

비행 데이터를 이용한 누리호 시험발사 동적링크 분석

김 동 현[°], 권 순 호^{*}, 김 춘 원^{*},
한 정 우^{*}, 최 용 태^{*}, 김 기 만^{**}

Dynamic Link Analysis of Nuri Test Launch Vehicle Using the Flight Data

DongHyun Kim[°], SoonHo Kwon^{*},
ChunWon Kim^{*}, JeongWoo Han^{*},
YongTae Choi^{*}, KiMan Kim^{**}

요 약

본 논문에서는 누리호 시험발사체 발사시 지상국에서 획득한 원격자료(telemetry) 데이터를 이용하여 지상국 시선 cone 및 clock 각도를 정의하고, 탑재체 송신안테나의 방사패턴에서 자세 변화에 따른 이득변화와 발사체와 지상국간 거리 변화에 따른 공간손실을 반영해 지상국 예상 수신레벨을 계산하였다. 이를 지상국의 실 수신신호와 비교하여 동적링크를 분석하였다.

Key Words : Telemetry, Ground Station, Test Launch Vehicle, TLV, Dynamic Link

ABSTRACT

In this letter we defined cone, clock angle of Nuri Test Launch Vehicle(TLV) from the point of view of ground station using the telemetry data, and calculated the expected level from the radiation pattern of on-board Tx. antenna to reflect the gain changes by the attitude of TLV and space loss. We analyzed the dynamic link with comparing actual received level at the ground stations.

I. 서 론

일반적으로 발사체 발사시 안테나의 지향 고각이 낮아 지형지물에 의해 멀티패스 영향을 받는 발사초기 구간 및 임무중료구간을 제외하고, 지상국에서 원격 자료신호를 수신할 때 가장 큰 영향을 미치는 것은 발사체 자세에 따라 변화되는 탑재체 송신안테나의 패턴과 전파경로상의 페이딩 현상이다.^[1,2]

나로우주센터에서 운영 중인 원격자료 지상국 안테나는 높은 추적 정확도와 좁은 빔폭을 가진 모노펄스 방식의 자동추적 안테나이다. 이 경우 발사체가 일정 고도 이상이 되면 안테나에서는 멀티패스의 영향을 거의 받지 않는 고각이 확보되고 탑재체 송신안테나 방사패턴에 따른 이득 값의 변화가 동적링크 품질에 주된 영향을 미치게 된다.^[2]

탑재체 송신안테나의 실시간 이득 특성 등을 반영한 동적링크 분석 방법은 정적 분석보다 훨씬 정확하게 동적링크를 분석할 수 있으나 발사 궤적 전체에 대한 발사체 자세, 경사도, 탑재체 송신안테나 방사패턴, 통신기법 및 지상국 특성 등의 정보를 반영해 계산해야 하므로 사전 예측에 어려움이 있다.

본 논문에서는 누리호 시험발사체 발사시 고히 및 제주에 배치된 지상국의 특성에 대해 기술하고 획득된 원격자료를 이용하여 지상국 시선에서 발사체 자세에 따른 탑재 안테나의 이득을 계산, 지상국 예상 수신레벨을 구하고 이를 실 수신신호와 비교하여 TLV와 지상국간 동적링크를 분석하였다.

II. 본 론

2.1 지상국 특성 및 통신링크

제주에서 운용된 지상국은 모노펄스(monopulse) 추적 방식의 11m 대형 파라볼라 안테나로 S밴드 수신, 안테나 이득 45dBi, 3dB 빔폭 $\pm 0.42^\circ$, 추적정확도 0.05° 의 특성을 가지며 좌/우원형편파(Left/Right Hand Circular Polarization) 신호를 수신해 편파다이버시티 기법으로 신호를 결합한다.^[1]

고흥에서 운용된 지상국은 이동형 4.6m 파라볼라 안테나로 제주 지상국과 동일한 모노펄스 추적 방식이며 S밴드 수신, 안테나 이득 39dBi, 3dB 빔폭

[°] First and Corresponding Author : Korea Aerospace Research Institute, mattew@kari.re.kr, 정희원

^{*} Korea Aerospace Research Institute, kwonsho@kari.re.kr, 정희원; chunwon@kari.re.kr; hjw1002@kari.re.kr; cytcom@kari.re.kr, 정희원

^{**} Korea Maritime and Ocean University, kimkim@kmou.ac.kr, 정희원

논문번호 : 201906-106-D-LU, Received June 11, 2019; Revised June 17, 2019; Accepted June 26, 2019

± 0.84 도, 추적정확도 0.2도의 특성을 가지고 동일한 편파다이버시티 기법으로 신호를 결합한다.

지상국 예상 수신레벨은 송신기 출력, 안테나 이득 및 거리에 따른 공간손실을 반영하여 계산하며 동적링크 마진 계산은 수신기의 IF 대역폭 설정에 따른 잡음이 고려된다.^[3] 일반적으로 발사체와 지상국간 거리는 약 2000km 이상의 장거리이나 급변 TLV 궤적은 제주 남동쪽 방향, 최대 거리 약 400km로 각 지상국에서 충분한 링크마진이 확보 가능하였다.

2.2 탑재체 원격자료 신호송신 특성

TLV 탑재체 원격자료 송신부는 발사체 동체 표면을 따라 180도 대칭하여 두 개의 안테나가 장착되고 단일 송신기를 이용해 송신하는 방식으로 구성되었으며 이는 신호를 전 방향으로 방사하기 위해 일반적으로 사용하는 방식이다. 이때 요구되는 일반적인 안테나 패턴은 전 방향성인데 이것은 지상국 배치 위치와 상관없이 원격자료 신호를 안정적으로 수신하기 위함이다.^[4]

그림 1은 $\pm y$ 축에 배치된 TLV 탑재체 원격자료 송신 안테나에 대한 3-D 방사 패턴이다. 장착된 역-F 블레이드 타입 안테나는 선형편파(수직 및 수평) 특성 및 전방향성 특성을 가지고 있는데 위 방사 패턴은 단일소자 패턴을 직경 2.6m, 높이 0.8m 서브스케일 모델로 시뮬레이션한 데이터로 작성되었다. 발사체 동체를 따라 설치된 두개의 안테나로 부터 방사된 패턴은 롤 평면에서 널(null)을 만들게 되는데 특히 진폭은 같고 위상이 반대인 신호가 결합되는 경우 매우 큰 널을 생성하게 되며 지상국에서 이를 지향할 경우 신호 품질이 저하되고 신호 추적에 실패할 수 있으므로 동적링크 설계시 반드시 고려되어야 한다.

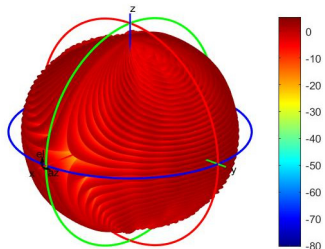


그림 1. TLV 탑재체 원격자료 송신 안테나 3-D 방사패턴
Fig. 1. 3-D radiation pattern of TLV on-board telemetry Tx antenna

2.3 동적링크 분석 및 실 수신신호 비교

그림 2는 제주 지상국에서 TLV 발사임무시 수신

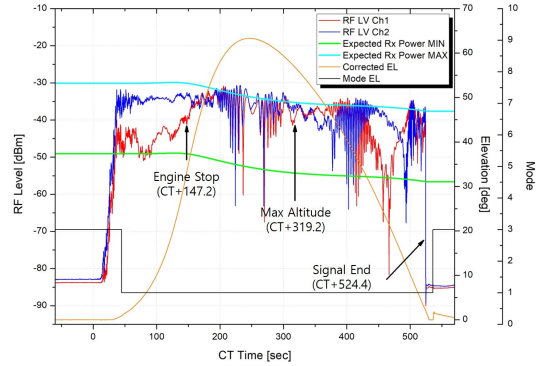


그림 2. 제주 지상국의 원격자료 신호 수신레벨
Fig. 2. JEU G.S. telemetry signal receiving level

한 신호 수신레벨, 안테나 운용 고각, 그리고 지상국 특성과 거리에 따른 공간손실을 반영한 정적링크 예상 수신레벨을 나타낸다. 여기서 채널 1과 2는 좌/우 원형편파 신호이며 안테나 모드가 1인 경우 모노펄스 자동추적으로 운용되었음을 나타낸다. 또한 정적링크 예상 수신레벨 계산을 위해 적용한 탑재체 EIRP는 최소 26dBm, 최대 45dBm을 적용해 계산되었다. 이때 제주 지상국의 경우 발사초기에는 가시선 미확보로 신호를 수신하지 못하다가 발사 46초 이후에 신호를 정상 수신하였고 모노펄스 자동추적으로 전환하였다.

그림 3은 원격자료 pitch, yaw, roll 데이터를 이용하여 안테나 패턴 좌표계 변환을 통해 지상국에서 발사체를 바라보는 cone 및 clock 각도를 나타낸 것이다. 발사체 엔진정지(CT+ 147.2s)까지는 cone 및 clock 각도의 변화가 거의 없으나 이후 관성비행 및 자유 낙하 구간에서 큰 변화가 있음을 볼 수 있다. 이는 그림 2의 수신레벨 변화에서 해당 시점 이후 매우 큰 페이딩이 나타나는 것이 발사체 자세의 급격한 변

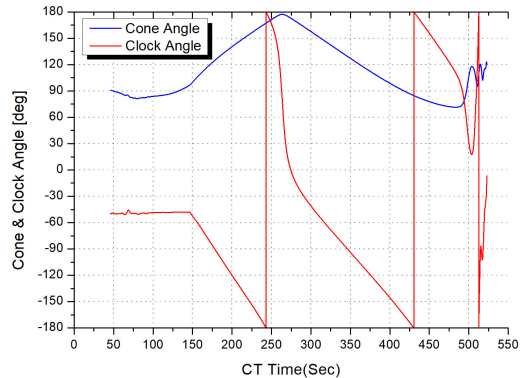


그림 3. 제주 지상국의 TLV cone 및 clock 각도
Fig. 3. TLV cone and clock angle of JEU G.S.

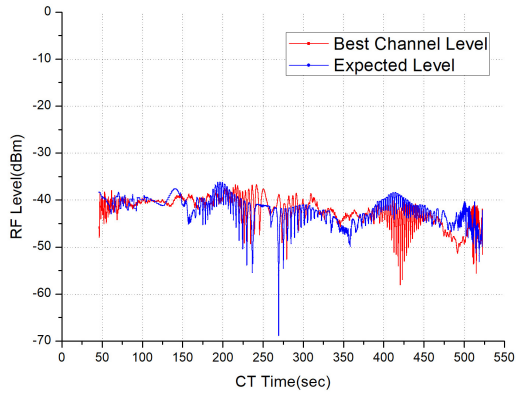


그림 4. 제주 지상국의 예상 수신레벨과 최적 수신레벨
Fig. 4. Expected receiving level & best channel level of JEJU G.S.

화로 인한 것임을 설명한다.

그림 4는 제주 지상국의 cone 및 clock 각도 값을 이용해 해당 시점의 탑재체 안테나 방사패턴에서 이득 변화 정보를 추출하고 발사체와 지상국간 거리 변화에 따른 공간 손실을 반영하여 제주 지상국에서의 예상 수신레벨을 분석한 것이다.

위 그림의 예상 수신레벨을 그림 2와 비교해 볼 때 동적 링크로 분석한 것이 실제 수신레벨 변화를 보다 적극적으로 반영해 유사한 패턴을 보이는 것을 확인할 수 있다. 여기서 최적 채널레벨(Best channel level)은 모노펄스 추적 특성상 좌/우원형편파 중 보다 큰 값을 선택하게 되므로 해당 시점의 최대 채널레벨을 나타낸 것이며 예상 수신레벨은 안테나의 3dB 빔폭을 고려, 해당 영역에서 이득이 가장 큰 값을 선택하여

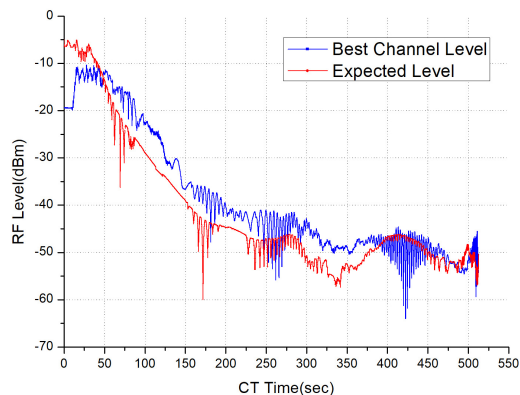


그림 5. 고흥 지상국의 예상 수신레벨과 최적 수신레벨
Fig. 5. Expected receiving level & best channel level of GOHEUNG G.S.

나타내었다. 그림 5는 고흥 지상국에 대해 동일하게 분석한 그림이다.

예상 수신레벨은 실제 수신레벨인 최적 수신레벨과 대체로 유사한 패턴을 가지지만 다소 차이를 갖는데 이는 계산에 사용한 안테나 이득 패턴이 실제 발사체 모델의 이득측정 패턴을 기준으로 계산 것이 아닌 서브스케일 모델로 시뮬레이션한 것을 사용한 점과 안테나 장착 위치, 접지면의 크기, 재질, 도색 성분, 주변 구조물 등에 따른 전계 세기 및 위상이 일부 반영되지 못한 결과인 것으로 판단된다.

III. 결 론

본 논문에서는 누리호 원격측정 데이터를 이용해 발사체와 지상국간 동적링크를 계산하고 실 수신 신호와 비교하여 이를 분석하였다. 보다 정확한 분석을 위해서는 실제 발사체에 안테나 장착 후 측정된 방사패턴과 선형편파 송신신호를 원형편파로 수신할 때의 전파 특성 해석이 추가로 필요하다. 해당 분석 결과는 추후 누리호(한국형 발사체) 발사임무 수행시 지상국 배치 및 운영 계획 수립에 활용될 예정이다.

References

- [1] D. H. Kim, J. W. Han, S. H. Kwon, C. W. Kim, G. S. Kim, and Y. T. Choi, "Performance analysis of polarization diversity combining technique in multipass channel environment of NARO space center," in *Proc. KIEES*, vol. 28, no. 1, Nov. 2018.
- [2] S. H. Kwon, S. I. Lee, J. A. Ma, S. K. Kim, S. H. Lee, D. H. Kim, and C. Y. Oh, "Analysis on radiation pattern of the on-board telemetry antenna by using the 3rd flight data of KSLV-I," in *Proc. KICS*, vol. 51, pp. 778-779, Jun. 2013.
- [3] IRIG Std. 119-06, *Telemetry Application Handbook*, RCC, 2006.
- [4] S. W. Kim, S. S. Hwang, and J. D. Lee, "Dynamic RF link estimation for telemetry system of launch vehicle, KSLV-I," in *Proc. Int. Telemetry Conf.*, vol. 41, Oct. 2005.