

## 탐색레이더 반도체송수신 조립체 신뢰성 개선방안 연구

김준수\*, 손혜경  
국방기술품질원

### A Study on Methods to Improve The reliability of The Search Radar Semiconductor Transceiver Assembly

Jun Su Kim\*, Hye-Gyeong Son  
Defense Agency for Technology and Quality

**요약** 송·수신모듈은 배열의 빔 합성을 통해 증폭기조립체(TWTA)와 유사한 고출력을 획득하면서 중앙집중식 송신기보다 신뢰성이 높고 기계적 빔 조향보다 기민성이 요구되는 능동 위상배열 시스템의 핵심부품이다. 지상 또는 함정용 레이더의 경우 면당 약 3,000개 이상의 송수신모듈로 구성되며 항공탐재용 레이더는 약 1,000개로 이루어진다. 그 중 함정용 탐색레이더 송수신 모듈의 소손 현상이 기준년도에 18회가 발생하여 장비운용 불가문제를 초래하였다. 본 연구는 탐색레이더용 송수신모듈의 소손 현상에 대한 고장원인을 특성요인으로 분석하고 원인분석과 개선방안 도출을 통해 신뢰성을 개선 및 자체 입증시험을 이용하여 성능을 확보하였다. 이후 송수신모듈에 대한 통계적 공정관리(SPC)를 통해 신뢰성을 지속적으로 관리 중이며, 최적화 구조 적용 이후, 고장사례가 식별되지 않아 무기체계의 전투력 증진에 기여하였다.

**Abstract** The transmitter/receiver module is a key component of an active phased array system that is more reliable than a centralized transmitter. Moreover, this module requires more agility than mechanical beam steering while obtaining high output similar to that of an amplifier assembly (traveling-wave tube amplifier; TWTA) through array beam synthesis. Generally, ground or naval radar consists of about 3,000 or more transmission/reception modules per side and about 1,000 modules per side in radars for airborne use. In particular, the damage to the search radar transmission/reception module in ships occurred 18 times in the base year, causing the problem of equipment inoperability. Hence, this study analyzed the cause of failure of the transmission/reception module for a search radar as a characteristic factor. Subsequently, the reliability of the module was improved by analyzing the cause and deriving improvement plans for the module, and the performance of the module was secured by conducting self-tests on the module. Consequently, reliability has been continuously managed through statistical process control (SPC) for the transceiver module, and no failure cases have been identified after the optimization structure has been applied, contributing to the enhancement of the combat power of the weapon system.

**Keywords** : Search Radar, Transmit and Receive Module, Effectiveness of Quality Management, Fault Improvement, Quality Improvement

---

본 논문은 국방기술품질원 연구과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Jun Su Kim(Defense Agency for Technology and Quality)

email: kjs@dtqa.re.kr

Received May 16, 2022

Revised June 15, 2022

Accepted July 7, 2022

Published July 31, 2022

## 1. 서론

### 1.1 개요

일반적으로 레이더(RADAR : Radio Detection And Ranging)는 인간의 가시거리 한계를 초월하여 원거리에 있는 물체의 존재를 탐지하는 센서로서, 기상 여건이나 주야에 관계없이 전천후 기능을 가지고 단거리부터 수평선 너머 지구 반대편의 장거리 물체까지 탐지할 수 있다. 또한 레이더 산업은 미래전장의 핵심 기술이며 국내 방위산업체에서는 최첨단 기술을 적용하여 추적레이더, 다기능레이더, 영상레이더, 피아식별 레이더, 탐색레이더를 개발·생산하고 있다.

그 중 탐색레이더는 대상 표적에 따라 대공탐색레이더, 해면탐색레이더 그리고 전장 감시·통제레이더 등으로 분류되며, 탐지거리에 따라 단거리, 중·장거리 및 초장거리 레이더로 구분된다[1].

반도체송수신조립체(TRM : Transmit and Receive Module)는 배열의 빔 합성을 통해 증폭기조립체(TWTA)와 유사한 고출력을 획득하면서 중앙집중식 송신기보다 신뢰성이 높고 기계적 빔 조향보다 기만성이 요구되는 능동 위상배열 시스템의 핵심부품이다. 지상 또는 함정용 레이더의 경우 면당 약 3,000개 이상의 반도체송수신조립체로 구성되며 항공탐재용 레이더는 약 1,000개로 이루어진다. 반도체송수신조립체는 송·수신 기능뿐만 아니라 위상 및 이득제어를 통한 빔 조향 및 빔 폭 변화가 가능하도록 패키지 내에 구성부품을 장착할 수 있으며, 이러한 구조로 널리 활용되고 있는 것이 Brick 및 Tile 형태이다. Brick 형태 구조는 RF 기판, 제어 기판, 전원분배 기판 및 방열 기판 등 여러 스틱으로 이루어져 있으며 복사소자 및 여타의 제어회로 등 부 시스템이 동일 평면 상에서 평행한 방향으로 구성되어진다. 반면 Tile은 중방향으로 겹겹이 포개어지는 형태이며 3차원 구조를 형성함으로써 무게나 체적을 줄일 수 있다. 이와 같은 반도체송수신조립체의 소형화, 고밀도화, 고출력화는 국방분야 레이더 기술 발전에 긍정적인 영향을 미치지만 시스템 운용에 따라 열 발생률 또한 증가하는 문제점을 야기하고 있으며, 이를 해결하기 위해 오동작 및 고장에 대한 적절한 설계가 필수적인 요소가 되었다.

본 연구는 고속의 소형 표적을 탐지하고 추적하기 위한 고출력 송신기와 높은 동적 영역을 갖는 수신기로 설계된 해상 탐색레이더용 반도체송수신조립체(TRM)의 소손 현상에 대해 고장원인 분석 및 개선 방안 도출하여 신뢰성을 개선하고 성능을 확보하는 데에 목적이 있다[2].

### 1.2 연구 배경

함정에 탑재되는 탐색레이더의 핵심구성품인 반도체송수신조립체는 2단계 운용시험평가 중, 9차례의 고장이 발생하였다. 고장에 대한 분석결과, 반도체송수신조립체의 납땜 기준 설정 오류에 의한 작업 수준 불량으로 플랫폼 납땜 기준 보안을 통해 문제점을 해결하였다. 이후 체계 안정성 확인 시험 시, 장비에 대한 특이사항은 발생하지 않았다.

함정 인도 후, 약 8개월 동안 반도체송수신조립체는 18차례 고장이 추가로 식별되었다. 이는 소요군에서 작전 운용 성능 평가 중 확인된 사항으로 반도체송수신조립체의 내부 아킹에 의한전력결합기 PCB의 소손 및 패턴 부위 변색을 육안으로 확인할 수 있었다. 또한 아킹 문제는 전원변환기에도 영향을 미쳐 방전저항이 소손되는 2차 고장을 야기하였다. 이와 같은 문제점이 Fig. 1에서 보는 바와 같이 지속적으로 발생함에 따라 개선의 필요성이 대두되어 연구를 수행하게 되었다.

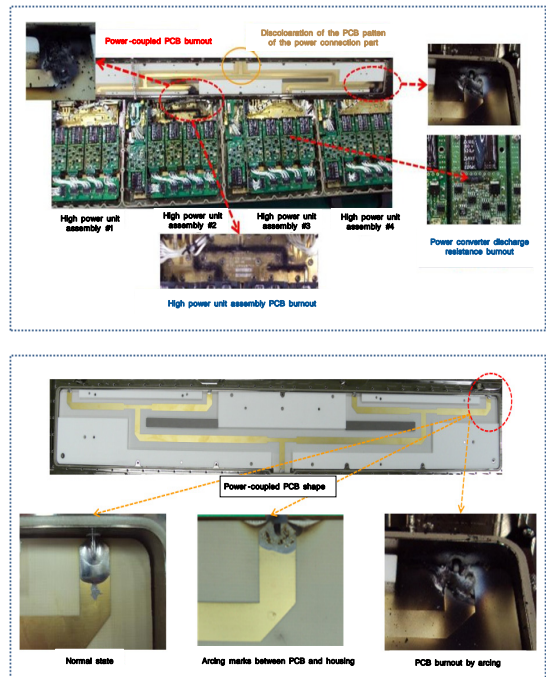


Fig. 1. TRM Burning damage

### 1.3 연구 절차

본 연구에서는 송수신모듈의 고장원인에 대한 특성요인별 분석을 통해 유력한 원인을 식별하고, 이론적 접근으로 고장개선에 적용 가능한 아이디어를 제시하여 시물

레이션 시험을 통해 입증하였다. 이후, 입증된 아이디어를 체계에 맞게 최적화 구조로 재설계하여 단위장비 시험 및 체계장비 성능시험을 수행하여 연구결과의 신뢰성을 입증하였다.

## 2. 본론

### 2.1 장비 특성 및 형상

반도체송수신조립체(TRM)를 이용한 능동위상배열 레이더는 첨단 기술을 적용하여 동시에 다중 빔 형성이 가능하며, 일부 TRM의 고장이 발생하여도 레이더 운용이 가능하여 가용성이 증대되는 효과를 얻을 수 있으며, 반도체송수신조립체 형상은 Fig. 2와 같다.

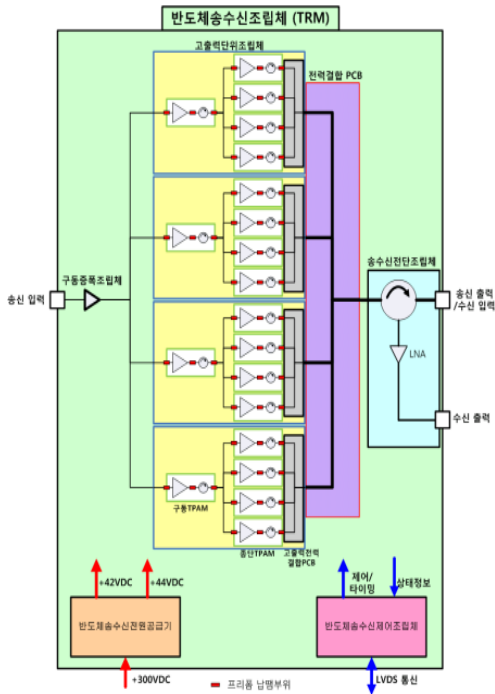


Fig. 2. TRM Schematic diagram

### 2.2 결함현상 및 원인분석

#### 2.2.1 결함현상 및 조치내용

합 인도 후, 18차례 고장 현상이 발생한 반도체송수신 조립체(TRM) 16조에 대한 호기별-조립체별 고장 횟수 및 유형을 Fig. 3과 같이 정리하였다. 작전 운용 8개월 동안 총 18차례 고장이 발생하였다.

그 중, 총 6회 발생한 부품고장은 설계 측면 및 제작 공정 측면에서 검토 결과 정상이었으며, 단순 1회성 부품고장으로 판단되었고, PBC 납 잔여물에 의한 Short 및 리드 냉납에 의한 크랙이 발생한 작업불량 요인은 개선시간 부족으로 인한 공정누락으로 판단되어, 공정검사 및 전진검사 강화를 통해 조치를 완료하였다. 또한, 총 3회 발생하였던 선정오류 요인은 서클레이터의 리드길이가 짧아 플랫폼과의 납땜 면적 부족으로 아킹 발생이 원인이 되어 서클레이터 리드길이를 연장하여 플랫폼과의 접촉 면적을 최대화함으로써 고전력 전달 특성을 향상하여 조치 완료하였다.

마지막으로 아킹불량의 원인은 2.2.2 원인분석 내용을 통해 열 및 진동에 취약한 구조에 의해 소손 현상이 발생하였을 것으로 추정하였다.

Broken assembly	TRM NUMBER																
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
Drive amplifier assembly	● 12/17						● 6/3										2
Power supply										● 6/2							1
Power combiner	■ 11/5 ■ 12/17									■ 10/3 ■ 7/3		■ 12/17					5
High power unit assembly #1							● 1/5 ● 6/11										3
High power unit assembly #2							▲ 3/11			● 3/2							2
High power unit assembly #3																	2
High power unit assembly #4							■ 11/5			▲ 3/2							2
TRM							○ 12/17										1
TOTAL	1	3	2	1	1	4	1	0	1	0	2	1	1	0	0	0	18

Fig. 3. TRM Failure type and frequency

#### 2.2.2 원인분석

고장원인에 대하여 특성요인별 분석을 Fig. 4와 같이 주요 가능성에 따라 8가지로 식별하였고 그 중, 품목 누락, 조립미흡 등 단순요인을 제외한 세가지 요인에 대하여 고장원인 가능성을 검토하였다.

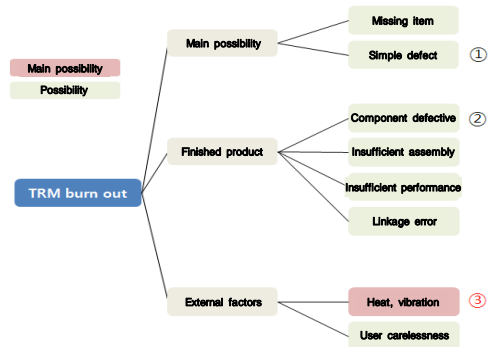


Fig. 4. Analysis by estimated factor

① 단순 불량 원인분석

- 1) Detector 불량 : TRM은 정상 동작하나, RF 입력이 없다고 응답하였다. 이는 규격과 비교하여 오류는 없으며 PCB burn out에 영향성이 없음을 의미한다.
- 2) DC-DC 컨버터 불량 : TRM 내부 전원 공급 및 동작이 불가하였다. 전원공급기 점검결과, 내부 제어 회로 등 +5V 부품은 모두 정상으로 확인되었고 PCB burn out과는 관련 없음으로 판단하였다.

② 구성품 불량 원인분석

- 1) 고출력단위조립체 : 200W급 TPAM 내부에서 고전력을 전달하는 플랫폼 연결 구조로서, 고출력전력결합 PCB에서 손실을 최소화하도록 위상차를 관리하는 구성품이다. 규격미충족 사항 및 성능 결합에 대해 powerrating을 고려하여 플랫폼을 개선한 결과, RM 운용에 이상이 없음을 확인하였다.
- 2) 전력결합조립체 : 약 0.5dB의 저 손실로 발열을 최소화하고 2.4KW의 고 출력에 대한 내구성을 확보하였다. 또한 suspended strip line 구조를 적용하여 유전율을 조절하여 PCB burn out에 영향성이 없음을 확인하였다.

③ 환경요소(열, 진동) 원인분석

전력결합기 PCB와 컨버터 체결 구조의 불연속으로 납땜 부위가 열화되었다. 이는 PCB 패턴과 하우징 간 간격 협소로 야킹 발생 가능성이 내재하고 있음을 의미한다. 또한 양쪽 연결부위는 진동에 취약한 구조임을 식별하였다.

2.3 개선방안 검토

2.3.1 이론적 배경

옴의 법칙에 따르면 전류밀도  $j$ 와 전기장  $E$ 는 Eq. (1)과 같이 주어진다.

$$j = \rho E \tag{1}$$

반도체송수신조립체가 전력을 소모하는 과정에 대한 전하 보존의 법칙은 Eq. (2)와 같다.

$$\nabla \cdot j = 0 \tag{2}$$

또한 전기장  $E$ 는 Eq. (3)으로 표현할 수 있다.

$$E = -\nabla \Phi \tag{3}$$

위의 수식을 이용하여 전하 보존의 법칙을 2차원 평면 형태로 나타낼 경우 Eq. (4)와 같다.

$$\frac{\sigma}{\sigma x} \left( \rho \frac{\sigma \Phi}{\sigma x} \right) + \frac{\sigma}{\sigma y} \left( \rho \frac{\sigma \Phi}{\sigma y} \right) = 0 \tag{4}$$

여기서 전기전도도는 전기저항과 역수 관계에 있고, 저항값  $\beta$ 는 Eq. (5)를 통해 계산된다.

$$\beta(T) = \beta_r [1 + \sigma(T - T_r)] = [\rho(T)]^{-1} \tag{5}$$

반도체송수신조립체의 구조가 얇은 PCB 형태임을 고려하여 전위 값은 2차원 평면에 대한 수식을 근사화하였다.

비 압축성 유동의 흐름과 열 전달에 사용되는 방정식은 Eq. (6)과 같다. (연속 방정식, 운동량 방정식, 에너지 방정식)

$$\nabla \cdot u = 0 \tag{6}$$

$$\rho \left( \frac{\sigma u}{\sigma t} + u \cdot \nabla u \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau - \rho g$$

$$\rho C_p \left( \frac{\sigma T}{\sigma t} + u \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q$$

위 방정식은 Eq. (7)의 형태로 변경할 수 있다.

$$\frac{\sigma u_i}{\sigma x} = 0 \tag{7}$$

$$\rho u_j \frac{\sigma u_i}{\sigma x_j} = -\frac{\sigma p}{\sigma x_i} + \frac{\sigma}{\sigma x_j} \left( \mu \left[ \frac{\sigma u_j}{\sigma x_i} + \frac{\sigma u_i}{\sigma x_j} \right] \right)$$

$$\frac{\sigma}{\sigma x_i} (u_i [\rho e + P]) = \frac{\sigma}{\sigma x_i} (k_i \frac{\sigma T}{\sigma x_i})$$

$$+ \frac{\sigma}{\sigma x_i} (\mu \left[ \frac{\sigma u_i}{\sigma x_j} + \frac{\sigma u_j}{\sigma x_i} \right] u_j) + S$$

여기서  $S$ 는 열전달에 의한 값으로 상기 수식에 의해 전류 밀도가 구해지면 Eq. (8)을 통해 계산할 수 있다.

$$S = \frac{j_i j_i}{\sigma} \tag{8}$$

위의 수식을 통하여 반도체송수신조립체의 열 유동 해석을 수행하게 되며, 열 전도에 의한 온도 분포는 ANSYS ICEPAK V14.5 시뮬레이션을 통해 해석용 격자를 생성하고 물질의 온도 계수, 전류 및 전압 값을 경계 조건으로 포함하여 분석을 실시하였다[3].

2.3.2 개선방안 및 시뮬레이션

도출 반도체송수신조립체의 소손 원인은 PCB 패턴과 커넥터 연결구조에 의한 납땜부위 열화 및 PCB 패턴과 하우징 샤시 간 절연거리 미 확보 등에 따른 야킹 발생 (이하 열·진동에 취약한 구조)으로 규명되었으며 이에 대한 해결방안으로 입력부 조립성 시뮬레이션 및 열 해석 분석을 사전 실시하고, 시험결과를 바탕으로 실 장비에 개선방안을 적용하여 성능을 검증하였다.

○ TRM 입력부 조립성 시물레이션

반도체송수신조립체 전력결합조립체의 입력부 조립상태에 따른 S-parameter 특성을 3D 시물레이션을 통해 예측해 봄으로서, 입력부의 개선안을 도출하였다. 변화 조건은 Fig. 5와 같이 커넥터 형상, Fig. 6 및 Fig. 7과 같이 PCB와 하우징 간격 및 패턴 두께에 따른 커플링이 된다.

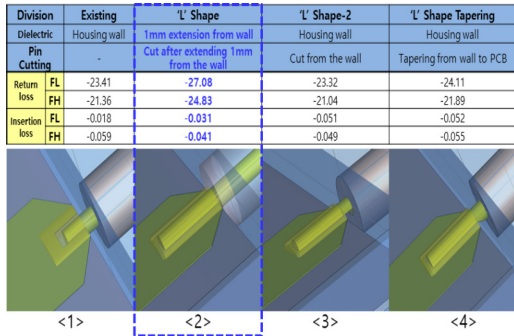


Fig. 5. Shape difference test according to connector

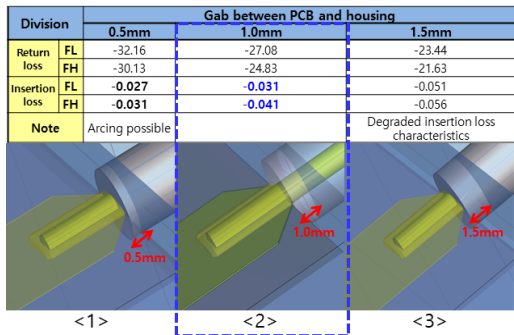


Fig. 6. PCB and housing gap difference test

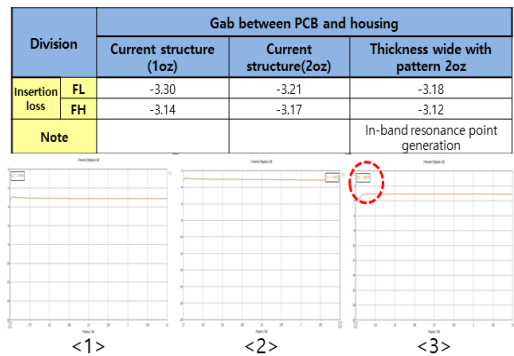


Fig. 7. Pattern thickness coupling effect test

시험 결과, 커넥터 형상은 'ㄱ'자로 하는 랜딩구조에 하우징 간격을 1mm 유지할 때 성능이 가장 우수함을 확인할 수 있었다. PCB와 하우징 간격은 가까울수록 RF 성능이 좋아지나 아킹 발생 가능성은 증가하였고, 패턴 두께에 따른 커플링은 RF 성능에 큰 영향을 미치지 않았다.

○ TRM 전력결합조립체 열 해석

반도체송수신조립체 전력결합조립체의 패턴 두께에 따른 열 분포를 검토함으로써, PCB의 최대 상승 온도를 분석하였다. 변화 조건은 패턴 두께를 Fig. 8에서 35 $\mu$ m, Fig. 9에서 70 $\mu$ m로 각각 설정하였고, 그 밖에 Metal Strip(Cu, Al)을 Fig. 10과 Fig. 11과 같이 적용해 보았다. 해석 방법은 3차원 모델을 이용한 열 전달(전도 및 대류) 효과를 반영하여 패턴의 섹션별 손실 값을 Volume Heat 조건으로 입력하는 과정이다.

시험 결과, 패턴 두께에 따른 2kW 출력부 최고 온도는 239.1 $^{\circ}$ C(35 $\mu$ m), 204.2 $^{\circ}$ C(70 $\mu$ m)였으며, 패턴의 단면적이 증가하여, 단면적을 통해 빠져나가는 Heat Flux 증가로 최고 온도 34.9 $^{\circ}$ C까지 감소효과가 있음을 확인할 수 있었다.

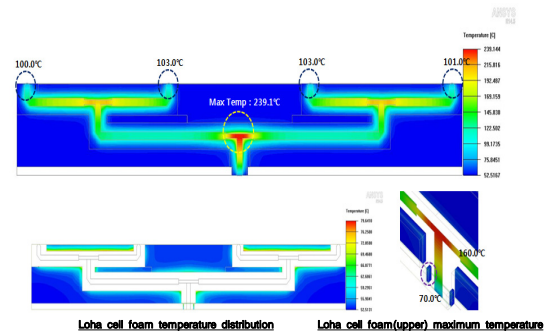


Fig. 8. Pattern thickness 35 $\mu$ m + Loha Cell Foam

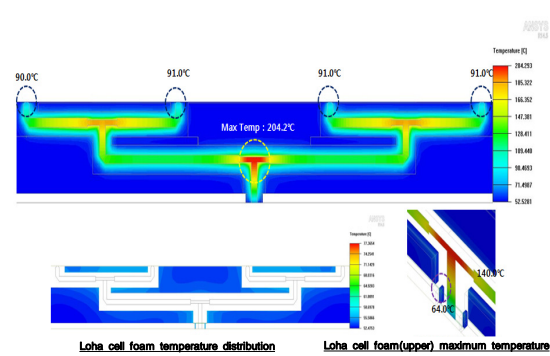


Fig. 9. Pattern thickness 70 $\mu$ m + Loha Cell Foam

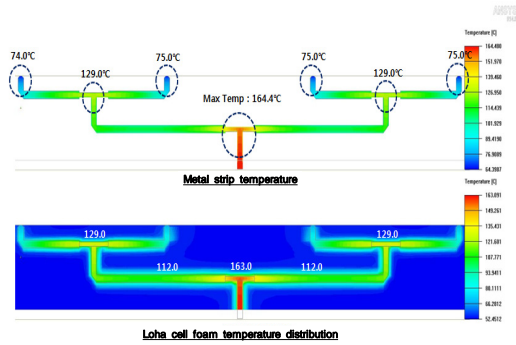


Fig. 10. Cu Metal Strip thickness 0.5mm

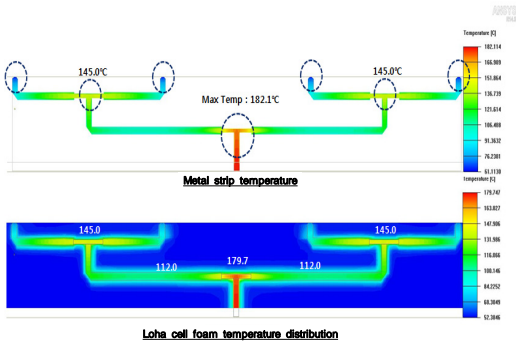


Fig. 11. AL Metal Strip thickness 0.5mm

2.3.3 개선방안 적용

TRM 입력부 조립성 시뮬레이션 및 열 해석 분석을 통해 타당성을 입증하고 개선방안을 최적화하였다. 적용 방안은 다음과 같다.

① PCB 패턴과 커넥터 간 연결구조 개선

전력결합기 PCB와 커넥터 체결 방법을 Landing 구조로 변경하여 불연속 부위를 최소화하였다. 이는 납땜 기준을 설정하여 PCB 조립공정을 개선하는 작업으로 EM 시뮬레이션 결과, RF 성능에 영향이 없었으며 Landing 구조에 의한 납땜 안정성 또한 사전에 검증하여 적용하였다.

② PCB 패턴과 하우징 간 절연거리 확보

전력결합기 PCB 조립 시, PCB와 하우징 간격을 1mm로 유지하도록 조립기준을 수립하였다. 커넥터의 유전체(테프론)를 1mm 연장하더라도 EM 시뮬레이션 결과, RF 성능에 영향이 없었으며 간격을 0.5~1mm를 유지할 때 특성이 가장 우수하다는 것을 입력부 조립성 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

③ PCB 진동특성 개선

전력결합기 PCB의 1번 및 4번 Port의 경우 지지구조를 강화하여 진동에 의한 영향 최소화 작업이 필요하다고 판단되었다. 따라서 전력결합기 PCB 상, 하로 로하셀을 보강하고 진동에 의한 커넥터 납땜부 크랙 방지를 위해 보강 작업을 추가로 적용하였다.

④ PCB 패턴 두께 변경

전력결합기 PCB 패턴 두께를 기존 35 $\mu$ m에서 70 $\mu$ m로 변경하였다. 전력결합기 출력 부위의 PCB 변색은 높은 발열에 의해 발생하며 전력 손실에 의한 발열과 연관이 있다. 따라서 패턴 두께를 70 $\mu$ m로 변경하여 T-Junction으로부터 주변으로 열 전도율을 높이고자 한다. 이는 열 해석 시뮬레이션을 통해 사전 검증하였으며, 두께를 두 배로 증가시킬 경우, 약 34.9 $^{\circ}$ C의 온도마진이 확보됨을 확인할 수 있었다.

2.3.4 개선방안 검증

반도체송수신조립체의 개선방안을 검증하기 위해 진동 간 송신시험, 무중단 7일 송신시험을 수행하여 신뢰성을 확인하였고, 체결구조에 따른 내구성을 검증하기 위해 전력인가시험 시 내부 납땜에 미치는 영향성을 비교하였다[4].

○ 진동 간 송신시험

함정 탑재 탐색레이더용 반도체송수신조립체의 진동 간 개선사항을 검증하기 위해 아래의 시험조건으로 Fig. 12의 시험을 수행하였다.

- ① 진동 : 00Hz TRM 케이스 출력 connector에서 0.00G
- ② 송신 : 0kW@0.0GHz, Duty 00%, 0시간

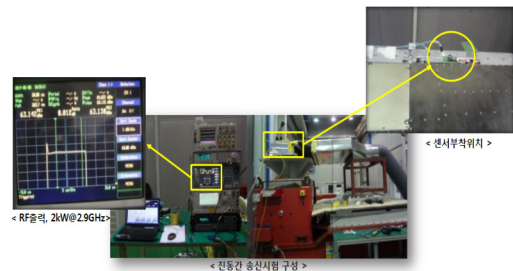


Fig. 12. Vibration-to-vibration transmission test configuration

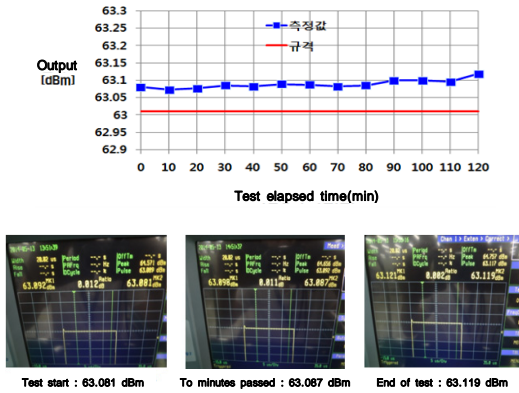


Fig. 13. Transmission test result between vibrations

반도체송수신조립체의 송신 출력 변화를 Fig. 13을 통해 관측해본 결과, 규격(63.01dBm)을 충족하며 진동간 출력레벨이 유지됨을 확인하였다. 시간대별(10분 간격) 출력 파형은 평균 63.1dBm을 나타내며 2시간 동안 지속됨을 알 수 있었다.

○ 무중단 7일 송신시험

소요군에서 실제 작전 운용 중 요구되는 기간을 고려하여 탐색레이더 최소 보장 기간을 7일로 설정하고 무중단 송신시험을 Fig. 14와 같이 수행하였다. 시험조건은 아래와 같다.

- ① 송신조건 : 송신주파수 0.0/0.0/0.0 GHz, Duty 00%, 0kW
- ② 송신시간 : 무중단 7일

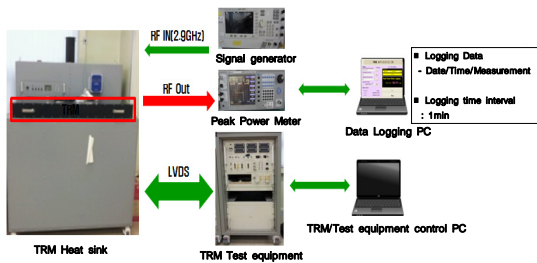


Fig. 14. 7-day non-disruptive transmission test configuration

무중단 7일 송신시험 결과 Fig. 15와 같이 나타났다. 총 로깅 데이터는 10,082개이며, 가용 주파수 범위 내에서 평균 63.16dBm으로 기준 충족하였다. 고출력단위조립체의 내부 온도는 약 60℃를 유지하였으며, BITE 또한 정상임을 확인하였다. 방열치구의 열화상 평균값은

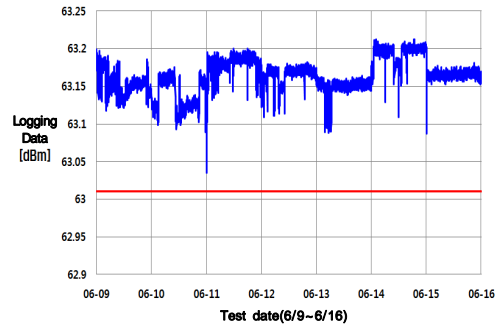


Fig. 15. 7-day uninterrupted transmission test measurement result

49.65℃로서 안정적이며 파워미터 화면, 로깅 화면 및 제어 화면 결과는 Fig. 16과 같다.

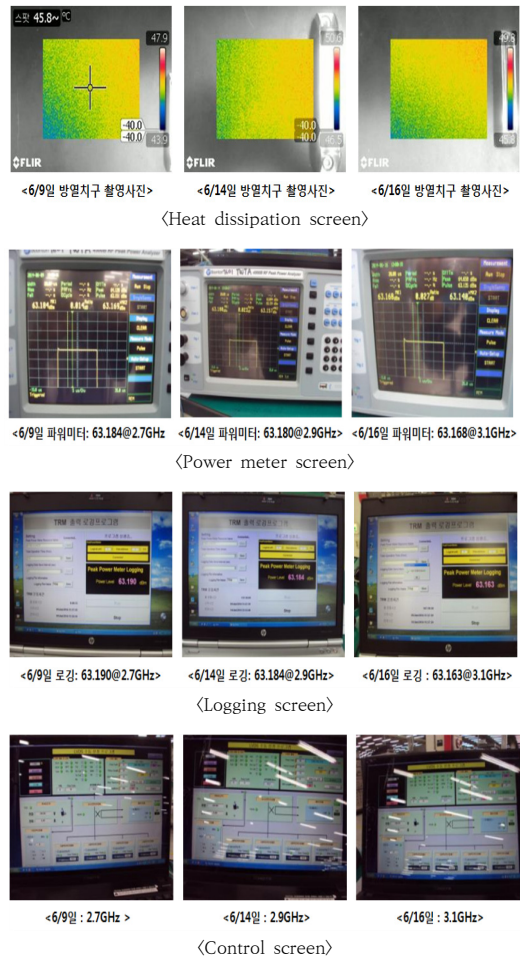


Fig. 16. 7-day uninterrupted transmission test measurement screen

○ 체결구조에 따른 내구성 비교

개선 전·후 구조에 대해 전력인가시험을 실시함으로써 반도체송수신조립체의 체결구조 내구성을 비교하였다. 시험조건 및 단계별 상세내역은 다음과 같다.

① 시험조건

- 1차 : 0Hz ~ 00Hz, 내구성시험 0시간
- 2차 : 00Hz에서 TRM 중심에 0.00G 가진
- 송신조건 : 전력결합기 입력 (CW : 000W)
- 내구성 시험 : Port별 0회 전력인가 실시

② 단계별 상세내역

- 1단계 : 진동시험 전 납땜 열화 재현
  - connector 부위 가열로 인위적 열화 재현
- 2단계 : 진동 전 전력인가시험
  - 000W, Duty 00%, 0시간 송신
- 3단계 : 진동 간 전력인가시험
  - 1차, 2차 진동 간 송신
- 4단계 : 진동 후 전력인가시험
  - 000W, Duty 00%, 0시간 송신



Fig. 17. Fastening structure durability test result

시험 결과 Fig. 17과 같이 나타났는데, 기존 반도체송수신조립체의 경우, 전력인가에 따른 납땜 부위 Crack 및 절단 현상이 발생하였다. 이에 따라 내부 소손 현상이 동반되었으며 장비 간 송신이 불가하였다. 반면, 개선된 구조를 적용한 반도체송수신조립체에서는 체결구조의 내구성이 확보됨을 확인하였다.

○ 탐색레이더(상위조립체) 성능시험 I

개선방안을 적용한 반도체송수신조립체의 활용성에 대한 입증 시험을 완료한 후, 상위조립체인 탐색레이더에 장착하여 송·수신과 관련된 성능 검사를 수행하였다. 최대탐지거리는 대공표적의 경우 RCS 0m<sup>2</sup> 및 0.0m<sup>2</sup> 표적과 대함표적에 대해 00km 이상에서 탐지가 가능한지

확인하는 시험이다. 측정 결과, 최대 가용 범위에서 요구 조건을 적용한 대공·대함 표적이 추적되었으며 Fig. 18은 이에 대해 스케일화한 결과이다.

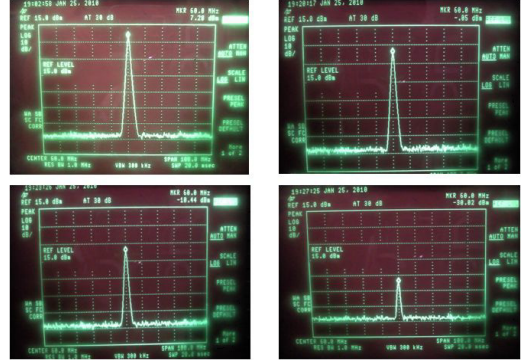


Fig. 18. Maximum detection distance test result

○ 탐색레이더(상위조립체) 성능시험 II

추적 정확도는 대공·대함 및 TWS(Track While Scan) 표적에 대해 거리/방위각/고각 등 3차원 정보를 오차 범위 내로 제공하는지 확인하는 시험이다. 추적 정확도를 측정하기 위해서는 레이더 반사 신호 모델에 수신기 이득과 신호 변환 값을 구하여 합한 후, 케이블 손실을 보상해서 최종 모의신호를 생성해야 한다. 이에 대한 예측 값은 Fig. 19에 나타나 있다.

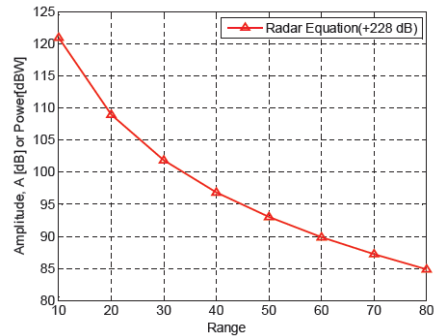


Fig. 19. Final Simulated Signal Model

획득한 모의신호는 레이더 방정식 모델에 적용하여 특정 위치에 RCS를 고려한 표적 신호를 크기로 전시하고 실제 탐색레이더를 통해 추적함으로써 3차원 정보가 기준을 충족하는지 Fig. 20 및 Table 1을 통해 확인하였다.



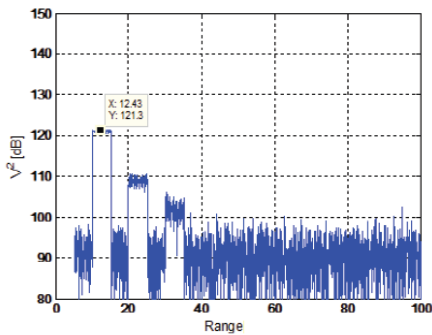


Fig. 20. Tracking Accuracy Measurement Results

Table 1. Comparison of simulated signal values and measured values

Target	Distance	Signal	Measure
Anti-aircraft	00km	100.3	100.1
Anti-shipt	00km	155.2	153.9
TWS	00km	75.5	75.1

### 3. 결론

본 연구는 탐색레이더의 주요구성품인 반도체송수신 조립체(TRM)에서 함정 인도 후, 빈번하게 발생한 고장 현상(총 18건)에 대해 원인 분석을 실시하고 개선방안을 도출한 품질개선 사례이다.

고장 발생은 전력결합기 PCB 패턴과 커넥터 연결구조에 의한 납땜 부위 열화 및 절연거리 미확보가 주요 원인이었으며, 이에 대한 개선 방안을 적용하여 가능성을 확보하고 자체 입증 시험(무중단 시험 결과 송신 출력 기준치 만족, 진동 간 송신시험 결과 이상 없음 확인, 체결 구조에 따른 내구성 확인 시험 결과 이상 없음 확인)을 통해 정상 작동됨을 확인하였다.

반도체송수신조립체에 대한 개선사항은 탐색레이더의 신뢰성 확보에 반드시 필요한 부분이라 판단되며, 형상 통제심의회를 통해 기술변경의 타당성 및 필요성을 검증하였다. 또한 이를 근거로 양산 함정에 탑재되는 탐색레이더에 소급 적용하였다. 현재까지 최적화 구조 적용 이후, 고장사례가 식별되지 않았으며, 송수신모듈에 대한 통계적 공정관리(SPC)를 통해 신뢰성을 지속적으로 관리 중이다. 이로써, 체계장비(탐색레이더)의 정상운용, 외주 정비비용 절감 및 함정 작전수행 가능 등 전투력 증진에 기여될 것으로 기대된다.

### References

- [1] Mei, P, "Development of a Low Radar Cross Section Antenna with Band-Notched Absorber", *IEEE transactions on antennas and propagation*, Vol.66, No 2, pp.582-589, Feb. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TAP.2017.2780903>
- [2] Ma, Y, "High-Frequency Radar Ocean Surface Cross Section Incorporation on a dual-frequency Platform motion model". *IEEE journal of oceanic engineering*, Vol.43, No1, pp.195-204, Jan. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/JOE.2017.2701961>
- [3] J. G. Lee, "Analysis of Sea Clutter Removal Capability in a Weather Radar Based on a Vertical Phased Array Antenna", *Journal of information and communication convergence engineering*, Vol.22, No1, pp 155-161, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.6109/kiice.2018.22.1.155>
- [4] E. H. Kim, "Calculation of the Detection Range for a Given Cumulative Probability in Airborne Surveillance Radars", *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol.29, No.1, pp.24-27, 2018  
DOI: <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2018.29.1.24>

김 준 수(Jun Su Kim)

[정회원]



- 2015년 2월 : 전북대학교 전자공학 (학사)
- 2020년 2월 : 경상대학교 전자공학 (석사)
- 2017년 6월 ~ 현재 : 국방기술품절원 표준연구부 연구원

<관심분야>

국방표준, 국방기술, 국방품질

손 혜 경(Hye-Gyeong Son)

[정회원]



- 2015년 2월 : 경상대학교 금속재료공학 (학사)
- 2021년 8월 : 경상대학교 기계공학 (석사)
- 2017년 6월 ~ 현재 : 국방기술품절원 표준연구부 연구원

<관심분야>

국방표준, 국방기술, 국방품질