

도플러 레이더의 트랜스폰더를 이용한 사거리 정확도 분석

박두진 · 노영환

한국항공우주연구원 나로우주센터

Analysis of Slant Range Accuracy Using The Transponder of Doppler Radar

Doo-jin Park · Young-hwan Noh

Korea Aerospace Research Institute Naro Space Center University

E-mail : djpark@kari.re.kr / nyh@kari.re.kr

요 약

나로우주센터에서는 우주발사체 및 경비행기의 사거리(slant range)를 측정하기 위해서 전자광학추적 장비에 MFCW (Multi Frequency Continuous Wave) 거리측정 도플러 레이더를 탑재하여 운용하였다. 본 논문에서는 레이저광파 거리측정장비에서 정확히 측정된 사거리 측정값과 도플러 레이더의 트랜스폰더를 사용하여 측정된 사거리 측정값 차이를 비교분석하고 사거리 정확도를 기술하였다.

ABSTRACT

MF-CW(Multi-Frequency Continuous Wave)operated on Electro-Optical Tracking System to measure slant range of space launch vehicle and aircraft at Naro Space Center. In this paper, we compared and analyzed the difference exactly measured slant range using the laser lightwave range measuring equipment with measured on the transponder and described the accuracy of slant range.

키워드

MF-CW doppler radar, Laser lightwave range measuring equipment, Transponder

I. 서 론

나로우주센터 광학추적장비의 MFCW 거리측정 도플러 레이더는 우주발사체 및 경비행기의 사거리 측정을 위해서 사용된다. MFCW 거리측정 도플러 레이더의 사거리 측정 정확도를 확인하기 위해서 레이저 광파 거리측정장비(모델: Trimble 5503 DR 200)를 사용하여 광학추적장비 설치위치에서 발사대 주변 기준측량 지점까지 정확히 측정된 사거리를 기준하였다. 본 논문에서는 도플러 레이더의 트랜스폰더를 사용하여 측정한 사거리 측정값과 레이저 광파 거리측정장비에서 측정한 사거리 측정값을 비교분석하고 사거리 정확도를 기술하였다.

II. 레이저 광파 거리측정장비 특성 및 도플러 레이더의 트랜스폰더 특성

레이저광파 거리측정장비는 내부에 적외선 레이저 다이오드 소자를 이용한다. 레이저 송신기에서 방출된 광파는 고정프리즘에서 반사되고, 수신기로 입사된 광파의 위상차에 따라 사거리를 측정한다. 파장과 빔 수렴범위는 850nm (적외선) 및 0.4×0.8mrad 이며, 거리 측정오차는 ±2mm 이다. MFCW 거리측정 도플러 레이더의 송신주파수가 10.530GHz 일 때, 도플러 레이더의 트랜스폰더 주파수는 32.768 KHz이며, 고정된 트랜스폰더 위치에서 시선속도(radial velocity)는 466.2m/sec로 검출된다. 아래그림1은 트랜스폰더 구성도이며, 그림2는 트랜스폰더 시선속도 스펙트럼 이다. [1],[2]

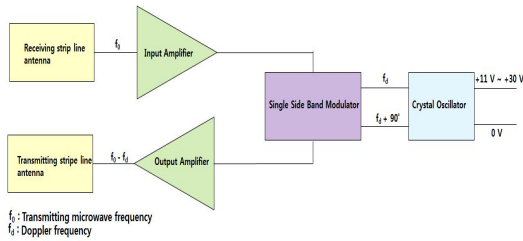


그림 1. 도플러 레이더의 트랜스폰더 구성도

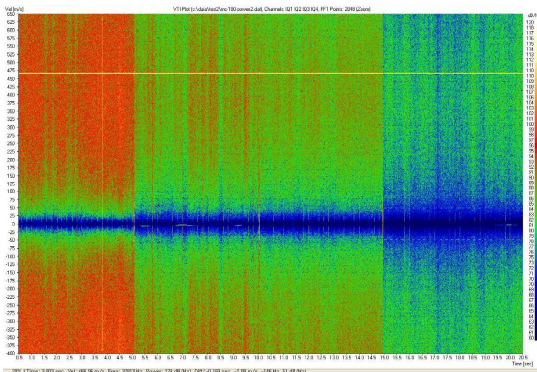


그림 2. 트랜스폰더 시선속도 스펙트럼

도플러 레이더의 트랜스폰더 기본사양은 아래 표 1과 같다.

표 1. 도플러 레이더의 트랜스폰더 사양

항목	사양
Antenna gain	20 dBi
Antenna beamwidth	H: 18°, V: 8°
Receiver noise figure	< 2 dB
Polarization	Horizontal
Input voltage	11V ~ 30V

III. 도플러 레이더의 트랜스폰더를 이용한 사거리 측정방법 및 측정결과

광학측정장비에 탑재된 도플러 레이더 위치로부터 레이저 광파 거리측정장비를 사용하여 1,564m ±2mm로 정확히 측량된 지점에 트랜스폰더를 설치한 후, MFCW 도플러 레이더에서 두 개의 연속적인 지속파를 트랜스폰더를 향해 방사 한다. 반사된 신호가 레이더 수신기에서 도플러신호에 대한 위상 차이를 비교하여 FFT 디지털 신호처리를 통해 사거리를 산출한다. 도플러 레이더의 사거리 관련식은 아래 (1)와 같다.[3]

$$R(\text{Slant range}) = \frac{\theta}{4\pi} \times \frac{c}{\Delta f} \dots\dots\dots(1)$$

여기서 Δf는 두 개의 마이크로파 송신주파수 차이이며, θ는 두 개의 수신기 사이 상대적인 위상차이다. 또한 MFCW 도플러 레이더의 이론적인 사거리 정확도 관련식은 아래(2)와 같다.

$$\sigma(R) = \frac{c}{4\pi \times \Delta f \times \sqrt{SNR}} \dots\dots\dots(2)$$

여기서 c는 빛의 속도이며, SNR은 신호대 잡음비이다. 두 개의 마이크로파 송신주파수 차이 및 신호대 잡음비가 클수록 사거리 정확도는 증가한다. 마이크로파 송신주파수(Δf)차이가 1.75 MHz이고, 신호대 잡음비(SNR)가 30dB 일 때, 이론적인 사거리 정확도는 0.43m 이다. 아래표1은 사거리 측정을 위한 MFCW 도플러레이더의 설정조건이다.

표 2. MFCW 도플러 레이더 설정 조건

항목	설정조건
FFT	2048
Observation time	31.2 ms
Sampling rate	15.2 μs
Power level	20 W ~ 60 W
Range frequency	1.75 MHz
Transmitting frequency	10.53 GHz

레이저 광파 거리측정장비에서 측정된 사거리 측정값과 도플러 레이더의 트랜스폰더를 이용하여 측정된 사거리 평균 측정값 및 측정장비 간 사거리 차이를 아래표 3에서 언급하였다. 또한 MFCW 도플러 레이더의 이론적 사거리 정확도와 측정값에 대한 정확도 차이는 0.02m이었다.

표 3. 사거리 평균 측정값 및 차이

측정장비	측정값(m)	차이(m)
레이저 광파측정장비	1564.064	0.409
레이더 트랜스폰더	1564.473	

MFCW 도플러 레이더의 트랜스폰더로부터 20초간 송출된 마이크로파 도플러신호를 레이더 수신기에서 도플러신호 위상차를 비교하여 측정된 사거리 평균은 1564.473m 이며, 신호대 잡음비(SNR)는 30.4 dB 이었다. 아래그림 3은 도플러 레이더의 트랜스폰더를 이용한 사거리 측정 그래프이며, 아래그림4는 신호대 잡음비 측정 그래프이다.

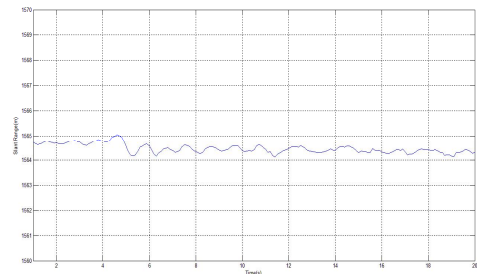


그림 3. 트랜스폰더를 이용한 사거리

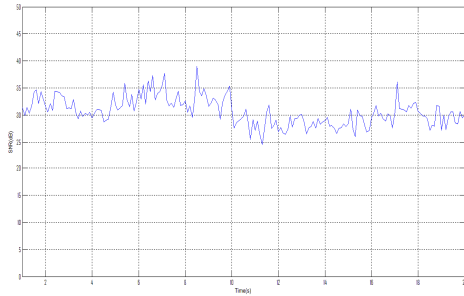


그림 4. 신호대 잡음비(SNR)

IV. 결론 및 향후계획

위에서 레이저 광파 거리측정장비의 특성 및 도플러 레이더의 트랜스폰더 특성을 언급하였다. 또한 도플러 레이더의 트랜스폰더를 이용한 사거리 측정방법 및 레이저 광파 거리측정장비에서 정확히 측정된 사거리 측정값과 MFCW 도플러 레이더의 트랜스폰더를 이용한 사거리 평균 측정값 차이 및 정확도 차이를 비교분석 하였다. 향후 MFCW 도플러 레이더에서 측정한 사거리 측정값과 FMCW 도플러 레이더에서 측정한 사거리 측정값을 비교분석 할 계획이다.

References

- [1] Trimble.com, "Trimble 5600 Series User Guide," pp. 5-7, 2005.
- [2] Weibel Scientific, "MC-100 Device Manual," pp. 29-30, 2006.
- [3] Weibel Scientific, "Ranging Radar System Setup & Maintenance Manual," pp.15-20, 2005.