

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.5.129>  
JIIBC 2019-5-18

# 위성 단말 송신부의 주파수 응답 평탄도를 향상시키기 위한 모뎀 출력 조절 방법

## Control Technique of Modem Output Level to improve Frequency Response Equalization of Satellite TX Terminals

조태중\*

Tae-Chong Cho\*

**요약** 넓은 BW를 사용하는 위성 통신 시스템에서 주파수 자원을 최대한 효율적으로 사용하는 것은 매우 중요하다. 주파수 자원의 낭비를 초래하는 원인들 중 하나는 사용 대역의 평탄도가 좋지 못하는 경우이다. 사용 대역의 평탄도가 좋지 못한 위성 단말 송신부는 ACI와 가드밴드로 인해 주파수 자원 효율이 낮아지게 된다. 이를 극복하기 위해 본 논문에서는 위성 단말 송신부의 평탄도를 보정하는 방법을 제안한다. 우선, 선별하여 측정된 데이터로부터 최소 자승법을 만족하는 다항식을 생성하고 측정하지 않은 주파수 응답 특성을 보간 하였다. 그리고 최소 자승법을 만족하는 다항식을 이용하여 모뎀의 출력 레벨을 조절하였다. 시뮬레이션 결과 보정된 데이터는 보정 전 데이터 대비 pk-pk와 표준편차가 낮아졌고 이를 통해 평탄도가 보정되었음을 확인하였다.

**Abstract** Frequency resource efficiency is important in satellite communication systems. One of the causes of a waste of frequency resource is bad flatness. In the case, flatness of satellite Tx terminals would be worse by ACI and guard band. In order to overcome this problem, this paper proposes a technique for frequency response equalization in satellite Tx terminals. First of all, a general linear polynomial expression which meets least squares of representative measurement data is calculated to interpolate unmeasured data. And then flatness can be adjusted using the polynomial expression. Simulation results illustrate adjusted data have lower peak to peak and standard deviation than original data, and these show that flatness be improved.

**Key Words** : Satellite communication, Tx terminals, Frequency response equalization, Least square interpolation.

### 1. 서 론

위성 통신 시스템은 위성 단말 송신/수신부와 중계기로 크게 나눌 수 있다. 위성 단말 송신부가 위성 중계기를 향해 신호를 송신하게 되고, 중계기는 이 신호를 수신

부로 전송하여 통신이 이루어진다<sup>[1]</sup>.

위성 중계기는 고가의 장비로서 확보를 위해 많은 비용과 시간이 소요되며, 현실적으로 많은 개수를 소유하는 것은 불가능하다. 이런 문제로 위성 중계기의 사용 대역 폭 Bandwidth (BW)을 넓게 확보하여 통신 용량을 늘리

\*정회원, 국방기술품질원  
접수일자 2019년 8월 16일, 수정완료 2019년 9월 16일  
게재확정일자 2019년 10월 4일

Received: 16 August, 2019 / Revised: 16 September, 2019 /  
Accepted: 4 October, 2019

\*Corresponding Author: taechong@dtaq.re.kr  
Defense Agency for Technology and Quality, Korea

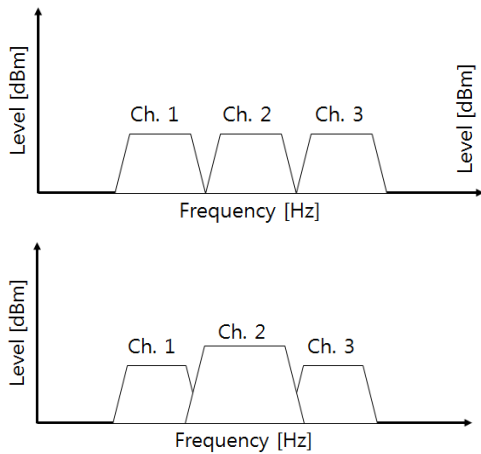


그림 1. 평탄도가 좋은 케이스(윗 그림)와 좋지 못한 케이스(아랫 그림). 평탄도가 좋지 못한 경우에는 ACI를 피하기 위한 가드밴드를 더 넓히게 되어 사용 가능 채널이 줄어들 수 있다.

Fig. 1. Cases of good and bad flatness. Bad flatness systems lead to a reduction of available channels to avoid ACI.

는 연구가 많이 진행되었으며<sup>[2]</sup>, 오늘날 대부분의 위성 중계기는 넓은 밴드로 운용되고 있다<sup>[3, 4]</sup>.

주파수 자원을 효율적으로 운용하기 위해서는 위성 단말 송신부의 평탄도가 매우 중요하다. 위성 단말 송신부의 평탄도가 좋지 않은 경우에는 주파수 자원 낭비를 초래하게 된다. 평탄도가 좋은 위성 단말 송신부의 경우에는 가드 밴드(Guard band)를 일정하게 할당하여 운용할 수 있다. 하지만 평탄도가 좋지 않은 위성 단말 송신부를 운용하게 된다면 그림 1과 같이 전력이 큰 채널의 일부분이 인접한 다른 채널에 침범하여 adjacent channel interference(ACI)를 유발하게 된다. ACI로 인해 인접한 채널은 신호 대 잡음 비(Signal to Noise Ratio, SNR)가 낮아지게 되고 통신 품질이 떨어지게 된다. 평탄도가 좋지 못한 위성 통신 시스템에서 ACI를 피해 SNR을 확보하기 위해서는 더 넓은 가드 밴드를 확보해야 하지만, 이로 인해 주파수 자원을 낭비하게 된다<sup>[4]</sup>.

따라서 위성 단말 송신부의 평탄도를 확보해야하며, 위성 단말 송신부를 이루는 장치부터 관리해야 하지만, 현실적으로는 한계가 있다. 보편적으로 위성 단말 송신부의 장치는 그림 2와 같이 모뎀, 상향 주파수 변조장치, 고출력 증폭장치, 안테나로 크게 구성된다. 그리고 각 장치들 사이에는 필터와 케이블과 같은 수동 소자들도 존재한다<sup>[5]</sup>.

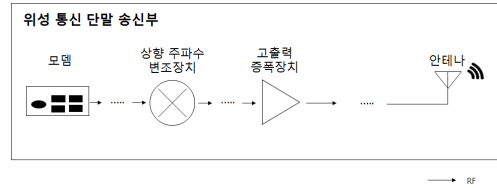


그림 2. 보편적인 위성 단말 송신부의 장치 구성  
Fig. 2. General system configuration of satellite Tx terminal.

모뎀, 상향 주파수 변조 장치, 고출력 증폭 장치와 같은 능동형 구성품 같은 경우에는 별도의 등화기를 반영하여 평탄도를 보다 좋게 할 수 있다<sup>[6, 7]</sup>. 하지만 케이블, 필터, 도파관, 안테나와 같은 수동형 구성품의 경우에는 많은 어려움이 있다<sup>[8]</sup>. 평탄도가 좋지 못한 수동 소자 및 구성품이 결합된 위성 단말 송신부는 결국 평탄도 성능이 저하된다. 만일 평탄도가 좋은 구성품으로 위성 단말 송신부를 제작 하더라도, 구성품들의 미미한 주파수 응답 특성들이 합산되어 위성 단말 송신부 전체의 평탄도는 뒤떨어 질 가능성이 매우 크다.

또한, 다수의 위성 단말 송신부를 생산을 고려하게 된다면 서로 다른 장치들과 부품의 평탄도를 관리하여 전체 위성 통신 송신부의 평탄도를 관리하는 것은 상당한 시간과 노력이 요구된다.

본 논문에서는 위와 같은 문제를 극복하기 위해 위성 통신 송신부의 평탄도를 시스템 단위에서 보정하는 방법을 제시한다. 2장에서는 평탄도 보정 방안을 제시하며, 3장에서는 시뮬레이션을 통해 제시한 방안을 확인한다.

## II. 제안 방안

평탄도 보정을 위해 그림 2 구성에서 그림 3 순서도로 메모리 작업이 진행되어야 한다. 그림 2와 같이 안테나 앞단 커플러, 스펙트럼 분석기, 컴퓨터, 메모리를 추가한다. 커플러는 이상적인 모델로 커플러단의 출력은 안테나로 이어지는 출력과 동일하다고 가정한다. 모뎀에서는 사용 대역 주파수에서 CW(Continuous waveform) 신호를 출력할 수 있고, 출력되는 CW 출력값을 조절할 수 있어야 한다. 스펙트럼 분석기는 커플러 포트를 통해 안테나 바로 앞단까지의 채널전력을 측정할 수 있어야 한다. 컴퓨터는 스펙트럼 분석기와 연결되어 스펙트럼 분석기를 제어와 측정 데이터를 가져올 수 있어야 한다. 그리고 컴퓨터는 메모리에 데이터를 저장할 수 있어야 하며, 이

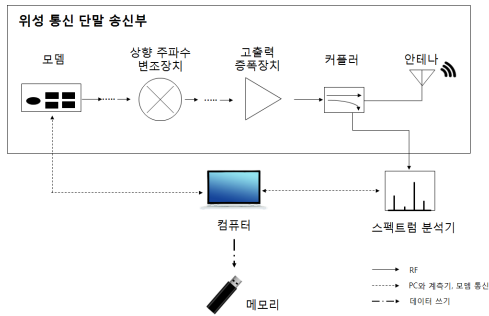


그림 3. 평탄도를 보정하기 위한 위성 단말 송신부 측정 및 메모리 쓰기 작업 구성도

Fig. 3. Block diagram for measurement and memory writing work to adjust flatness in satellite Tx terminal.

메모리는 모뎀에서 읽을 수 있어야 한다.

한 위성 통신 단말 송신부의 측정 및 조절하려는 주파수 중 가장 큰 값을  $f_{max}$ , 가장 낮은 주파수를  $f_{min}$ 이라 하면 주파수 대역폭은  $f_{max} - f_{min}$ 이 된다.  $f_{max}$ 와  $f_{min}$  사이의 측정 포인트 빈도를 M개로 일 때, M이 커지면 촘촘하게 송신부의 평탄도를 측정할 수 있고, M이 낮아지면 드문드문 평탄도를 측정할 수 있다. 사용 주파수의 첫 주파수와 끝 주파수를 측정하고 균일한 간격으로 측정 포인트를 잡는다면, 사용 주파수 대역폭 BW와 측정 포인트 개수 M으로 인한 주파수 측정 간격  $f_{gap}$ 은 식(1)과 같다.

$$f_{gap} = \frac{BW}{M-1} \quad (1)$$

위성통신 시스템에서는 넓은 BW를 사용한다. 이론적으로는 측정 빈도 M을 무한대에 가깝게 하여 매우 좁은 간격으로  $f_{max}$ 와  $f_{min}$  사이를 측정한다면 평탄도를 보다 정확하게 조절할 수 있다. 하지만 M이 매우 많으면 전체 측정 시간이 많이 걸리며, 저장해야하는 데이터가 늘어나 메모리에 매우 큰 용량이 요구된다. 게다가양산 가능성까지 고려하면 M개를 매우 크게 하여 측정 포인트를 촘촘히 하는 것은 현실적으로 맞지 않다. 즉, 대표적인 측정 포인트 M개를 제한적으로 선정하여야 한다. 그리고 이 제한적으로 선택한 측정 포인트 M으로 전체 평탄도를 조절하여야 한다.

제한된 M개의 측정 포인트로 미측정한 포인트를 추정

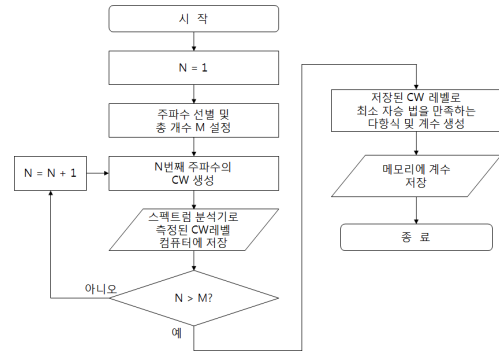


그림 4. 평탄도를 보정하기 위한 위성 단말 송신부 측정 및 메모리 쓰기 작업 구성도

Fig. 4. Block diagram for measurement and memory writing work to adjust flatness in satellite Tx terminal.

하기 위해 최소 자승법을 만족하는 다항식을 이용한다.  $x$ 를 변수로 하는 P차항 다항식은 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다<sup>[9]</sup>.

$$y(x) = \sum_{k=0}^P a_k x^k = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_P x^P \quad (2)$$

총 M개 측정된 데이터가 있다면, merit function은 식 (3)와 같이 표현된다.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^M \left[ y_i - \sum_{k=0}^P a_k x_i^k \right]^2 \quad (3)$$

식 (3)에서  $\mathbf{x} = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_M]$ 은 커플러단에서 측정된 CW 주파수가 대입되고  $\mathbf{y} = [y_1, y_2, y_3, \dots, y_M]$ 는 커플러단에서 측정된 CW 출력값  $CW_{coupler}$ 에 해당된다. 상기 식 (3)의  $\chi^2$ 이 최솟값을 가지게 하는 계수  $\mathbf{a} = [a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_P]$ 를 구해 다항식을 만들면 사용 전대역의 선형 그래프를 얻을 수 있다. 이 그래프를 통하여 미측정한 주파수의 출력 레벨까지 추정할 수 있다.

계수를 생성하면 메모리에는 계수 값을 저장한다. 계수가 저장된 메모리는 모뎀에 장착된다. 모뎀은 저장된 다항식 계수를 참조하여 다항식을 재생성해 모든 반송 주파수의 모뎀 출력 전력을 보정한다. 반송 주파수별 모뎀 출력 보정 값(Compensation Value, CV)은 식 (4)을 통해 구해진다.

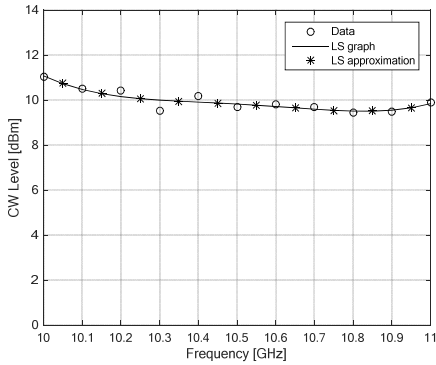


그림 5. 임의로 생성한 측정 데이터 O와 이를 기반으로 추정된 미측정 데이터 \*. 그래프는 측정 데이터 O의 최소 자승법을 만족하는 5차 다항식이다.

Fig. 5. Generated data O and polynomial graph which meets least square. This shows unmeasured data \* can be calculated and interpolated.

$$CV = CW_{Modem} - (CW_{Polynomial} - G_{Coupler\ path}) \quad (4)$$

$CW_{Modem}$ 은 모뎀 출력의 CW 레벨,  $CW_{Polynomial}$ 는 다항식으로 계산한 커플러 출력단의 CW level,  $G_{Coupler\ path}$ 은 위성단말 송신부의 커플러 경로 이득 값, CV는 보정 값이다. 보정된 CW level  $CW'_{Modem}$ 은 식 (5)와 같이 모뎀 출력  $CW_{Modem}$ 와 모뎀 출력 보정 값 CV의 합으로 구해진다.

$$CW'_{Modem} = CW_{Modem} + CV \quad (5)$$

즉, 보정된  $CW'_{Modem}$ 로 모뎀 출력을 조정하여 평탄도를 향상시킬 수 있다. 보정된  $CW'_{Modem}$ 로 인한 커플러 출력단  $CW'_{Coupler}$ 은 식 (6)와 같다.

$$CW'_{Coupler} = CW'_{Modem} + G_{Coupler\ path} \quad (6)$$

### III. 시뮬레이션

시뮬레이션을 위해 커플러단 측정 데이터  $CW_{coupler}$ 를 10dBm에 노이즈를 더해 그림 5와 같이 임의로 생성하였다. 송신 주파수를 10GHz ~ 11GHz, 측정 포인트 개수 M = 11, 모뎀 출력 -20dBm, 커플러 경로 이득은

30dB로 가정하였다. 생성된 측정 데이터는 측정 포인트 주파수  $x = [10.0\text{GHz}, 10.1\text{GHz}, 10.2\text{GHz}, \dots, 11.0\text{GHz}]$ 의 출력 값  $y$ 이며, 평탄도가 좋지 못한 케이스이다. 생성된 데이터  $y$ 와 최소 자승법을 이용하여 미 생성된 데이터 값까지 보정할 수 있음을 보여준다.

표 2는 평탄도가 좋지 못한 케이스가 보정된 결과를 보여준다. 표 2의  $CW_{coupler}$ 는 그림 6에서 생성한 측정 데이터 값  $y$ 이다.  $CW_{Polynomial}$ 도 선형 최소 자승법을 만족하는 그림 6 그래프에서  $x$ 를 대입하여 얻은 계산 값이다.  $G_{Coupler\ path}$ 와  $CW_{Polynomial}$ ,  $CW_{Modem}$ 를 통해 모뎀 출력 레벨 조정 값 CV를 구한 후, 보정된  $CW'_{Coupler}$ 을 구해  $CW_{Coupler}$ 와 비교하였다. 보정된  $CW'_{Coupler}$ 의 peak to peak(pk-pk)과 표준분포( $\sigma$ )가  $CW_{Coupler}$  대비 매우 낮아짐을 확인할 수 있다.

표 1. 실험 파라미터

Table 1. Simulation Parameters

Parameter		설정 값
대역폭	BW	1GHz
측정 포인트 개수	M	11
측정 주파수 간격	$f_{gap}$	100MHz
모뎀 CW 출력 레벨	$CW_{Modem}$	-20 dBm
커플러 경로 이득	$G_{Coupler\ path}$	30 dB

표 2. 평탄도 보정 전 데이터  $CW_{coupler}$ 와 보정 후 데이터  $CW'_{Modem}$  pk-pk와 표준분포 비교

Table 2. Peak-to-Peak and Standard Deviation Comparison Between  $CW_{coupler}$  and  $CW'_{Modem}$ .

주파수 [Hz]	$CW_{coupler}$ [dBm]	$CW_{polynomial}$ [dBm]	$CW'_{Modem}$ [dBm]
10.0 G	11.03283	11.08259	9.950233
10.1 G	10.51739	10.47746	10.03992
10.2 G	10.43304	10.16067	10.27237
10.3 G	9.518269	10.00473	9.513535
10.4 G	10.17597	9.914512	10.26146
10.5 G	9.692938	9.828572	9.864366
10.6 G	9.828714	9.720559	10.10815
10.7 G	9.686495	9.600556	10.08594
10.8 G	9.435847	9.516457	9.91939
10.9 G	9.50019	9.55533	9.94486
11.0 G	9.884556	9.844786	10.03977
pk-pk	1.5970	1.5661	0.7588
$\sigma$	0.5080	0.4635	0.2078

## IV. 결 론

본 논문에서는 위성통신 시스템에서 주파수 자원을 효율적으로 운용하기 위해 위성 단말 송신부의 평탄도를 보정하는 방법을 제시하였다. 모델, 상향 주파수 변조장치, 고출력 증폭장치, 안테나 등으로 구성된 위성 단말 송신부에서 안테나 앞단에 커플러를 추가하여 평탄도를 조정하였다. 부분적인 측정 데이터를 이용하여 미측정한 부분의 데이터를 유추하는 방법을 제안하였으며, 이를 통해 보정하는 방법도 제시하였다. 시뮬레이션 결과 보정된 데이터는 보정되지 않은 데이터에 비해 pk-pk와 표준편차가 작아졌고 이를 통해 위성 단말 송신부 평탄도가 향상됨을 확인하였다.

## References

- [1] G. Maral and M. Bousquet, *Satellite communications systems: Systems, Techniques and Technologies*. 5th ed., Wiley, 2009.
- [2] Air Force Space Command, "Wideband Global Satellites.", *Air Force Space Command*. 2007. Available:<https://web.archive.org/web/20070108061443/http://www.afspc.af.mil/library/factsheets/factsheet.asp?id=5582>
- [3] Graham, W. "ULA Delta IV launches WGS-8 satellite." *Nasaspaceflight.com*, Dec. 2016. Available:<https://www.nasaspaceflight.com/2016/12/ula-delta-iv-wgs-8-launch/>
- [4] H. Kim, and H. Choi, "Design of Low Pass Filter Using Corrugated Waveguide for Satellite Communications", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol. 13, No. 2, pp. 41-46, Apr., 2013.
- [5] T. E. Stern, G. Ellinas, and K. Bala, *Multiwavelength Optical Networks: Architectures, Design, and Control*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [6] D. Roddy, *Satellite Communications*, 4th ed. McGraw-Hill. 2006.
- [7] B. Sklar., *Digital Communications: Fundamentals and Applications*. 2<sup>nd</sup> ed. Prentice HALL.2001.
- [8] C. Kudsia, "Innovations in microwave filters and multiplexing networks for communications satellite systems" *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 40, no. 6, Jun., pp. 1133-1149, 1992. DOI:<https://doi.org/10.1109/22.141345>
- [9] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, *Numerical Recipes in C*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

## 저 자 소 개

### 조 태 종(정회원)



- 2015년 2월  
- 광주과학기술원 석사
- 2015년 9월 ~ 2018년 12월  
- 국방과학연구소 연구원
- 2019년 1월 ~ 현재  
- 국방기술품질원 연구원