Journal of the KIMST, Vol. 23, No. 1, pp. 59-65, 2020
ISSN 1598-9127(print), 2636-0640(online)
DOI https://doi.org/10.9766/KIMST.2020.23.1.059

Research Paper 정보 · 통신 부문

X-band 입사파 환경에서 안테나 송신 신호 on/off에 대한 RCS(Radar Cross Section) 성능에 관한 연구

정은태*,1) · 박진우1) · 유병길1) · 김영담2) · 김기철2) · 서종우2)

1) 한화시스템㈜ 지휘통제·통신 연구소
2) 국방과학연구소 제2기술연구본부

A Study on RCS(Radar Cross Section) Performance with Antenna Transmit Signal on/off in the X-band Incident Wave Environment

Euntae Jung*,1) · Jinwoo Park1) · Byunggil Yu1) · Youngdam Kim2) · Kichul Kim2) · Jongwoo Seo2)

1) *The C2 · Comm. R&D Center, Hanwha Systems, Korea*
2) *The 2nd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea*

(Received 26 August 2019 / Revised 8 January 2020 / Accepted 17 January 2020)

ABSTRACT

Many technologies are being studied to reduce the RCS(Radar Cross Section) of stealth aircraft. Most RCS-reduction technlogies correspond to platforms. It is important to identify factors that RCS performance through simulation analysis of aircraft Mounted equipment. In particular, there are no studies of RCS performance in the radar frequency band when antenna transmit signals are applied. In this paper, the RCS performance variation on the transmit signal on/off of antennas mounted on a stealth aircraft was verified. Antennas were selected for each frequency band and simulated analysis to the RCS performance changes during antenna transmitting signal. Finally, to verify the characteristics of the change in RCS performance, RCS test measurements on the low-profile antenna transmit signal on/off were performed. In addintion, antenna RCS test measurement was performed according to the change of transmit signal power output. As a result, it was confirmed that there is no change in RCS performance when an antenna transmit signal is applied.

Key Words : Radar Cross Section(레이더 반사 면적), Antenna Transmit Signal(안테나 송신 신호)

1. 서 론

레이더 반사 면적(Radar Cross Section, RCS)은 표적으로부터 오는 에코(echo) 전력과 거리와의 관계를 표시한 레이더 방정식에 포함되어, 레이더에서 전송된 입사파(Incident wave) 신호가 목표물의 표면에 부딪쳐 반사되어 되돌아오는 미약한 신호의 양을 평면적의

* Corresponding author, E-mail: euntae.jung@hanwha.com
Copyright ⓒ The Korea Institute of Military Science and Technology

단위로 나타낸 것이다. 이와 같이 표적에서 반사된 에너지는 송신파장, 표적과의 기하학적 거리, 안테나 방위, 표적의 상태와 반사율 그리고 주위환경 등과 같은 많은 매개변수에 의해서 달라지고 밀접한 관계가 있어 목표 대상물에 대한 탐지 확률에 영향을 준다[1]. 이러한 RCS 특성을 고려하여 설계된 스텔스 비행체는 정찰 및 감시, 공격에 대한 임무를 수행하며 적에 대한 생존성 확보를 위해 추가적인 RCS 저감 연구가 활발히 이루어지고 있다[2,3]. 대표적으로 사용되는 중요한 RCS 저감 기술은 레이더 신호의 반사를 변형시키는 형상적인 변경과 대상물 외부에 칠하거나 추가하는 방식으로 반사된 레이더 신호를 감소하는 방식인 전파흡수재(Radar Absorbing Material, RAM)[4-6], 전파흡수구조(Radar Absorbing Structure, RAS)[7,8] 등이 있다. 이와 같은 RCS 저감 기술은 스텔스 비행체의 플랫폼에 해당한다. 비행체에 탑재되는 장비들 자체에 대한 분석을 통해 RCS 성능에 영향을 미치는 요소에 대해서 추가적인 검토가 필요하다. 특히 비행체에 탑재되는 안테나들에 대해서 송신 신호를 인가할 시 레이더 주파수 대역의 RCS 성능에 관한 연구 사례가 없어 이에 대한 분석 및 검증이 매우 중요하다. 본 논문에서는 안테나 송신 신호에 대한 RCS 성능변화를 검증하기 위해 해당 주파수 대역 별로 안테나를 선정하여 시뮬레이션 분석을 진행하였다. 안테나 송신 신호에 대한 RCS 분석 결과를 바탕으로 RCS 시험 측정을 통하여 영향성을 검증 하였으며, 추가적으로 송신 신호의 파워 출력 변화에 따른 RCS 성능 검증도 진행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 레이더 반사 면적에 대한 정의 및 특성과 안테나 송신 신호에 대한 RCS 영향 분석에 대해 설명한다. 3장에서는 안테나 송신 신호에 대한 성능검증을 위해 안테나 시험 측정을 자세히 설명한다. 마지막으로 4장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 안테나 RCS 영향 분석

2.1 레이더 반사 면적(Radar Cross Section)

레이더의 입사파(Incident Wave)가 목표물을 맞고 반사 및 산란(Scattering)되어 돌아올 때의 그 크기를 나타내기 위해 RCS가 적용된 레이더 방적식이 사용된다. 목표물에 반사된 신호가 수신기로 수신된 전력은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다[1].

$$P_r = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi R^2} \tag{1}$$

여기서 P_r은 수신된 전력이고, P_t는 레이더에서 송신한 전력, G는 안테나 이득, σ는 RCS, R은 레이더로부터 목표물까지의 거리를 나타낸다. 이를 이용해 전자기파 산란의 함수로 RCS를 식 (2)와 같이 구할 수 있다[1].

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{|E_r|^2}{|E_t|^2} \tag{2}$$

$$\sigma\,[dBsm] = 10\log_{10}\left[\frac{\sigma\,[m^2]}{1m^2}\right] \tag{3}$$

여기서 E_r는 수신 신호의 전기장의 세기, E_t는 송신 신호의 전기장의 세기에 해당하며 각각의 전기장 세기는 전계강도(Electric Strength)를 의미한다. 식 (2)는 해당 목표물로부터 반사된 산란파가 전 방향으로 균등하게 산란되는 것으로 가정한다. RCS는 전자기파가 목표물에 반사된 순간 레이더로부터 입사된 신호와 반사된 신호의 세기를 수치화환 형태이며, 단위는 면적으로 나타낸다. 레이더 반사 면적의 단위는 m^2이며 식 (3)과 같이 데시벨(dBsm)로 사용하는 것이 일반적이다[9].

2.2 안테나 송신 신호 On/Off에 대한 RCS 분석

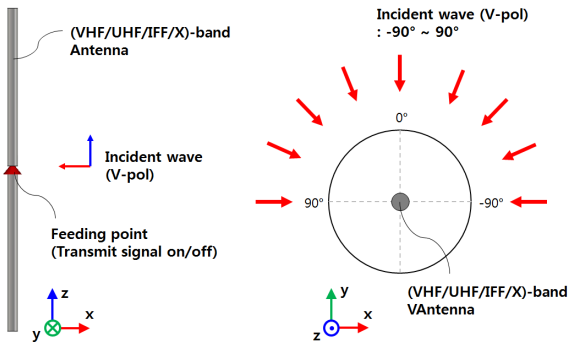

Fig. 1. Concept of RCS analysis for antenna transmit signal on/off

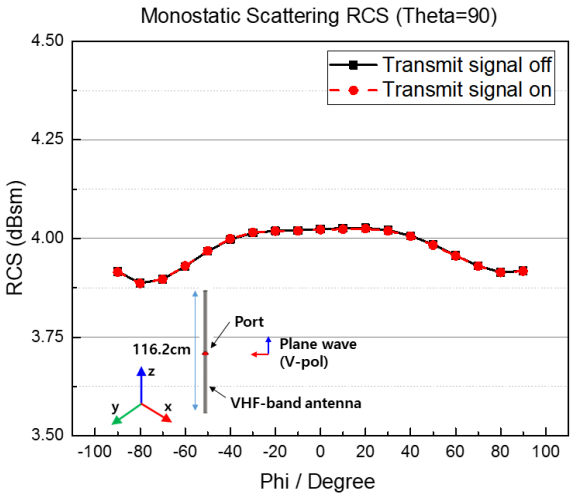

Fig. 2. Comparison of simulated RCS result with VHF-band antenna transmit signal on/off

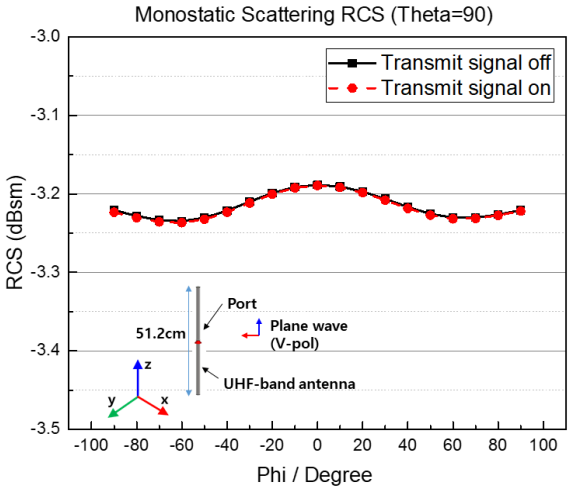

Fig. 3. Comparison of simulated RCS result with UHF-band antenna transmit signal on/off

안테나 송신 신호 on/off에 대한 RCS 영향 M&S (Modeling And Simulation) 분석을 위해 주파수 대역별로 안테나를 선정하여 사전 분석을 진행하였다. 분석을 위한 안테나들은 다이폴 형태의 구조이며, VHF/UHF/IFF/X 대역에 해당한다. Fig. 1은 안테나 송신 신호 on/off에 대한 RCS 분석 개념도를 나타낸다. 레이더 입사파(Incident wave)는 안테나의 전방향 부분인 중앙 급전부를 중심으로 -90°~90°에 인가하도록 설정하였으며 상세한 RCS 분석 조건은 Monostatic 방식이며 X 대역(10 GHz)의 레이더 입사파를 수직편파로 설정하였다. 안테나를 동작시키는 조건은 EM 해석 툴에서 Icident wave port와 안테나 급전 port를 동시에 인가하도록 적용하였으며, 안테나 급전 port의 생성 여부에 따라 송신 신호 on/off를 동작하도록 설정하였다. 이러한 설정 근거를 토대로 Fig. 2~5에 안테나 송신 신호 on/off에 대한 RCS 영향 비교분석 결과로써, Dassault systemes의 CST STUDIO SUITE 2016 분석 툴을 이용하였다.

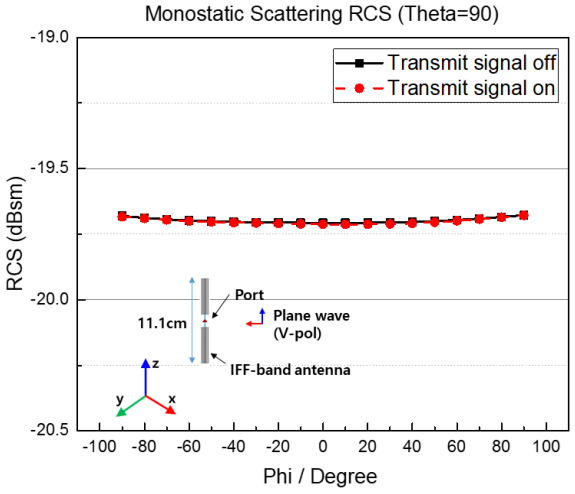

Fig. 4. Comparison of simulated RCS result with IFF-band antenna transmit signal on/off

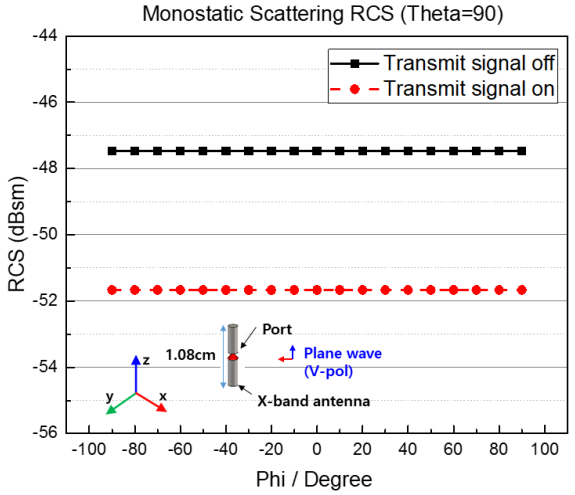

Fig. 5. Comparison of simulated RCS result with X-band antenna transmit signal on/off

VHF/UHF/IFF-band의 안테나 RCS 분석 비교 결과를 Fig. 2~3에서 확인할 수 있다. 분석 결과를 바탕으로 안테나 송신 on과 off 했을 경우 RCS 성능에 차이가 없는 결과를 확인할 수 있다. 즉, 레이더 주파수인 X 대역에 RCS 영향이 없음을 의미한다.

X-band 안테나를 송신 on과 off 했을 경우 Fig. 5와 같이 RCS 비교결과 약 4 dBsm 차이가 발생하였다. RCS 성능 차이는 레이더 입사파의 주파수와 안테나 동작 주파수가 동일하기 때문에 서로간의 간섭 영향을 주는 것으로 판단된다. 레이더 주파수인 X 대역에서 안테나 송신 신호 on/off 경우 RCS 성능에 영향이 있음을 확인할 수 있다.

3. 안테나 시험 측정

3.1 Low profile 안테나 형상

안테나 형상에 대해서는 M&S 분석을 통해 설계를 진행한 후 제작을 통해 검증을 반영한 설계 형상이다. Fig. 6은 UHF 대역의 low profile 안테나 형상을 보여주며 안테나 크기는 가로 1027 mm, 세로 900 mm, 높이 50 mm에 해당한다. 안테나 형상은 그라운드 외곽 벽면 구조를 가지는 인입형 구조이며, 그라운드 재질은 카본(CFRP)에 메쉬 그물망을 부착한 구조로 이루어져 있다. 레이돔 형상 및 구조에 대해서는 가장 자리 부분에서 RCS Scattering(산란) 영향을 줄일 수 있도록 Saw-tooth 형상의 평면형 구조로 설계되었다.

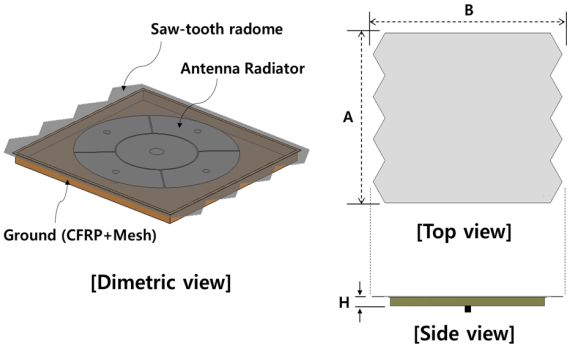

Fig. 6. Geometry of low profile antenna

3.2 안테나 전기적 성능 시험 측정

안테나의 전기적 특성을 만족한 상태에서 RCS 시험 측정을 진행해야 되기 때문에 안테나 정재파비와 이득 그리고 방사패턴 성능 측정을 진행하였다.

Fig. 7은 안테나의 전기적 성능을 확인할 수 있는 시험 구성을 나타낸다. 시험구성은 필드조건에 만족하도록 source 안테나와 low-profile 안테나가 서로 이격되어 있으며 안테나의 E-plane을 측정하기 위해 수직으로 설치하여 시험을 진행하였다. low-profile 안테나의 전기적 성능에 대한 상세한 결과는 Fig. 8~9에서 확인할 수 있다.

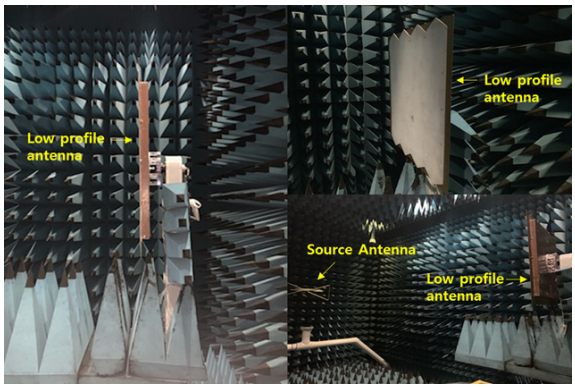

Fig. 7. Antenna electrical performance test configuration

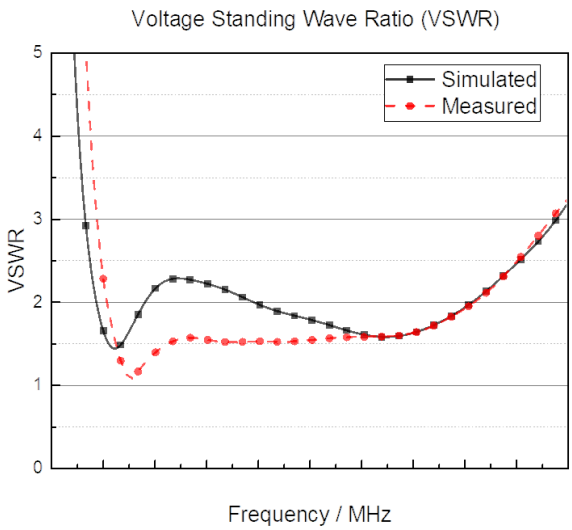

Fig. 8. Measured VSWR result of low profile antenna

Fig. 8은 low profile 안테나의 전기적 특성인 정재파비 측정 결과를 보여준다. UHF 대역인 F1~F3(MHz)에서 3.5:1 이하의 성능을 나타내었다. 그리고 안테나 이

득 및 방사패턴 측정 결과는 Fig. 9과 같다. Fig. 9에서와 같이 방사패턴의 0°, 180°에 null이 형성되며, 단일 평면(수평면 90°, -90° 방향) 상에서 전방향으로 방사되는 특성을 확인하였다. 측정 결과를 바탕으로 안테나 이득은 해당 주파수 대역 모두 규격 성능을 만족하였으며 방사패턴 성능은 F1~F3 대역 모두 전방향성 방사패턴 성능을 나타내었다. 이와 같이 전기적 성능을 만족한 상태로 안테나 RCS 시험 측정을 진행하였다.

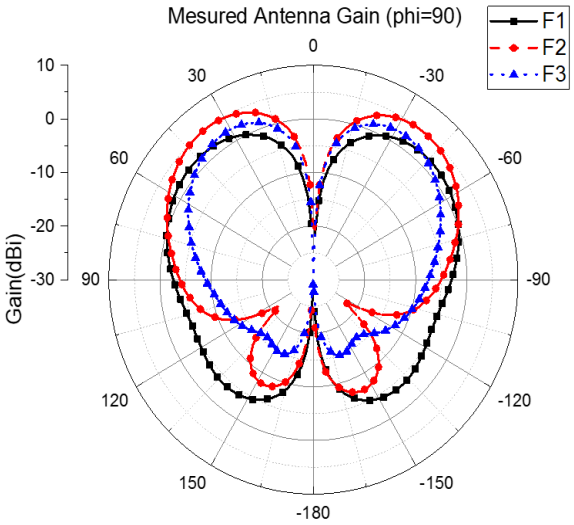

Fig. 9. Measured Radiation patterns result of low profile antenna

3.3 RCS 시험 측정

안테나 RCS 시험은 측정 결과의 신뢰성을 위해 국방과학연구소 항공시험장 중형 무반향 챔버에서 시험을 진행하였다. 안테나 RCS 시험을 위한 측정 조건은 입사파를 saw-tooth 레이돔 방향으로 신호가 진행하도록 안테나를 설치하였고 Fig. 10과 같이 안테나 RCS 시험을 위한 측정 환경을 구성하였다. RCS 측정값의 신뢰성을 위하여 표준 측정안테나의 설치 상태 및 주변 구조물(Radar fence, 케이블 등)에 의해 발생하는 반사신호 혹은 구조물 간의 간섭이 발생할 수 있어 주변 환경을 고려하여 Calibration을 수행하였다. Calibration 적용 후 UHF 안테나 설치 및 예비시험을 진행하여 이상이 없음을 확인 후 RCS 시험 측정을 진행하였다. 표준 측정안테나와 UHF 안테나 거리는 18 m이며, 측정 높이는 레이돔 기준으로 2.95 m이다. 시험 파형 및 주파수는 CW의 10 GHz로 편파에 대한 측정은 VV (vertical-vertical, HH(horizontal-horizontal) 편파를 설정하여 진행하였다. RCS를 위한 상세한 시험 및 설치조건은 스트리폼 지그를 이용하여 안테나를 지지한 상태로 안테나 커넥터 주변은 흡수재를 설치하였다. 항공기와 연결되는 인터페이스에서 반사 신호를 최소화를 위해 안테나 측면부에 흡수재를 설치하였고 스트리폼 지그에 대한 반사 신호 최소화를 위해 전방 Radar fence를 설치하였다. 또한 안테나 송신 출력을 위한 장비(signal generator, power amp)도 Radar fence에 숨겨 반사 신호 최소화를 유지한 상태로 시험 측정을 진행하였다.

RCS 시험 측정에 대한 항목 및 범위는 Table 1과 같다. 시험 항목은 RCS 1~5까지 송신 off에서 최대출력 46 dBm까지 범위를 지정하였다. 측정에 대한 고각은 안테나의 정면인 0°에서 방위각은 -10°~10°이며 편파는 VV, HH 시험 조건으로 설정하였다. RCS 시험 결과에 대한 데이터 처리 방식은 근전계 레이더 이미지 측정 후 주변 Clutter를 제거하여 처리된 레이더 이미지를 이용하여, 원전계 RCS를 추출하였다.

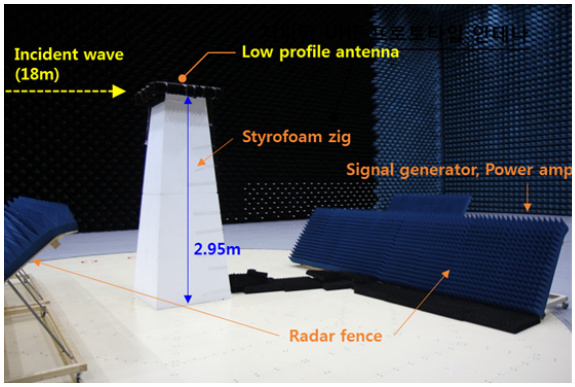

Fig. 10. Measurement setup for antenna RCS test

Table 1. RCS Test subject and range

시험 항목	편파 및 주파수	방위각	고각	비고
RCS-1	편파 (VV, HH) 주파수 (10 GHz)	-10°~10°	0°(정면)	송신 Off
RCS-2		-10°~10°	0°(정면)	5 dBm
RCS-3		-10°~10°	0°(정면)	10 dBm
RCS-4		-10°~10°	0°(정면)	15 dBm
RCS-5		-10°~10°	0°(정면)	46 dBm

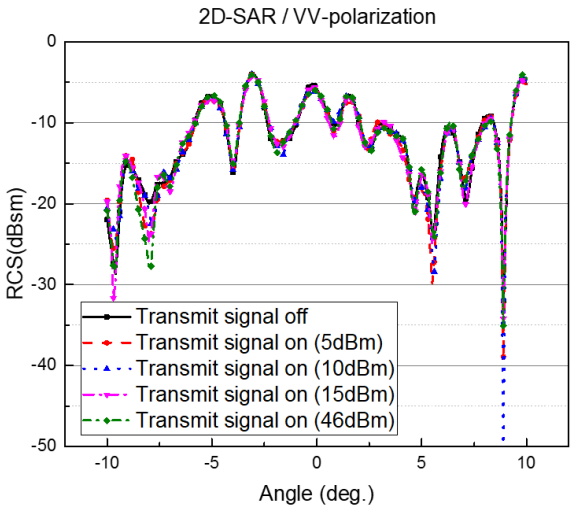

Fig. 11. Compare with measured RCS result of antenna transmit signal on/off(VV-polarization)

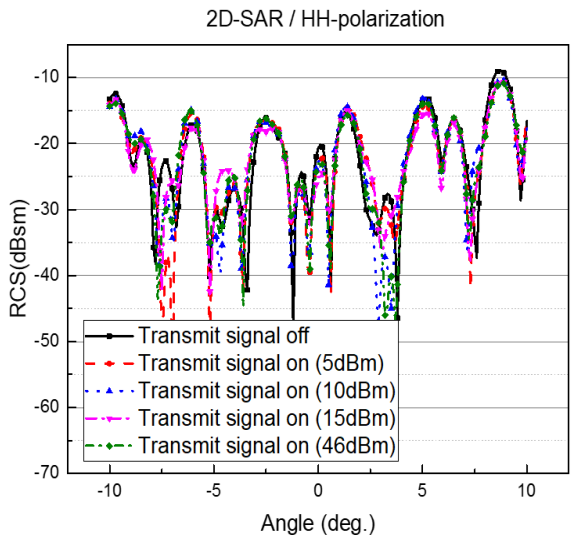

Fig. 12. Compare with measured RCS result of antenna transmit signal on/off(HH-polarization)

Fig. 11, 12는 안테나 송신 신호 on/off에 대한 측정된 RCS 비교결과를 나타낸다. Fig. 11, 12의 RCS 측정 결과를 바탕으로 안테나 송신 출력 변화를 줌에도 불구하고 Fig. 2~4의 결과와 같이 송신 신호 시에도 RCS 영향이 거의 없음을 확인할 수 있다.

Fig. 11, 12의 RCS 성능은 Fig. 2~4의 결과와는 다르게 각도에 따라 RCS 성능이 변화하는 이유는 안테나 형상의 단위면적에 따라 RCS 성능이 결정되기 때문이다. Fig. 2~4의 안테나 형상은 방위각 방향의 원형형상으로 각도에 따라서 반사된 신호가 동일하게 생성되며, Fig 11, 12의 결과는 안테나 형상이 직육면체로 각도에 따라 반사된 신호가 불규칙으로 생성되기 때문이다.

4. 결 론

안테나 송신 신호 on/off에 대한 RCS 성능 변화에 대한 M&S 분석을 수행 하였으며 분석 결과를 통해 레이더 주파수인 X대역과 동일한 주파수 대역에서 RCS 성능이 변화됨을 확인할 수 있었다. 그러나 레이더 주파수와 다른 대역인 VHF/UHF/IFF 대역에서 송신 신호 on과 off 했을 경우 RCS 성능에 변화가 없음을 확인하였다. M&S 분석을 바탕으로 UHF 대역의 Low profile 안테나 RCS 시험 측정 검증을 진행 하였다. 시험 측정 결과 안테나 송신 신호 on/off에 대한 결과는 분석과 동일하게 RCS 성능에 영향이 없음을 확인하였다. 또한 안테나 송신 출력 변화에 대한 시험도 RCS 성능에 영향이 없음을 나타내었다. 결론적으로 레이더 주파수에 근접하거나 동일한 주파수의 안테나를 사용할 경우 안테나 송신으로 인한 RCS 성능이 변화되기 때문에 레이더 주파수 대역의 안테나를 사용할 경우 RCS 성능을 고려하여 추가적인 RCS 저감 기술 적용이 필요할 것으로 판단된다.

References

[1] Merrill I. Skolnik, “Introdution to Radar Systems: 3rd edition,” McGraw-Hill, PP. 32-64, Dec. 2000.

[2] Z. Zhao, Y. Niu, Z. Ma, and X. Ji, “A Fast Stealth Trajectory Planning Algorithm for Stealth UAV to Fly in Multi-Radar Network,” RCAR 2016, 2016 IEEE International Conference on Real-Time Computing and Robotics(RCAR), pp. 549-554, 2016.

[3] L. Gurel, H. Bagrci, J. C. Catelli, and A. Cheraly, F. Tardivel, “Validation through Comparison: Measurement and Calculation of the Bistatic Radar Cross Section of a Stealth Target,” Radio Science, Vol. 38, pp. 12-1~12-8, 2003.

[4] K. J. Vinoy, and R. M. Jha, “Radar Absorbing Materials : From Theory to Design and Characterization,” Springer, pp. 10-14, 2011.

[5] Y. Zhao, J. Liu, and Z. Song, X. Xi, “Microstructrue Design Method for Multi-needle Whisker Radar Absorbing Material,” IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 15, pp. 1163-1166, 2015.

[6] J. Kim, S. Lee, and C. Kim, “Comparison Study on the Effect of Carbon Nano Materials for Single-Layer Microwave Absorbers in X-band,” Composites Science and Technology, Vol. 68, pp. 2909-2916, 2008.

[7] S. Genovesi, F. Costa, and A. Monorchio, “Wideband Radar Cross Section Reduction fo Slot Atnennas Array,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 62, No. 1, pp. 163-173, 2014.

[8] H. Jiang, Z. Xue, M. Leng, and W. Li, W. Ren, “Wideband Partially Reflecting Surface Antenna with Broadband RCS Reduction,” IET Microwaves, Antennas & Propagation, Vol. 12, No. 6, pp. 941-946, 2018.

[9] E. F. Knott, J. F. Shaeffer, and M. T. Tuley, “Radar Cross Secion: 2rd edition,” SciTech Publishing, pp. 63-68, 2004.