

통신방송위성(CBS) Ku 대역 중계기 다중경로 영향 분석

이용민, 은종원, 이성팔
한국전자통신연구원 통신위성개발센터

A Study on the Multipath Effect of Ku-Band Transponder Subsystem for Communication & Broadcasting Satellite(CBS)

Yong Min Lee, Jong Won Eun, Seong Pal Lee
Communication Satellite Development Center
Electronics and Telecommunications Research Institute
E-mail : ymlee01@etri.re.kr

Abstract

This paper describes the effective and rigorous analytic method of multipath effect which results from insufficient isolation characteristics between adjacent channels in communication payload system. It is very important to analyze the multipath effect for verifying the performance of transponder subsystem that especially is consist of multi channels. Finally the multipath effect are analyzed by calculating the GR and GDR for two adjacent channels of Ku-band transponder subsystem on the Communication & Broadcasting Satellite(CBS).

I. 서론

오늘날 세계 각국은 급증하는 정보통신 데이터의 전송을 위해 보다 저렴하게 원거리 통신이 가능한 위성 통신망에 대한 의존도를 높여가고 있다. 특히 최근 각국의 통신 사업자들이 대규모 우주개발 계획을 잇달아 발표하고 있어 향후 10년 이내에 지금까지 발사된 숫자보다 더 많은 위성이 우주로 쏘아 올려질 것으로 예상된다. 더욱이 위성통신은 물론 군사관측, 기상관측, 해양관측, 재난관리 등 각 분야에서 위성의 역할 확대가 불가피하다고 할 수 있다. 이러한 위성통신 시스템은 점차 그 복잡성을 더해가는 반면 보다 고 신뢰도의

우주임무 수행을 위하여 각 서브시스템의 더욱 정확한 성능분석 및 예측을 요구하고 있다.

본 논문은 한국전자통신연구원이 범세계적인 우주개발 경쟁에 적극 대처하기 위하여 국내 기술로 제작을 완료한 통신방송위성 기술인증모델(EQM : Engineering Qualification Model)의 채널간 다중경로(Multipath)에 의한 영향을 Ku 대역 중계기 채널들을 모델로 분석하였다.

II. Ku 대역 중계기 서브시스템

그림 1은 다중경로 영향의 영향 분석의 대상이 되는 통신방송위성 Ku 대역 탑재체 시스템의 블록도이며, 상향 주파수 14.0 ~ 14.5 GHz의 신호를 수신하고 하향 주파수 대역인 12.25 ~ 12.75 GHz로 주파수 변환 후 증폭하여 송신하여 전체 500 MHz 대역 내에 36 MHz 대역폭을 갖는 12개의 통신 채널을 수용하도록 설계되었다.

전체 12개 채널 중 채널 2, 4, 6 3개 채널이 기술인증모델로서 개발되었으며[그림 2], 중계기 서브시스템을 구성하고 있는 입력 멀티플렉서 (IMUX ; Input Multiplexer)와 출력 멀티플렉서 (OMUX ; Output Multiplexer) 등의 채널 필터 특성에 의해 다중경로에 의한 인접 채널간 간섭의 정도가 결정된다.

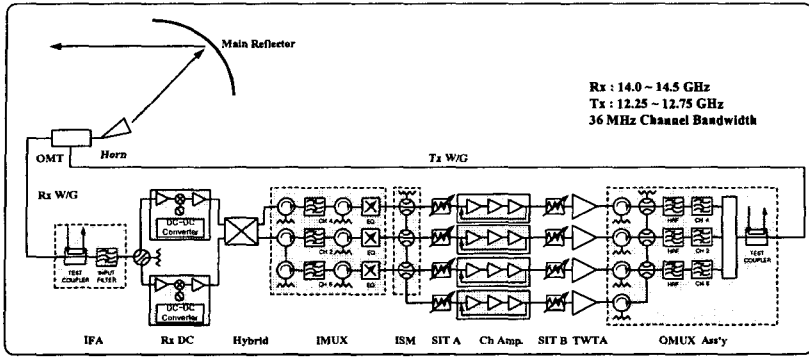
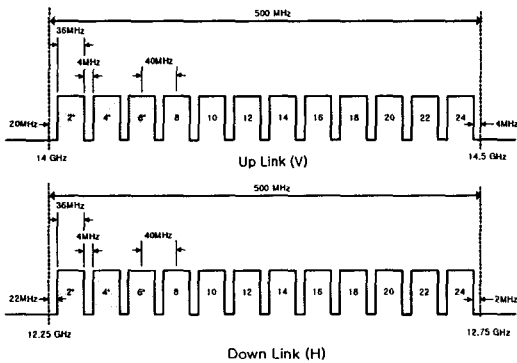


그림 1. Ku 대역 탑재체의 블록도



EQM Channel

그림 2. Ku 대역 탑재체 주파수 할당

이와 같은 통신 채널간의 다중경로 현상은 통신방송위성 탑재체 설계 시 시스템 성능을 결정짓는 중요한 요소 중의 하나로서 충분히 제거되지 않을 경우 인접채널에 잡음으로 작용하여 지구국에 위치한 복조기의 유효 E_B/N_0 및 BER(Bit Error Rater) 성능을 저하시키는 요인이 된다.

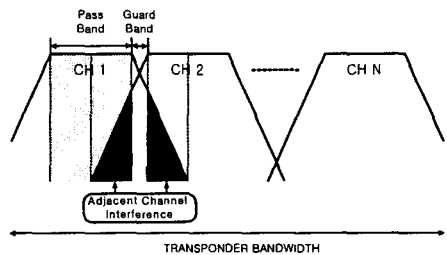


그림 4. 인접 채널간 간섭현상

III. 다중경로 영향에 의한 인접채널 간섭

일반적으로 위성의 중계기 서브시스템은 여러 개의 채널들로 구성되며 각 채널의 충분하지 못한 여파 특성과 적은 보호대역으로 인해 그림 3과 같이 특정 신호의 전력 누출에 의해 다중경로 현상과 같은 인접 채널간 간섭이 발생하게 된다.

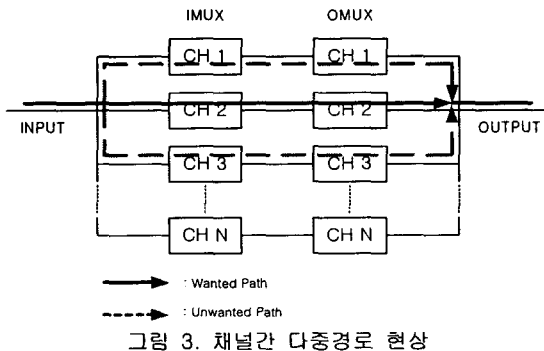


그림 3. 채널간 다중경로 현상

또한 채널간 다중경로 영향을 고려하지 않은 채널필터 설계는 결국 그림 4와 같이 인접 채널간 간섭을 초래하여 채널 간격의 감소 및 채널의 포화 전력 증가로 인하여 신호의 끊김, 통신품질 저하 등의 통신 장애를 유발하게 된다.[1]

위성 탑재체의 중계기 서브시스템에서 다중경로 신호의 발생을 최소화하기 위해서는 인접 채널간의 충분한 분리도 특성이 가장 중요하게 요구되므로 각 채널 필터의 설계 시 필터함수 및 필터의 공진기 수 등이 충분히 고려되어야 한다. 또한 우주환경에 따른 온도 변화를 감안하여 온도 변화에 의해 발생할 수 있는 각 필터의 특성변화를 고려한 재질의 선택 등이 매우 중요하다고 할 수 있다.

IV. Ku 대역 중계기 다중경로 영향 분석

한국전자통신연구원이 개발한 통신방송위성 탑재체의 Ku 대역 중계기서브시스템은 여러 개의 인접된 채널들로 구성되며, 이때 특정채널의 신호는 중계기를 통과하면서 채널간의 완벽한 분리특성을 얻지 못하는 이유로 인접 채널과 자기 채널간의 간섭을 유발하게 된다. 이와 같이 인접 채널간 통과대역 내 다중경로에 의한 영향은 결국 인접 채널의 주파수 성분이 자기 채널의 통과대역 내 주파수 성분과 결합하여 자기 채널의 주파수 응답특성 및 균지연 리플(ripple) 특성에 영향을 주게 된다.

이와 같은 다중경로에 의한 영향분석을 위하여 먼저 분석하고자 하는 채널에 대해 인접한 채널의 입력 멀티플렉서(IMUX)와 출력 멀티플렉서부(OMUX Assembly)의 분석 채널 통과대역 내 차단특성 데이터를 구하였다. 즉, 중계기 채널 2의 채널 4에 의한 다중경로 영향을 분석하기 위하여 채널 4의 중심 주파수 (f_c)로부터 $f_c - 22\text{MHz} \sim f_c - 40\text{MHz}$ 의 입력 멀티플렉서와 출력 멀티플렉서의 차단 특성 값을 사용하였다. 이때 인접 채널이 아닌 최소 두 채널 이상 떨어져 있는 먼 채널에서의 차단 특성은 상당히 크므로, 먼 채널을 통과하는 다중경로에 의한 영향은 무시하였다.

다음은 인접 채널의 전체 차단 특성 R_T 를 다음 식으로부터 계산하였다.

$$R_T = R_{IMUX} + R_{OMUX} - 10\text{dB}^* \quad (1)$$

이때 10dB^* 는 인접 채널 이득이 분석 채널 이득보다 10dB 높은 Worst Case를 고려한 것이다. 식(1)로부터 인접채널 경로로 통과된 분석채널의 상대적인 전압레벨 X 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$X = 10^{-\frac{R_T}{20}} \quad (2)$$

최종적으로 전압으로 표시된 인접 채널에 의한 분석 채널내의 상대 값 X 로부터 분석 채널의 주파수에 대한 이득 리플 값 $GR[\text{dB}_{p-p}]$ 과 균지연 리플 값

$GDR[\text{ns}_{p-p}]$ 을 식(3)과 식(4)로 계산하였다.

$$GR = 20\log\left(\frac{1+X}{1-X}\right) \quad [\text{dB}_{p-p}] \quad (3)$$

$$GDR = GR \times 14.3^* \quad [\text{ns}_{p-p}] \quad (4)$$

이와 같은 분석방법에 의해 채널 4의 통과신호가 인접채널 채널 2의 경로를 통해 유발하는 다중경로 영향을 분석하였으며, 표 1에 계산 결과를 나타내었다.

표 1에서 보는 바와 같이 통신방송위성 중계기 서브시스템의 다중경로에 의한 인접 채널간 간섭의 영향은 표 2와 표 3의 다중경로의 영향을 고려한 주파수 응답 및 균지연 요구사항을 고려 해 볼 때 매우 적음을 알 수 있다.[2]

IV. 결론

본 논문에서는 인접한 채널들의 다중경로에 의한 영향을 정확하게 분석하기 위하여 먼저 분석하고자 하는 채널에 대해 인접한 채널의 입력 멀티플렉서(IMUX)와 출력 멀티플렉서부(OMUX Ass'y)의 분석 채널 통과대역 내 차단특성 데이터를 이용하여, 중계기 채널 2의 채널 4에 의한 다중경로 영향을 분석하였다. 분석결과 인접 채널 4로부터 분석 채널 2에 미치는 주파수 이득 리플 값 GR 과 균지연 리플 값 GDR 은 각각 약 0.57 dB_{p-p} 와 8.19 ns_{p-p} 로 채널 2의 통과대역 가장자리 주파수인 $f_c + 18\text{MHz}$ 에서 최대가 됨을 알 수 있었다. 그러나 이들 값들은 탑재체 시스템의 요구 규격 6.1dB 와 140 ns 보다 훨씬 적은 값으로 실제 인접 통신 채널간 간섭은 무시할만하다고 할 수 있다.

또한 이러한 다중경로 간섭에 의한 채널 통과대역신호의 왜곡을 최소화할 수 있는 방법에 대하여 고찰하였다. 본 논문의 분석결과는 한국전자통신연구원이 개발한 통신방송위성 기술인증모델 성능에 대한 검증자료로 사용되었으며, 최종적으로 국내 위성 탑재체 기술의 상용 및 실용화를 위한 설계 및 검증자료로서 충분한 활용가치가 있을 것으로 확신한다.

표 1. Ku 대역 중계기 서브시스템 다중경로 분석결과

| CH 2 Offset [MHz] | CH 4 Offset [MHz] | OMUX REJ [dB] | IMUX REJ [dB] | TOTAL REJ [dB] | $X = 10^{\frac{R_f}{20}}$ | GR [dB _{p-p}] | GDR [ns _{p-p}] |
|-------------------|-------------------|---------------|---------------|----------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 18.0 | -22.0 | -29.355 | -10.282815 | 29.637815 | 0.03296926 | 0.57294241 | 8.19307651 |
| 16.0 | -24.0 | -30.193 | -25.477885 | 45.670385 | 0.00520572 | 0.09043343 | 1.29319803 |
| 14.0 | -26.0 | -25.043 | -45.129101 | 60.171601 | 0.00098044 | 0.01703195 | 0.24355691 |
| 12.0 | -28.0 | -24.255 | -56.028098 | 70.283098 | 0.00030609 | 0.00531728 | 0.07603708 |
| 10.0 | -30.0 | -25.005 | -55.128574 | 70.133574 | 0.00031140 | 0.00540961 | 0.07735737 |
| 8.0 | -32.0 | -25.755 | -60.019303 | 75.774303 | 0.00016266 | 0.00282572 | 0.04040780 |
| 6.0 | -34.0 | -26.355 | -69.577361 | 85.932361 | 0.00005051 | 0.00087746 | 0.01254765 |
| 0.0 | -40.0 | -29.855 | -65.830229 | 85.685229 | 0.00005197 | 0.00090278 | 0.01290978 |

표 2. 다중경로를 고려한 채널 주파수응답 요구 값

| Parameter | In-band | | | |
|--|---------|------|------|------|
| | ± 12 | ± 14 | ± 16 | ± 18 |
| Frequency offset from Channel Center [MHz] | | | | |
| Overall Gain Variation [dB] | 1.1 | 1.5 | 2.3 | 6.1 |

표 3. 다중경로를 고려한 채널 군지연 요구 값

| $f_c \pm$ Offset [MHz] | 0 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
|-----------------------------|-----|-----|------|----|----|----|----|-----|
| Overall Ch Group Delay [ns] | 2.4 | 8.0 | 10.5 | 15 | 22 | 30 | 54 | 140 |

참고문헌

- [1] COMTEC EF DATA Corporation Application Note, "SDM-9000 Adjacent Carrier Performance", July 26 2000.
- [2] Communications & Broadcasting Satellite(CBS) Ku-band Transponder Subsystem Specification Ver. D, ETRI, Nov., 2002.