 반사파와 직접파의 간섭 등을 고려할 필요가 있다.

일반적인 인공장애물에 의해 반사된 수신전력은 송신 신호의 크기 및 거리, 주파수와 밀접한 관계를 가지며, 장비의 상태 및 환경적 조건에 따라 그 영향이 크게 달라진다.

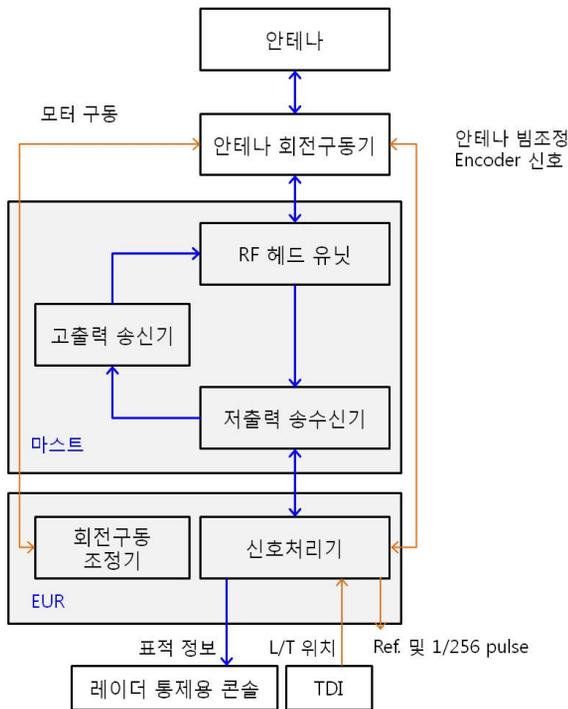


Fig. 3. Block diagram of surveillance radar

## 2.2 탐지레이더 시스템 분석

천마 탐지레이더는 Fig. 3과 같이 구성되어 있으며 인공 장애물로부터 반사된 수신신호는 안테나로 입력되어 회전구동기를 거쳐 RF헤드 유닛에서 증폭 및 여과되어 저출력 송수신기로 보내진다. 이때 반사된 수신전력이 각 장치별 허용범위 보다 클 경우 해당 장치의 손상이 발생할 수 있으며 허위표적 발생 등의 탐지

레이더 오동작을 유발할 수 있다. 이를 개선하기 위하여 우선 고려할 수 있는 요소는 고풍력송신기에서 발생시키는 송신출력의 감소를 고려할 수 있으나 송신출력의 저하는 표적탐지 거리의 감소를 초래하므로 개선 대상에서 제외한다. 따라서 본 논문에서는 손상 및 오동작의 원인을 분석하고 각각의 개선 방법에 대하여 기술하였다.

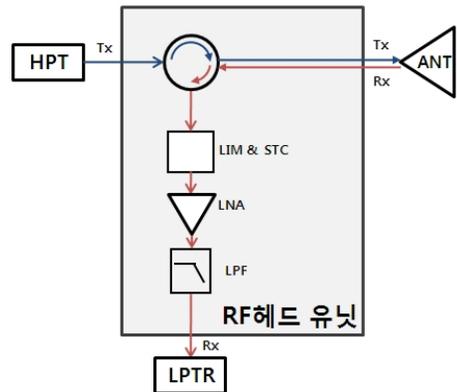


Fig. 4. Block diagram of RF head unit

RF헤드유닛은 Fig. 4와 같이 구성되어 있으며 송신 시 고풍력송신기와 안테나 간 송신신호의 통로 역할을 담당하고, 수신 시 수신된 레이더 신호의 Limit(Limiter) &STC(Sensitivity Time Control) 및 저 잡음 증폭(LNA)의 과정을 거쳐 수신기로 전송하는 기능을 담당한다. 수신경로의 특성상 인공 장애물 등으로 부터 허용범위 이상의 수신전력이 입력될 경우 가장 직접적으로 영향을 많이 받는 장치가 RF헤드 유닛이며, 반사된 고전력으로 인한 손상이 발생하는 부분은 Pin-Diode를 포함하고 있는 Limit&STC 조립체이다. Limit&STC 조립체는 Limit와 STC의 기능을 수행하고 있으며, Limit는 송신 구간 동안 수신단으로 유입되는 누설전력을 전반사시켜 수신단을 보호하는 역할을 하며<sup>4)</sup>, STC는 송신구간 후 수신 시 근거리 반사파 차단 및 강한 표적신호를 감쇄시켜 전체적인 수신레벨을 일정하게 보상해주는 기능을 한다<sup>5)</sup>. 따라서 Limit&STC 조립체 성능 개선을 통하여 수신단 손상 및 탐지레이더 오동작 현상을 개선할 수 있다. Limit&STC 조립체는 Pin-Diode를 포함하고 있으며 송신 시 누설 및 안테나의 특성에 의해 반사되는 RF 전력을 차단하여 수신기를 보호한다. 천마 탐지레이더의 경우 고풍력송신기로부터 RF 전력을

출력하는데 누설되는 전력을 감안하더라도 약 상당히 높은 전력이 수신단으로 들어오게 된다. 이러한 높은 RF 전력이 RF헤드 유닛 내 저잡음증폭기(LNA)에 유입되면 LNA는 동시에 파괴될 수 있다. Limit&STC 조립체는 이러한 현상을 방지하기 위하여 큰 전력의 RF 신호를 수신단으로 들어가지 못하게 하는 회로이다.

### 3. 탐지레이더 성능개선 방법

Limit는 송신구간 동안 수신단으로 유입되는 누설전력을 전반사시켜 수신단 보호 역할을 하며<sup>[4]</sup>, STC는 송신구간 후 수신 시 근거리 반사파 차단 및 강한 표적신호를 감쇄시켜 전체적인 수신레벨을 일정하게 보상해주는 기능을 한다<sup>[5]</sup>.

Limit&STC 조립체 개선은 특성에 맞는 Pin-Diode 변경과 저항 추가 등을 통하여 아래와 같은 효과를 기대할 수 있다.

- Pin-Diode 변경을 통한 수신부 감쇄 증가를 통하여 수신단 보호
- 저항 추가를 통한 STC 감쇄값 개선(펄스압축(PC) Mode 7.89 dB, 펄스비압축(Non-PC) Mode 7.23 dB 개선하여 거리 별 탐지 성능 향상 가능)

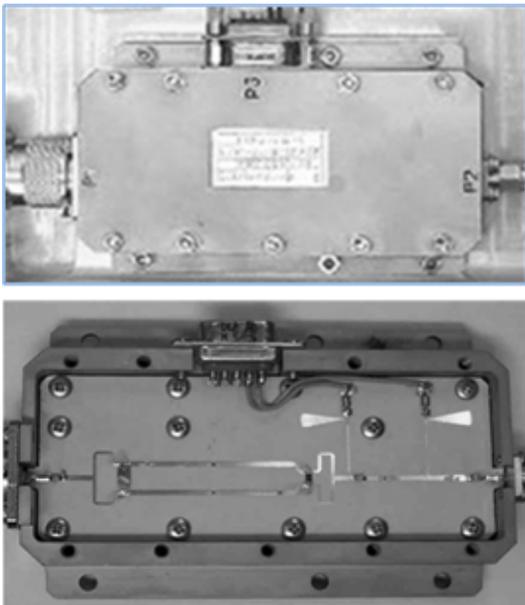


Fig. 5. Limit&STC Assembly

### 3.1 Pin-Diode 개선

PIN Diode는 RF, UHF, Microwave 회로에 널리 쓰이는 소자 중의 하나로써 순방향 전류에 의한 고주파 가변저항을 제어하는 소자로 구조적으로 P(Positive)-I(Intrinsic)-N(Negative) 구조를 가지고 있어 PIN Diode로 명칭된다<sup>[6]</sup>.



Fig. 6. PIN diode applied to Limit&STC Assembly

PIN Diode의 구조 및 동작원리는 PIN Diode에 순방향 바이어스 인가 시 전자/정공은 I층으로 유입됨에 따라 캐리어들의 재결합에 의한 순방향 전류를 형성하게 되고 결합하지 못한 캐리어들은 I층에 축적됨에 따라 도전율(Conductivity)을 증가시키는 원리로 동작된다<sup>[7]</sup>.

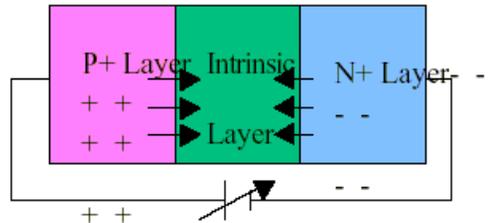


Fig. 7. Operation model of PIN diode

PIN Diode의 고유한 특성은 작은 DC 전압을 이용해서 많은 양의 RF 전력을 제어할 수 있다는 점이다. 또한 직렬저항(Series Resistance)성분과 전체 용량(Total Capacitance) 성분을 I(Intrinsic)의 폭과 Diode영역을 가지고 조절함으로써 다양한 특성을 가진 회로를 구성할 수 있다<sup>[6]</sup>. PIN Diode를 이용한 회로는 공통적으로 유사한 소신호 특성을 가지고 있다. 그러나 I(Intrinsic) 영역을 두껍게 하면 할수록 높은 Bulk 저항 성분, 높은 breakdown 전압, 높은 왜곡 능력을 가지게 된다. 반면에 I(Intrinsic)영역을 얇게 하면 할수록 빠른 스위칭이 가능하다.

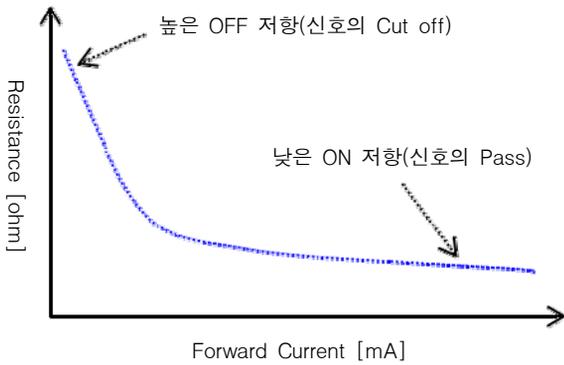


Fig. 8. Characteristic curve of PIN diode

PIN Diode는 고유한 캐리어 수명시간 특성을 가지고 있는데 이것은 사용 가능한 주파수와 왜곡을 결정하게 된다. 또한 I(Intrinsic) 영역의 두께와 폭은 PIN Diode의 전송 주파수 시간을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 이와 같은 중요한 Parameter를 가지는 PIN Diode는 고주파 대역에서의 스위치(RF Switch)<sup>[8]</sup>, 감쇄기(Attenuator)<sup>[9]</sup>, 위상천이기(Phase Shifter)<sup>[10]</sup> 등을 구성하는데 사용된다.

Table 1. Specification comparison of PIN diode

구분	기존	변경
모델명	GC42354-01	MSWSH-020-30
파괴전력	10 Watt	20 Watt
Type	Bare chip	SMD
형상		

먼저 본 논문에서는 Table 1과 같이 Pin Diode 변경을 통하여 감쇄값을 6.2 dB 개선하여 수신단 보호 성능을 향상시켰으며, 추가로 기존품 대비 파괴전력 10 W를 20 W로 2배 증가시켜 내구성을 향상하였고 SMD Type 소자 사용으로 인해 정비 효율성을 향상시켰다.

### 3.2 저항 추가를 통한 STC 개선

Limit&STC 조립체의 중요한 기능인 STC는 Fig. 9와

같이 송신 후 일정한 비율로 수신신호를 감쇄시켜 전체적인 수신레벨을 일정하게 보상해주는 기능을 한다. 따라서 근거리의 강한 신호에 의한 탐지레이더 오동작 개선을 위하여 STC 기능을 향상시킬 필요가 있으며, Pin-Diode와 Matching 되어 감쇄값이 조정되어야 한다.

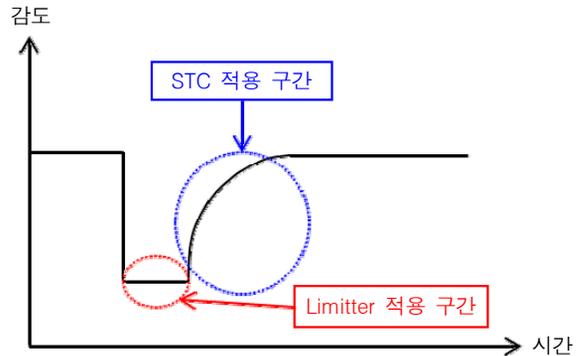


Fig. 9. Performance curve of STC

최적의 저항값 선정을 위하여 천마 탐지레이더 체계의 STC 시험 규격을 만족하는 저항값을 우선 선별하였으며, 선별된 저항을 Limit&STC 조립체에 장착 후 비교시험을 실시하였다.

Table 2. STC value according to resistance

전압	STC(dB) 결과		
	2.7 kΩ	3.0 kΩ	3.3 kΩ
1 V	-14.6	-13.7	-12.94
2 V	-27.8	-26.3	-25.17
3 V	-34.6	-32.9	-31.74
4 V	-39.1	-37.4	-36.0
4.5 V	-40.8	-39.0	-37.7

Table 2와 같은 측정 결과값을 바탕으로 Limit&STC 조립체 시험규격을 가장 만족시키는(허용편차가 가장 작은) 3.0 kΩ 저항값을 선정하였다.

이러한 저항값 변경을 통한 STC 개선을 통하여 STC 감쇄값을 펄스압축(PC) Mode 일 경우 7.89 dB, 펄스비압축(Non-PC) Mode일 경우 7.23 dB 개선하였다. 그림 Fig. 10과 Fig. 11은 Limit&STC 조립체의 개선 전, 후의 사진이다.

Table 3. Applied resistance

구분	규격
모델명	RC8-1206S-3001F
용량	3 kΩ
소재	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (산화알루미늄)
허용오차	± 1%
정격출력	0.5 Watt
최고동작 전압	200 VDC

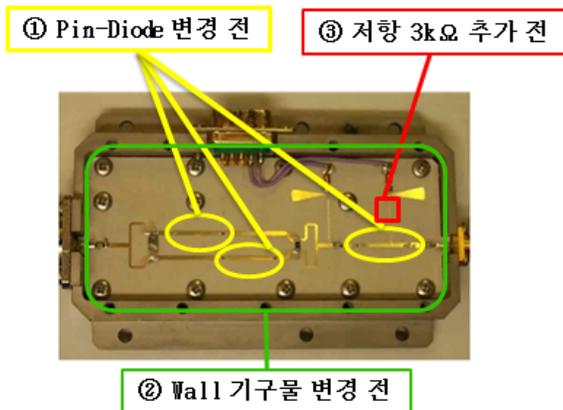


Fig. 10. Before improvement of Limit&STC assembly

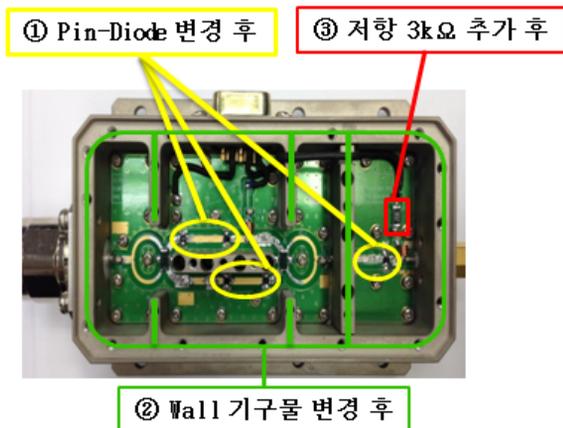


Fig. 11. After improvement of Limit&STC assembly

Wall 기구물 변경은 Pin-Diode 및 저항 변경에 따른 임피던스 특성 변경 및 내부 상호 간섭을 줄여주기 위해 설치하였다.

#### 4. 실험결과 고찰

Limit&STC 조립체의 개선에 대한 검증시험은 단품 상태에서 감쇄값 및 STC 특성을 측정하는 방법과 천마 유도무기 체계에 장착하여 실제로 운용하는 운용시험의 2가지 방법으로 수행하였다. 먼저 Fig. 12와 같이 시험장 내에서 감쇄값 및 STC 특성을 측정하였다.

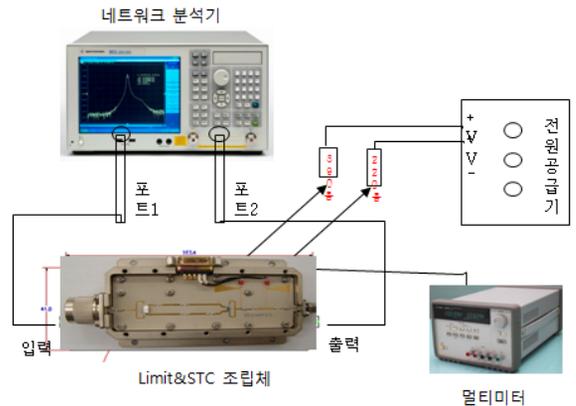


Fig. 12. Measurement of attenuation and STC

감쇄값 측정결과 Table 4와 같이 삽입손실의 변화가 거의 없음에도 불구하고 기존 대비 평균 6.2 dB 감쇄값이 향상되는 개선 효과가 있었다.

Table 4. Measurement value of attenuation

항목	개선전(dB)	개선후(dB)
삽입손실	1.21	1.28
감쇄값	62.5	68.7

STC 특성을 측정한 결과 Fig. 13과 Fig. 14와 같이 펄스압축(PC) Mode와 펄스비압축(Non-PC) Mode의 파형이 측정되었으며, Table 5와 같이 펄스압축(PC) Mode 일 경우 약 7.89 dB 개선되었으며, 펄스비압축(Non-PC) Mode에서는 약 7.23 dB가 개선되었다. 또한 상대적으로 넓은 펄스폭을 가지는 펄스 압축(PC) Mode의 경우가 개선효과가 더 좋은 것으로 나타났다.

시험 조건은 천마 탐지레이더 체계에 장착된 상태에서 중간 주파수에 대하여 측정하였고, 측정 시점은 기존 데이터와의 비교를 위하여 시험 규격에 따라 수행하였다.

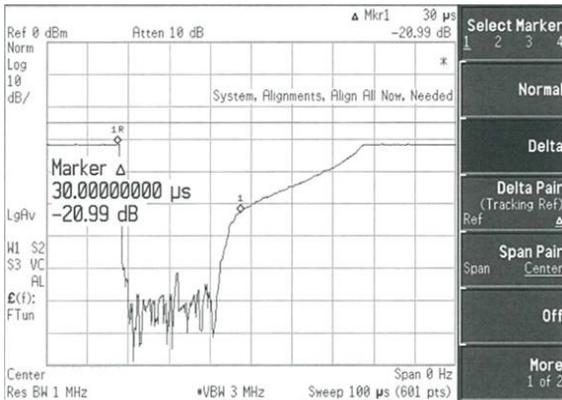


Fig. 13. Characteristic curve of STC (PC Mode, before)

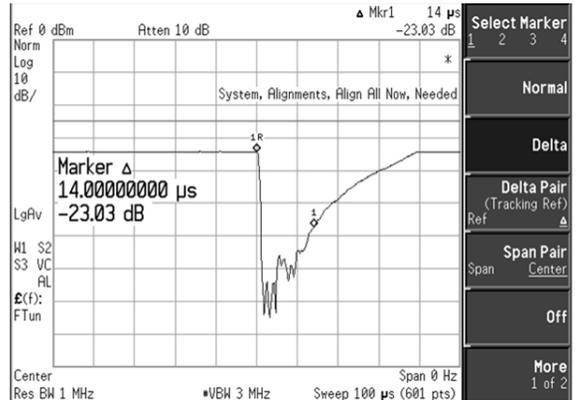


Fig. 16. Characteristic curve of STC (Non-PC Mode, after)

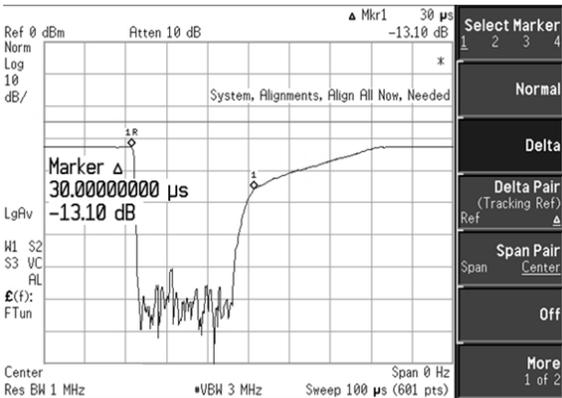


Fig. 14. Characteristic curve of STC (PC Mode, after)

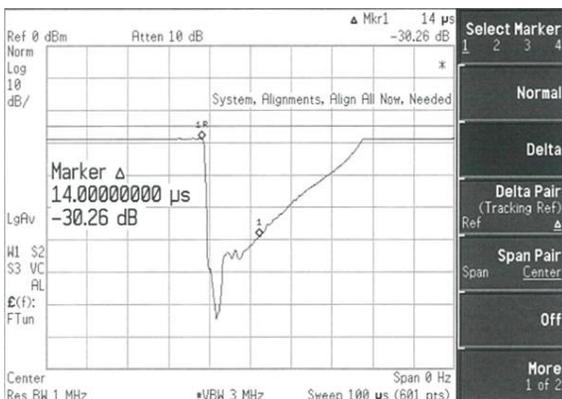


Fig. 15. Characteristic curve of STC (Non-PC Mode, before)

Table 5. Measurement value of STC

항목	개선전(dB)	개선후(dB)
펄스압축모드	20.99	13.10
펄스비압축모드	30.26	23.03

\* 주파수 : X.X GHz, 측정지점 : T0+30us(PC Mode), T0+14us(Non-PC Mode)

천마 유도무기 체계에 장착하여 수행한 실제 운용시험은 개선된 Limit&STC 조립체에 장착 후 체계시험 절차의 모든 항목에 대하여 규격(수신감도, 최대·최소 탐지거리 등)을 만족하였으며, 비콘을 이용한 연속 6시간 동안 체계 방사시험 결과 정상임을 확인하였다. 또한, 근거리 인공장애물(전신주, 철탑, 건물 등)이 존재하는 야전 운용부대에서 손상 및 오동작 없이 정상 운용되어 Limit&STC 조립체 개선을 통한 수신부 안정성을 확보하였다.

## 5. 결론

Limit&STC 조립체 개선품의 단품시험, 상위조립체 부착시험 및 체계시험으로 기존 대비 Limit 기능의 개선 및 STC 성능 향상을 확인하였다. 또한 개선품을 야전부대에 적용하여 실시한 천마 유도무기 체계의 장시간 운용시험에서도 인공장애물에 의한 근거리 강한 반사신호에서 수신단 손상 및 오동작 없이 전방위 탐지 운용이 가능함을 확인하였다. 본 논문

서는 운용환경에 의한 천마 탐지레이더 운용 제한사항을 도출하고 레이더 시스템 분석을 통한 개선사항을 제시하였고 이러한 개선 방법을 적용한 개선품의 검증시험을 바탕으로 성능향상결과를 입증하였다. 추가로 인공장애물에 의한 반사파에 대한 성능향상뿐 아니라 근접한 타 레이더 체계에 의한 고전력 신호에도 영향을 작게 받을 것으로 예상되어 보다 안정화된 천마 유도무기 체계를 운용할 수 있을 것으로 기대된다.

### References

- [1] Skolnik, Merrill, "Radar Handbook 2nd," McGraaw-Hill Book Company New York, Cap 39, 1990.
- [2] Barton, David Knox, "Radar Equations for Modern Radar," Artech House, 2012.
- [3] Swerling, Peter, "Probability of Detection for Fluctuating Targets," Information Theory, IRE Transactions on 6.2: 269-308, 1960.
- [4] Coaker, Brian, "Radar Receiver Protection Technology," Microwave Journal 50.8: 8, 2007.
- [5] Boothe, Robert R., "Sensitivity Time Control Loss," No. AMSMI/TR-RD-AS-91-1. Army Missile Command Redstone Arsenal AI Advanced Sensors Directorate, 1990.
- [6] Doherty, Bill, "Pin Diode Fundamentals," Microsemi, MicroNote Series 701.2, 1997.
- [7] Note, Hewlett-Packard Application, "922, Applications of PIN Diodes," 1997.
- [8] Sun, Pinping, et al., "A Novel SiGe PIN Diode SPST Switch for Broadband T/R Module," Microwave and Wireless Components Letters, IEEE 17.5: 352-354, 2007.
- [9] Kobayashi, K., et al., "GaAs HBT PIN Diode Attenuators and Switches," Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium, 1993.
- [10] White, Joseph F., "Diode Phase Shifters for Array Antennas," Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on 22.6: 658-674, 1974.