

## 論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 45(5), 409-416(2017)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2017.45.5.409

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

## 광대역 무선송신장치의 RF 반사손실을 이용한 안테나 자체고장진단 방법

정원희\*

## Built-In-Test Methods to use RF returnloss for fault Diagnosis of the Wideband Transmitter Antenna

Won-hee Jung\*

Agency for Defense Development

## ABSTRACT

In order that multiple wideband RF transmitters which have mission to deliver essential information to aircraft operate at the same time, RF transmitter has a variable sub-carrier frequency to modulate the signal. In case of exposure to weak environment, Wide-band RF transmitter is designed to check component of transmitter that includes antenna BIT to increase system reliability. Normally, Antenna BIT measure the reflection RF power of antenna to check system condition. However, Antenna BIT has a difference that depends on testing frequency to use the long RF cable which is located between the power amp and the antenna. The periodic phenomenon of the reflected antenna power are theoretically explained about dependence on the RF cable length. Based on presented result, suggested measurement methods is effectively able to be applied to diagnosis system condition.

## 초 록

공중의 비행체에 필요한 정보를 전달하는 광대역 송신시스템은 근거리에서 동시에 운용될 수 있도록 다수의 부채널 주파수를 확보하고 있다. 취약한 외부환경에 노출되는 송신기의 경우, 시스템의 신뢰성을 높이기 위하여 안테나를 포함하여 다른 내부의 하위 구성품들의 자체고장진단을 할 수 있도록 설계되어야 한다. 안테나 자체고장진단은 보통의 경우 안테나 반사세기를 기준으로 판정 내리는데, 증폭단과 안테나가 긴 길이의 케이블로 연결될 경우는 안테나 반사세기가 주파수마다 많은 차이가 발생된다. 본 논문에서는 증폭단과 안테나의 연결에 사용되는 케이블 길이에 따라 안테나 반사세기가 주기성을 갖는 현상을 이론적으로 살펴보고, 반사세기 반복주기를 기반으로 점검주파수 범위설정, 다수 주파수 설정 점검 등을 이용하여 효과적인 안테나 고장진단 방법에 대하여 제시한다.

**Key Words** : Command Link System(명령링크 시스템), Radio Frequency Transmitter (RF 송신기), Built In Test(자체고장진단)

† Received : December 4, 2015      Revised : April 3, 2017      Accepted : April 26, 2017

\* Corresponding author, E-mail : simon23@add.re.kr

## I. 서 론

공중의 비행체에 탑재된 무선통신시스템에 지상으로부터 보내지는 비행정보 등이 지속적으로 갱신되어야만 최종목적지까지 원활한 비행이 가능한 경우가 발생한다. 비행체는 비행 전에 지상 시스템으로부터 직접 정보를 전달받을 수 있으나, 비행 중에는 직접 전달 받지 못하므로 지상 시스템으로부터 비행체로 정보를 전달할 방법이 필요하게 된다. 별도의 명령송신장치를 통해 지상시스템에서 전달되는 정보를 무선으로 송신 후 비행체 내부의 수신 장치를 통해 명령이 전달되도록 무선통신 링크를 구현, 비행체 발사 후에도 지속적으로 명령전달을 할 수 있다. 명령송신장치 및 지상시스템을 포함한 작전수행체가 다수가 되어 동시에 작전을 수행할 경우, 제한된 주파수 대역을 사용하는 명령송신장치가 무선신호를 송신하게 되면 전송시간이 겹치게 되는 경우 간섭현상이 야기될 수 있다. 간섭현상을 최소화하기 위하여 각각의 작전수행체에 탑재된 명령송신장치는 제한된 주파수 대역 내에서 서로 다른 중심 주파수로 변조 후 송신함으로써 동시작전 수행시에도 성능저하를 방지할 수 있다[1]. 인접한 명령송신장치들을 동시 운용 시 발생할 수 있는 간섭현상을 최소화 하기위하여 명령송신장치는 단일 주파수로 변조하는 방식으로 설계되기보다는 선택적으로 중심주파수를 바꿔가며 변조 및 송신할 수 있는 광대역 송신기로 설계되어야 한다. 송신기의 경우 원활한 무선 링크 확보를 위하여 외부에 배치되어야하며, 가혹 환경조건 등에 노출될 위험이 있으므로 타 시스템 대비 높은 신뢰도가 요구된다. 시스템의 신뢰도 향상을 위하여 개발시점부터 실전 배치, 운용되는 시점까지 미션수행 중 발생 될 수 있는 비정상 상황에 대하여 식별, 오류검출방법을 구현 및 확인하기 위한 각종 환경시험, 자체 성능시험, 연동시험 등을 수행하게 된다.

작전수행체의 외부에 배치되는 명령송신장치는 취약한 환경조건으로 인하여 고장의 위험이 높으므로 미션 수행 전 정상동작 유무를 판단하기 위하여 장비자체의 상태를 판단할 방법이 필요하게 된다. 작전수행체에 설치된 이후에는 별도의 점검 장비를 이용하여 시스템 내부를 점검하기가 쉽지 않기에 내부에 자체적으로 상태확인 이 가능한 BIT(Built In Test)기능을 넣어 각 모듈들의 상태를 독립적으로 확인할 수 있게 한다. 특히 RF변조 및 증폭 후 최종 출력단(Power Amp)이후 점검기능의 경우 다른 모듈들의(전원

공급부, 제어부, 주파수합성부, 증폭기부 등) BIT 점검과는 다르게 점검결과는 점검시 사용 주파수의 변화에 따라 유동적으로 바뀌게 된다. 주사용 주파수의 변화에 따라 점검시에 유동적으로 바뀌는 결과에 고정적인 진단기준을 가지고 있을 경우 실제와 다른 진단을 하게 되므로 올바른 고장 진단을 위한 방법을 제시하여야 한다.

본 논문은 명령송신장치의 안테나BIT 수행 시 광대역송신장치로 설계 및 제작되었기에 점검주파수 변화에 따라 상태 판정 시 발생 될 수 있는 문제점을 제시하고, 그 문제를 해결하기 위한 성능점검방법을 제안하고자 한다.

## II. 본 론

### 2.1 기존방식 및 문제점

지상에 설치되는 명령송신장치는 비행체로 전달할 정보를 외부의 정보생성장치로부터 전달받아 비행체로 무선신호를 송신하는 장치이다. 비행체 내부에 설치되는 수신장치는 원형편파 특성을 갖는 다수의 안테나로 신호를 수신함으로써, 비행체의 자세, 방향에 의한 환경적 요인을 최소화 하도록 설계되었다. 명령수신장치는 비행체 발사전에 유도명령송신장치의 주파수 대역중 하나의 주파수만 지정하여 수신할 수 있도록 지정한다. 다수의 작전수행체에 설치되는 명령송신장치는 무선으로 신호 전송시에 이용되는 고유 중심주파수를 각각 가지고 있다.

협소한 공간에 설치되는 장치의 전체 시스템 고장진단을 위해서는 각 구성품의 성능을 정밀진단하기보다는 비교적 간단한 방법으로 정상/비정상 여부를 판단 후 이상이 있을 경우, 공간 제약공간이 없는 별도의 정비공간에서 정밀진단을 수행하는 방식이 효율적이다. 설치시 공간제약을 받는 명령송신장치의 안테나를 진단하는 경우, 안테나를 따로 분리하지 않고 협소한 공간에서 비교적 간단하게 수행 가능한 방법으로 반사손실을 계측하는 방법이 제시 될 수 있다.

하나의 안테나를 사용하여 송수신신호 및 입사/반사 신호를 분리해내는 시스템에서는 써큘레이터나 방향성 결합기와 같은 방향성 소자가 필수적이다[2]. 수동소자인 안테나는 주사용 주파수에서 일정 범위내의 반사계수 값을 가지는 특성을 가지므로, 고출력증폭기(Power Amp)에서 안테나로 입력되는 파워가 동일하다면 외부로 방사되는 전력과 반사되는 전력은 일정비율을 유지하게 된다. 입력받은 전력에 비해 방사되는 전력

Table 1. Design Parameter of Transmitter

Subject		Parameter
Output Power		00dBm
Frequency		X-Band
Maximum Channel		00
Center Frequency	Interval	0MHz
Modulation		FSK
Circulator Isolation		> 20dB
RF Cable Loss(Out)		0dB/m
RF Cable Permittivity		0.00
Antenna Polarization		Circular
Antenna VSWR		2:1
Antenna Gain	Azimuth	> 3.5dBi (±45°)
	Elevation	> 3.5dBi (±15°)
Antenna Directional Loss	Azimuth	< 4dB (±45°)
	Elevation	< 4dB (±15°)

및 반사되는 전력의 비율은 안테나의 설계 특성에 따라 변하므로 안테나의 전압정재파비 혹은 산란계수 특성을 알고 있다면 정상상태일 때 각각의 값을 유추해 낼 수 있다[3]. 안테나단을 거쳐 방사되는 전력의 경우 직접 계측이 불가능하지만 반사되어 나오는 전력의 경우 방향성 소자인 방향성 결합기 혹은 써큘레이터 등을 사용하여 안테나로 입력되는 신호와 분리한 뒤 신호세기 검출기(Level Detector) 등을 이용하여 계측할 수 있다. 안테나에 이상이 있거나, 고출력증폭기(Power Amp) 출력단 이후에 문제가 있을 경우 신호세기 검출기에 계측되는 값이 변하게 되므로 계측 신호의 세기를 기준으로 정상 혹은 비정상을 판단하게 된다. 안테나 자체에서 발생하는 각종 손실 성분들이 있겠지만 이는 방사 및 반사되는 파워에 비하면 매우 작은 성분이므로 고려하지 않기로 한다. 명령송신장치는 Table 1과 같은 사양을 가지고 설계 및 구현된다.

Figure 1은 이상적인 경우의 안테나 반사세기를 측정하기 위한 방법을 나타낸 블록도로서, 고출력증폭기에서 생성된 동일 크기의 파워를 써큘레이터를 통해 안테나로 전달, 방사 후 반사되어 나오는 파워는 다시 안테나에서 써큘레이터를 거쳐 신호세기 검출기에서 신호의 세기를 측정하게 된다. 신호세기 검출기의 RF 입력신호에 따라 선형적으로 변화하는 DC 출력값을 제어부로 입력받아 미리 설정한 기준값과 비교하여 정상 및 비정상 여부를 판단하게 된다.

이상적인 경우에 써큘레이터는 고출력 증폭기

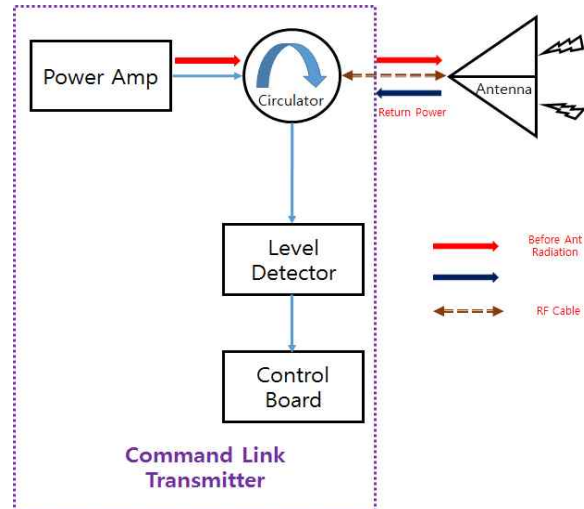


Fig. 1. Antenna Built-In-Test method(Ideal)

포트와 신호세기 검출기 포트간 격리가 완벽하게 일어나게 되지만 실제의 경우 완벽한 격리를 기대하기 어렵다.

실제 써큘레이터의 S-행렬을 살펴보면 아래 식 (1)과 같다.

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & T & I \\ I & 0 & T \\ T & I & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} \quad (1)$$

이때 T, I의 값은 각각 써큘레이터의 Through, Isolation값을 나타내며,  $a_n$ 은 n Port에서의 입사 전압을,  $b_n$ 은 n Port에서의 반사 전압을 나타낸다. 이상적인 경우는  $T=1, I=0$  이어야하나 써큘레이터에서의 Through 방향으로의 손실과 완벽한 격리 특성을 가지지 못하게 되므로 각각 1에 가까운 값과 0에 가까운 값을 가지게 된다. 실제 시스템 구현할 경우 추가적인 손실 요인이나 간섭요인들이 발생하게 된다. 같은 조건을 가지고 설계되었더라도, 일반적으로 주파수가 높아질수록 RF수동소자의 경우 각종 손실값이 증가하게 된다. 방향성소자인 써큘레이터의 경우 마찬가지로 사용주파수가 높아질수록 써큘레이터의 격리도가 낮아지는 특성이 있다. 높은 주파수대역을 사용하는 명령송신장치 시스템에서는 방향성소자의 높은 격리도 특성을 기대하기 어렵게된다. 이후의 내용은 실제 안테나 반사세기를 측정할 때 생길 수 있는 요인들을 고려하여 기술하였다.

실제 신호세기 검출기에서 계측되는 값은 Fig. 2와 같이 두 개의 성분으로 나뉘어 계측되어진다. 안테나의 상태 확인을 위해 계측하고자 하는 신호인 path1 (고출력증폭기 -> 써큘레이터 ->

외부 RF 케이블 -> 안테나 -> 외부 RF 케이블 -> 써큘레이터 -> 신호세기 검출기) 로 들어오는 신호와 써큘레이터의 역방향으로 새어나오는 path2 (고출력증폭기 -> 써큘레이터 -> 신호세기 검출기)의 신호가 동시에 계측되게 된다.

path1의 손실요인을 살펴보면 아래의 Table 2 과 같다.

송신기 외부 RF 케이블(써큘레이터와 안테나 사이)는 송신기 설치 제약조건으로 인하여 비교적 긴 길이를 갖고 있고, 전달하고자 하는 신호가 높은 주파수대역으로 변조될 경우 단위 길이 당 손실이 더 크게 나타나게 된다. 실제 본 명령 송신장치는 주사용 주파수 전기적길이의 수백배에 해당하는 물리적 길이를 갖는 외부 RF 케이블로 구성 되어있다.

path2의 고출력증폭기에서 신호세기 검출기까지의 파워전달 측면에서 손실요인을 살펴보면 다음의 Table 3과 같다.

두 경로 모두 동일한 계측지점과 파워 공급원(고출력증폭기)을 가지고 있으나, 경로차이에 의

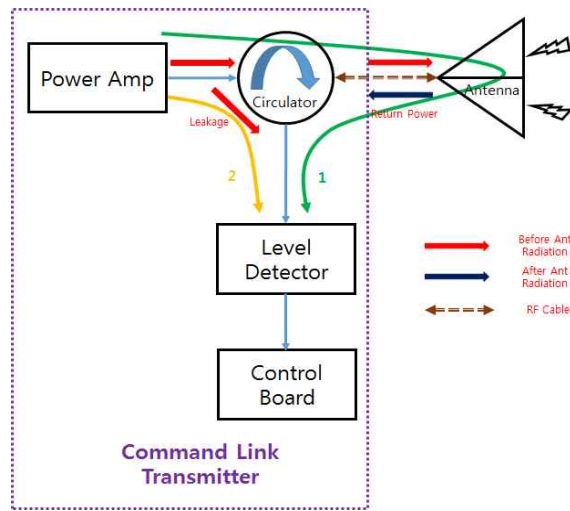


Fig. 2. Antenna Built-In-Test method(realistic)

Table 2. Component of No.1 path loss

RF Cable Loss of Transmitter-IN (0cm) : < 1dB
RF Cable Loss of Transmitter-Out (000cm) (Between Circulator and Antenna) : < 10dB
Circulator Loss (Through) : < 1dB
Antenna Radiation Power : > 10dB
Antenna Loss : < 1dB
Dielectric Loss and Permittivity Loss

Table 3. Component of No.2 path loss

RF Cable Loss of Transmitter-IN (0cm) : < 1dB
Circulator Isolation : > 20dB
Dielectric Loss and Permittivity Loss

하여 서로 다른 손실값을 갖게 된다. 결국 신호의 크기는 경로별 감쇄 정도에 따라서 다르게 계측되게 된다. 주요한 영향을 미치는 감쇄성분을 살펴보면, path1(Fig. 2의 1번 경로)은 써큘레이터와 안테나사이의 송신기 외부 RF 케이블에 의한 손실과 안테나의 손실(안테나 복사전력 및 손실전력)의 합만큼 감쇄되고 path2(Fig. 2의 2번 경로)는 써큘레이터의 분리도 특성만큼 감쇄된다. 안테나를 포함한 고출력단 이후의 상태를 확인하기 위해서는 안테나+외부 RF 케이블 손실이 써큘레이터의 격리도 특성 보다 더 작은 값을 가져야한다. 만약 외부 RF 케이블+안테나 손실이 더 클 경우 path2를 통해 들어오는 신호가 주요한 성분이 되어 안테나의 정상상태 확인이 어렵게 된다.

path1, path2의 감쇄 정도에 따라 명령송신장치의 안테나 정상판단 가능/불가능 여부가 결정되게 되며, 크게 3가지의 경우로 나눌 수 있다.

- path1 계측파워 >> path2 계측파워  
안테나 점검을 위해 계측하고자 하는 신호(안테나가 연결된 path1)가 더 큰 상황으로서, 정상판정영역과 비정상판정영역이 확연하게 구분된다. 상대적으로 큰 path1 신호에 비해 path2의 신호가 계측시 미치는 영향이 미미하기 때문에 안테나의 안테나 정상/비정상에 따른 계측치가 확연히 차이가 나게되며, 점검 시 별도의 문제가 발생하지 않는다.

- path1 계측파워 << path2 계측파워  
원하지 않는 써큘레이터의 누설성분이 주 신호가 되며, path2의 신호가 더 크게 계측되는 경우이다. 안테나의 상태를 볼 수 있는 path1의 계측파워가 정상 혹은 비정상시에도 매우 작기 때문에 정상/비정상 상태에 따라 최종계측값은 path2 신호만 계측되게 파워의 변화가 없다. 따라서 정상/비정상의 상태 판정이 불가능하게 된다.

- path1 계측파워 ≥ path2 계측파워  
path1과 path2 신호가 크게 차이 나지 않거나 비슷한 경우로서, 상태 판정시 정상 판정영역과 비정상 판정영역이 겹치게 되어 정상상태 확인을 위해서는 별도의 조치가 필요한 상황이다. 명령 송신장치는 긴 외부 RF 케이블을 갖고 있기 때

문에, 계측하고자 하는 path1의 감쇄성분이 상대적으로 커지게 되고, 이때 path2의 써큘레이터 격리 감쇄 후 신호와 비슷한 파워를 가지게 될 경우 두 신호는 계측지점에 도달하였을 때 각파의 위상에 따라 상쇄 혹은 보강 간섭현상을 일으키게 된다. 이후에는 path1 손실이 path2손실에 비해 약간 작거나 비슷할 경우 발생하는 문제를 살펴보고 해결책을 제시하고자 한다.

명령송신장치는 주사용주파수 대역에서 선택적으로 채널변경(주파수변경)을 하며 변조가 가능한 시스템으로서, 정상상태확인을 위해서는 단일 주파수가 아닌 모든 주파수 범위에서의 성능 확인이 가능해야한다.

$$V(z,t) = |V_0| \cos(\omega t - \beta z + \phi) e^{-\alpha z} \quad (2)$$

식 (2)은 전송선로에서의 진행방향으로의 전압을 위치와 시간을 기준으로 나타낸 식으로서, 주파수의 변화는 동일 계측지점에서 위상의 변화로 나타내어 질 수 있다. 설계된 송신시스템에서 동일한 물리적 길이의 경로를 가지고 있더라도 사용 주파수에 따라서 달라지는 전기적 길이 및 감쇄 등과 같은 기타 변수에 의하여 계측시 파워가 다르게 계측된다.

$$\alpha = \frac{1}{2} \left[ \frac{R_s}{\eta \ln(b/a)} \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) + \omega \epsilon'' \eta \right] \quad (3)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f \sqrt{\mu_r \epsilon_r}}{c} \quad (4)$$

식 (2)에 동축케이블의 감쇄상수와 위상상수에 해당하는 식 (3), (4)를 넣어 신호를 계산하였으며 주파수의 변화에 따른 파워의 변화를 Fig. 3의 path1, path2로 시뮬레이션 후 결과를 나타내었다[4]. 그 결과 상대적으로 긴 길이를 갖는 path1이 path2보다 주파수에 대하여 더 짧은 주기를 갖고 변화하고 있음을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있었다. 실제 구현된 물리적 길이가 전기적 길이에 비해 비교적 크게 차이 나지 않는 path2는 주파수의 변화에 따라 위상의 변화가 덜 민감하게 변하고 있었던 반면에 사용주파수의 전기적길이 수백 배에 해당하는 물리적 길이를 갖는 path1의 경우 주파수의 변화에 따라 위상이 매우 자주 바뀌고 있음을 확인할 수 있었다. 각각의 경로를 구별짓는 측면에서는 길이의 차이가 작을수록 점점주파수의 변화에 따른 위상의 차이가 작아 구분하기 어려워진다. 하지만 본 논문에서 해결하고자 하는 고장진단 측면에서는, path1의 경로(송신기 외부 RF 케이블)가

길어질수록 단위길이당 케이블 손실에 의하여 계측파워가 일정 수준 이상으로 줄어들 경우(path2 계측파워보다 줄어들 때) 정상/비정상 판단에 어려움이 생기게 될 것이다.

Figure 3부터 Fig. 7까지 x축에 표현된 주파수 번호(Frequency Number)는 주파수를 직접 표현하지 않고 주파수 번호를 나타낸 값으로서, 0번의 경우 무선송신장치의 변조시 사용되는 중심주파수 중 가장 낮은 주파수이며, 중심주파수 0MHz 간격으로 주파수 번호가 올라간다.

식(2)로 나타낸 path1, path2 두 신호의 합은 Fig. 4와 같으며 실제 계측된 Fig. 5의 결과와 마찬가지로 두 경로의 신호 상쇄 보강으로 인하여

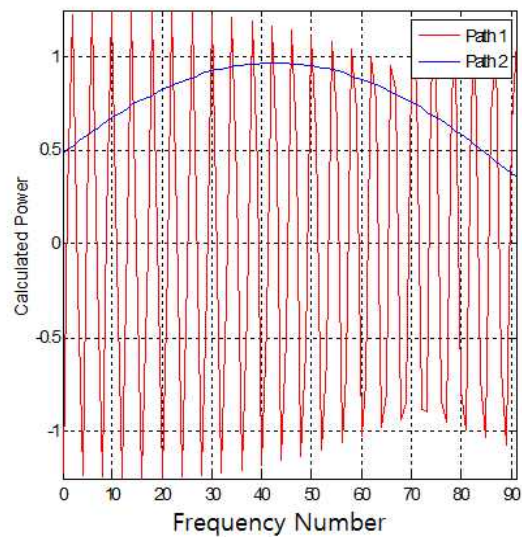


Fig. 3. Simulated Power of Each Path

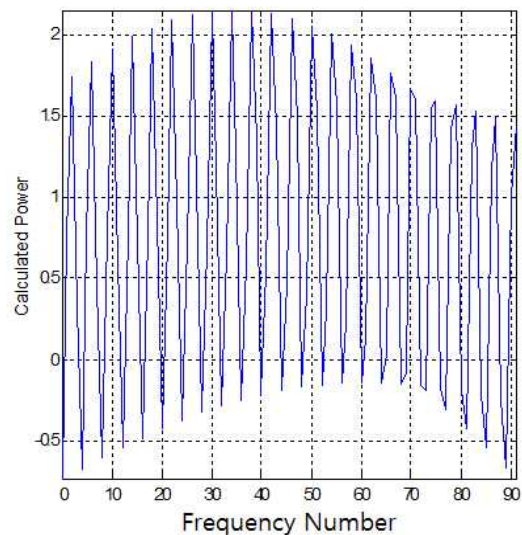


Fig. 4. Simulated Power of Transmitter

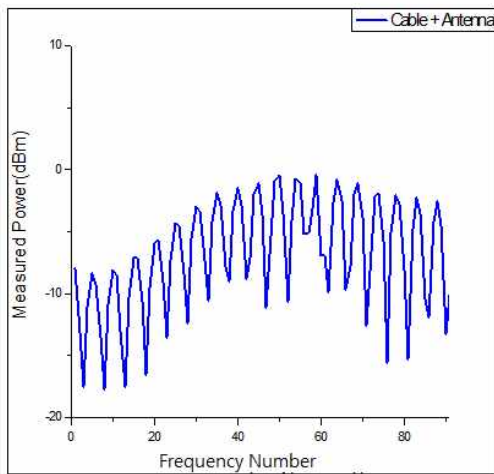


Fig. 5. Measured Power of Transmitter

측정시 항상 동일한 파워가 아니라 일정 주기를 가지고 마루와 골을 반복 생성 해가며 신호가 계측됨을 알 수 있다.

식 (2)~(4)를 이용하여 나타낸 시뮬레이션결과와 실제 시스템의 계측 비교를 통하여 다음과 같은 내용을 정리 할 수 있었다.

점검주파수의 변화에 따라 계측지점의 파워가 주기성을 가지고 변화하게 된다. 해당현상은 점검시 동일한 물리적 길이를 가지고 있더라도 위상의 변화에 의하여 변하게 되며, 긴 길이를 가질수록 그 영향이 크게 나타남을 확인 할 수 있었다. path1, path2로 각각 시뮬레이션된 신호의 합의 결과인 Fig. 4 와 실제 계측결과인 Fig. 5에서 path1에 의해 생기는 매우 짧은 주기적 신호와 path2의 계측결과로 생기는 포락선형태가 시뮬레이션과 계측의 경우 모두 나타나는 것을 확인함으로써, 두가지 경로의 신호가 동시에 들어오고 있음을 확인하였다.

다음의 Fig. 6과 같이 비정상상태(케이블만 연결) 일 경우 안테나에 의하여 방사되는 손실이 없으므로 정상상태(케이블과 안테나 연결)에 비해 상대적으로 높은 파워가 계측된다. 정상 및 비정상판정영역은 Fig. 6에서 표시한 바와 같이 나타낼 수 있으며 각 영역의 기준은 비정상상태의 최소값과 정상상태의 최대값이 기준이 된다. 하지만 측정결과에서 나타나듯이 정상 판정영역과 비정상 판정영역이 겹치는 구간의 경우, 즉 비정상상태의 최소값이 정상상태의 최대값 보다 큰 경우가 발생하게 된다. 또한 정상상태의 경우 낮은 출력 값을 가지고 있기 때문에 비정상상태보다 써큘레이터의 누설성분에 더 크게 간섭을 받게 된다.

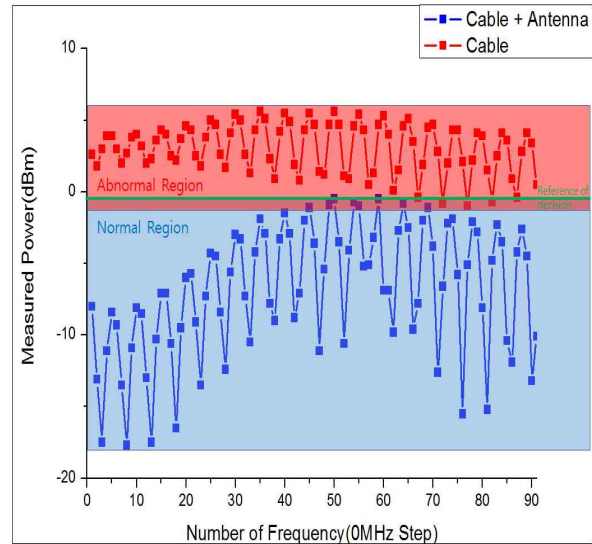


Fig. 6. Generated Normal / Abnormal Region by Testing result

Figure 6의 비정상상태를 모의한 케이블만 측정된 결과(붉은색) 같은 경우 정상상태가 아니지만 특정주파수 대역(70~80번 주파수)에서는 정상으로 판단을 하게 되므로 명령송신장치의 정확한 상태 진단이 어렵게 된다. 물론 명령송신장치 내에 위치한 방향성 소자(써큘레이터)가 높은 격리도 특성을 가져서 원하지 않는 누설 성분을 보다 더 차단시키거나 명령송신장치로부터 안테나 사이를 비교적 짧은 케이블길이로 연결하여 작은 손실특성을 보였다면 측정하고자하는 신호가 더 커지게 될 것이다. 이 경우 역시 두 경로로 전달되는 신호는 확연하게 구분되어 정상 판정영역과 비정상 판정영역이 겹치는 상황이 발생하지 않을 것이다. 하지만 작전수행체 내에 배치할 때 발생하는 설치상의 문제로 인하여 안테나와 명령송신장치사이의 케이블길이를 줄이지 못하거나 비교적 높은 주파수를 사용하기에 사용할 수 있는 방향성소자의 특성이 제한적이기 때문에 다음과 같은 방법을 제시하고자 한다.

## 2.2 문제해결 방법

기존의 방식대로 하나의 주파수를 기준으로 측정할 경우 생길 수 있는 문제를 해결하기 위하여 연속된 주파수를 선택 및 점검하여 확률적으로 정상 혹은 비정상을 판단하는 방법을 제안하고자 한다. 고출력증폭기로부터 측정지점까지 길이의 변화 및 주파수의 변화에 따라 계측되는 파워의 경우 주기적으로 출력값이 변하게 된다.

식(2)의 경우 삼각함수의 주기는  $2\pi$ 이며, 이때의 물리적길이(고출력증폭기로부터 신호세기

검출기까지의 길이  $z$ )는 식(5), (6)과 같이 계산되어지며 최종적으로는 길이  $z$ 가 한 파장이 되게 된다. 식(2)에서  $2\pi$ 의 배수배를 가지면서 큰 값의 주파수 성분을 가지는  $wt$  성분과 안테나 반사 등으로 변할 수 있는  $\phi$  성분은 주기를 구하는데 있어서 큰 영향을 미치지 않으므로 고려하지 않았다.

$$\beta z = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)z = 2\pi \tag{5}$$

$$\lambda = z \tag{6}$$

임의의 유전율( $\epsilon_r$ )과 투자율( $\mu_r$ )을 갖는 매질에서 전파속도와 파장 및 주파수와의 관계는 식(7)과 같이 나타낼 수 있으며, 실제로 고출력증폭기로부터 신호세기 검출기까지의 길이  $z$ 를 이용하여 구할 수 있는 파워 반복주파수( $f_p$ )는 케이블의 유전율 등을 고려하여 아래의 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda f_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \tag{7}$$

$$f_p = \frac{c}{z \sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \tag{8}$$

실제 고출력증폭기로부터 측정지점까지의 물리적 길이  $z$ 와 사용된 케이블의 유전율로부터 계산된 파워 주기는 측정결과로부터 얻어진 본 시스템의 파워 주기와 근사한 값이 도출되었다. 물론 계산되어진 값과 시스템으로부터 측정된 주기는 오차가 있겠지만, 이 오차들은 고출력증폭기 이후에 고려되지 않은 내부 케이블 특성 및 써클레이터 특성 등으로 인하여 발생된다.

시스템 설계시 고출력증폭기로부터 신호세기 검출기까지의 길이를 기반으로 예측되는 파워 반복주기를 구한 뒤, 반복주기의 배수에 해당하는 만큼 측정 주파수범위를 설정 후 RF 파워를 측정하도록 한다. 만약 주기의 배수구간을 설정하지 않는다면 임의의 점검 지점이 판정기준점을 넘는 구간만으로 설정될 수 있다. 하지만 점검구간을 주기의 배수로 설정 시 상대적으로 높은 값과 낮은 값을 모두 포함하게 되며, 기존의 방식처럼 단일 주파수에서 상태 확인이 아닌 다수의 주파수 상태확인 후 정상, 비정상 여부를 최종 판정하게 된다. 복수 주파수에서 정상 혹은 비정상을 각각 주파수별로 판단 후 최종적으로 일정 확률이상 동일한 결과가 나온 경우 최종적으로 정상 혹은 비정상을 출력하도록 한다. 언급

된 조건들을 정리하면 아래와 같다.

- RF변조 신호 최종출력단(Power Amp)과 안테나 사이의 케이블 길이( $z$ )를 기반으로 파워 반복주기( $f_p$ ) 산정
- BIT 점검시, 점검 주파수 범위는 주기의  $n$ 배로 설정
- 정상/비정상 판정 기준점은 비정상영역(Fig. 6 케이블 영역)의 최소값과 정상영역(Fig. 6 케이블+안테나 영역)의 최대값 사이로 설정
- 각 주파수별 BIT 점검시, 기준점 보다 낮으면 정상, 기준점보다 높으면 비정상 판정
- 판정결과가 많은 쪽으로 최종 판정

Figure 7은 Fig. 6을 확대한 그림으로서 실제 최종 판정하는데 필요한 조건들을 적용하였다. Fig. 7의 붉은색(Cable 만 연결) 결과의 경우 비정상 상태일 때, 명령송신장치의 BIT 점검주파수를 변경시키며 파워를 측정한 결과로서, 정상/비정상 판정의 기준점 보다 대부분 높은 파워가 측정된다. 하지만 단일주파수로 안테나 BIT 판정을 수행할 경우 72, 77번 주파수와 같이 기준점보다 낮은 파워가 측정되어 비정상임에도 정상으로 측정되는 현상이 발생된다. 위와같은 판정오류를 극복하기 위하여 제안한 내용을 적용하면 다음과 같다. 먼저 케이블의 길이를 기반으로 주기를 구한 후 주기의  $n$ 배수만큼(Fig. 7 시험은 2배수)을 명령송신장치의 BIT점검 주파수범위(00MHz)로 설정하였다. 정상 및 비정상 판정기준점은 비정상영역의 최소값과 정상영역의 최대값 사이인 -1dBm으로 설정하였다. Fig. 7의 좌측 아래 박스

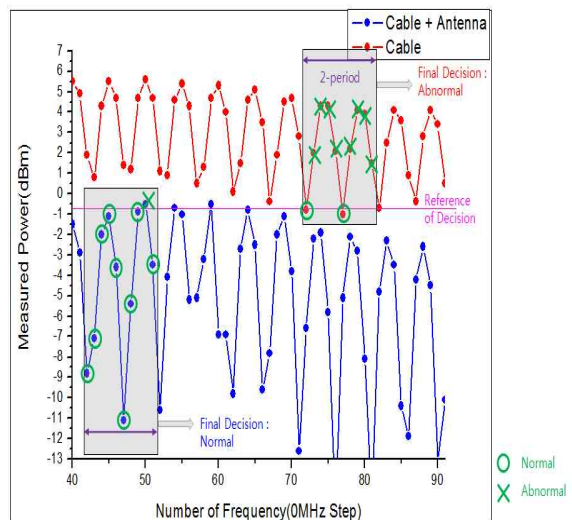


Fig. 7. Apply Proposed method for Normal/Abnormal decision

로 표시한 영역에서 정상 연결 상태인 케이블과 안테나조합(Fig. 7의 파란색)은 9개의 정상 판정과 1개의 비정상판정을 하였으므로 다수의 판단 결과에 따라 최종적으로 정상판정을 하였다. Fig. 7의 우측 위 박스로 표시한 영역에서 비정상 연결 상태인 케이블만 연결(Fig. 7의 빨간색)은 2개의 정상 판정과 8개의 비정상판정을 하였으므로, 다수의 판단결과에 따라 최종적으로 비정상 판정을 하였다.

안테나가 최종 출력단인 고출력증폭기로부터 일정거리 이상 떨어져 주파수에 따라서 주기적으로 파워가 측정되며, 방향성 소자의 높은 격리도 특성이 충족되지 않아 정상/비정상 판정영역이 겹치는 경우에도 올바른 판정을 할 수 있는 점검 방법을 제시하였다. 실제 측정데이터에 적용하여 판정 후 정상적으로 성능검증이 가능함을 확인 하였으며, 기존의 방식처럼 단일 주파수만 선택 하여 점검하는 방식이 아닌 다수의 주파수를 측정 후 최종판정을 내리는 방식을 제안하여, 측정 횟수가 늘어난 단점이 있지만 보다 정확한 결과를 기대할 수 있게 되었다.

### III. 결 론

본 논문은 광대역 무선송신시스템에서 RF최종 증폭단 이후의 안테나 및 외부케이블의 상태를 자체점검 할 때 생기는 문제점 및 보완방법을 제시하였다. 단일 주파수만 사용하는 송신시스템의 경우 주파수의 변화가 없으므로 RF변조 이후 측정지점까지의 물리적 길이에 대하여 측정시마다 항상 동일한 전기적 길이를 갖게 된다. 하지만 다수의 중심주파수를 가지는 송신시스템의 경우

최종 증폭단 이후 측정지점까지의 전기적 길이는 주파수마다 달라지며, 측정지점에서의 위상에 따라 측정되는 파워 또한 달라지게 된다. 결국 측정되는 파워는 주기적인 형태로 출력되게 되며, 물리적 길이에 의존적으로 주기가 정해지게 된다. 주기적 신호 기반 시험주파수 설정, 복수의 측정 결과를 토대로 최종판정을 내려 정상 여부를 판단하는 방법을 제안함으로써 방향성소자의 성능향상이나 송신시스템-안테나 케이블 길이 단축과 같은 시스템의 물리적인 수정 없이 상태를 명확하게 판정이 가능한 방법을 도출하였다. 이는 다중대역 송신시스템의 자체고장진단과정에서 유용하게 사용가능할 것으로 판단된다.

### References

- 1) W. H. Jung, J. K. Yun, J. B. Shin and M. H. Yun, "Guidance Information Transmission Method through the Jittering Techniques for Effectively Simultaneous Combat of Multiple Battle Ships", *The Korea Institute of Military Science and Technology, Information and Technology*, pp. 323-324, 2014
- 2) D. S. Jun, C. H. Lee, S. S. Lee, and T. G. Choy, "Technology trend of circulator", *Electronics and Telecommun. Trends*, vol. 10, no. 3, pp. 183-189, 1995
- 3) W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd edition, Wiley, N.Y., 1998.
- 4) David M. Pozar, *Microwave Engineering*, 3rd edition, Wiley, 2004.