

다이폴 안테나의 산란특성을 고려한 RCS 계산에 관한 연구

임중수, 채규수, 김민년
백석대학교 정보통신학부/RDRC KAIST
e-mail:gschae@bu.ac.kr

A study on RCS calculation using scattering characteristics of dipole antennas

Joong-Soo Lim, Gyoo-Soo Chae, Min-Nyun Kim
Division of Information & Communication Eng.,
Baekseok University/RDRC KAIST

요 약

본 논문에서는 항공기가 레이더 감시를 회피하고 미사일의 공격으로부터 효과적으로 대응하기 위한 채프의 RCS 계산 방법에 대해 다루었다. 공중에 투하된 채프의 RCS 값은 바람, 비행체의 속도, 대기확산 속도 등에 따라서 달라진다. 채프를 레이더 사용주파수 대역에서 다이폴 안테나로 가정하고, 다이폴 안테나의 산란특성 분석을 통하여 RCS 값을 예측하였다. 본 논문에서는 다이폴 모델로 계산한 채프의 RCS 값을 CST-MWS를 이용하여 계산 하였으며 기존에 소개된 실험값들과 비교하여 유사한 특성을 얻었다.

1. 서론

공중 목표물의 레이더파에 대한 특성 연구가 꾸준히 계속 되고 있다. 레이더의 감시로부터 항공기를 보호하고 미사일의 공격을 회피하기 위한 방법으로 채프가 주로 사용되고 있다. 채프는 추적 레이더가 항공기가 아닌 채프 쪽으로 추적하도록 하기위해 항공기에서 투하하는 일정한 길이로 자른 가는 도선, 긴 도선, 알루미늄 조각, 알루미늄을 입힌 유리, 은을 입힌 나일론 줄 등을 말한다. 채프가 효과적으로 전파를 반사시키도록 하기위해 레이더 주파수의 반파장 길이를 사용한다. 그리고 항공기와 채프의 RCS를 계산하여 적절한 채프의 투하량을 예상하는 것이 매우 중요하다. 일반적으로 채프에서 레이더로 반사되는 신호가 보호하려는 항공기에서 산란되는 신호 보다 커야 한다. 효과적으로 항공기를 보호하기 위한 채프의 RCS는 항공기의 2배정도가 적절한

것으로 알려져 있다. 채프의 RCS를 계산하기위해 채프를 다이폴 안테나로 모델링해서 채프구름의 RCS를 구하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 채프의 실제 낙하 형태나 밀도에 따라 산란되는 신호의 세기가 다양하게 나타나지만 다이폴 형태의 모델로 근사 화하고 채프의 개수를 고려하여 RCS를 계산하는 방법이 널리 사용되고 있다. 본 논문에서는 채프의 RCS를 예측하기위해 다이폴 안테나에 대한 수치해석 모델을 적용하여 그 값을 구하고 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 검증하고자 한다. 다이폴로 입사되는 전파의 각도에 따른 RCS 특성을 살펴보고자 한다.

2. 채프의 RCS 특성 분석

일반적으로 송신된 전파가 채프에 반사되어 수신 안테나로 돌아오는 신호를 다음과 같이 표현할 수 있다

[1].

$$P_r = \frac{P_c \sigma(\theta, \phi)}{4\pi r^2} \quad (1)$$

여기서, P_r 은 채프에서 반사되어 수신기로 돌아오는 전력, P_c 는 채프 표면에 도달하는 전력, r 은 수신기와 채프사이의 이격거리, $\sigma(\theta, \phi)$ 는 채프의 RCS 이다. 전체 채프 구름의 RCS를 구하기 위해 먼저 채프를 구성하는 하나의 반 파장 길이의 도선을 다이폴 안테나로 간주하여 반사되는 전력을 계산 할 수 있다.

$$P_r = \frac{P_d G}{4\pi r^2} \quad (2)$$

여기서, P_d 는 다이폴 안테나로 입사하는 전파가 다이폴 표면에서 반사되어 재 방사되는 전력, G 는 수신기로 향하는 다이폴 안테나의 이득이다. 단락된 공진기로서의 다이폴 안테나는 재 방사되는 전력을

$$P_d = 4AP_c \quad (3)$$

로 표현 할 수 있다. 여기서, $A = \lambda^2 G / 4\pi$ (안테나 유효 개구면적)이다. 다이폴 안테나의 이득은

$$G(\theta, \phi) = 1.64 \left(\frac{\cos(\pi/2 \sin(\theta))}{\cos(\theta)} \right)^2 \quad (4)$$

로 표현된다. 위의 식들을 정리하면 다이폴의 RCS는

$$\sigma(\theta, \phi) = \frac{\lambda^2 G^2(\theta, \phi)}{\pi} \quad (5)$$

로 표현된다. 채프구름속의 다이폴들은 지향하는 방향을 바꾸고 공기 중으로 확산하기 때문에 시간에 따라 RCS가 변하게 된다. 다이폴의 이득이 최대가 되는 $\theta = \pi/2$ 에서 RCS는 $\sigma = 0.856\lambda^2$ 이 됨을 알 수 있다. 하나의 다이폴 안테나에 대한 RCS 계산 결과를 이용하여, 채프구름을 N개의 다이폴이 불규칙하게 지향하는 다이폴 안테나로 근사한 식으로 전 방향에 대한 RCS의 평균값을 구하면

$$\bar{\sigma} = \frac{N\lambda^2}{A\pi} \int_0^\phi \int_0^\theta G^2(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi \quad (6)$$

이 된다. 적분을 해석적인 방법으로 풀면, 전체 N개의 다이폴로 구성된 채프구름의 RCS를 구할 수 있다 [1-2].

$$\bar{\sigma} \cong 0.15N\lambda^2 \quad (\text{선형 편파}) \quad (7)$$

$$\bar{\sigma} \cong 0.10N\lambda^2 \quad (\text{원형 편파}) \quad (8)$$

그리고 공중에 투하되는 채프의 무게로도 RCS 값을 예측 할 수 있다[3].

$$\bar{\sigma} \cong 22,000\lambda W_c \quad (9)$$

채프 다이폴은 사용주파수의 반 파장($\lambda/2$)일 때 가장 큰 RCS를 나타낸다. 또한, 사용주파수의 배수의 주파수($\lambda, 2\lambda, 3\lambda...$)에서도 상대적으로 큰 RCS 값을 가진다. 레이더에서 사용하는 주파수가 다르기 때문에 넓은 주파수 대역에서 동시에 사용가능한 채프를 만들기 위해 길이가 다른 채프를 같이 사용하기도 한다. 이러한 채프 다이폴의 주파수 특성을 살펴보기 위한 수치해석을 수행 하였다.

지금까지는 각 채프 다이폴의 길이에 따른 주파수 특성을 살펴보았다. 채프가 공중에 살포 될 때, 정확한 RCS 값을 예측하기 위해서는 각각의 채프 다이폴의 특성도 중요하지만 채프가 공중에 확산되는 정확한 모델을 개발 할 필요가 있다. 그리고 레이더 안테나의 빔폭(beam width)과 분해능(resolution)에 따라 RCS가 다소 차이가 있기 때문에 좀 더 정확한 값을 예측하기 위해서는 고려 할 필요가 있다. 실제로 채프가 공중에 투하될 때 각각의 채프가 x, y, z좌표계에서 가우시안분포를 가지게 된다[4-5].

$$C_i(x, y, z) = \frac{m_i}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} e^{-\left[\frac{(x-x_c)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-y_c)^2}{2\sigma_y^2} + \frac{(z-z_c)^2}{2\sigma_z^2} \right]} \quad (10)$$

여기서, $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 는 각 좌표축으로의 표준편차(standard deviation)이다. x, y, z축 상의 표준 편차는 채프의 발사속도, 바람, 자유낙하 등을 고려하여 계산 된다[6]. 그리고 각 위치에서 채프 다이폴의 방향은 직각좌표계에서 θ 와 ϕ 에 의해 결정되는 확률분포를 가진다.

$$p(\phi) = \frac{1}{2\pi} \quad (11)$$

$$p(\theta) = \frac{1}{2} \sin\theta \quad (12)$$

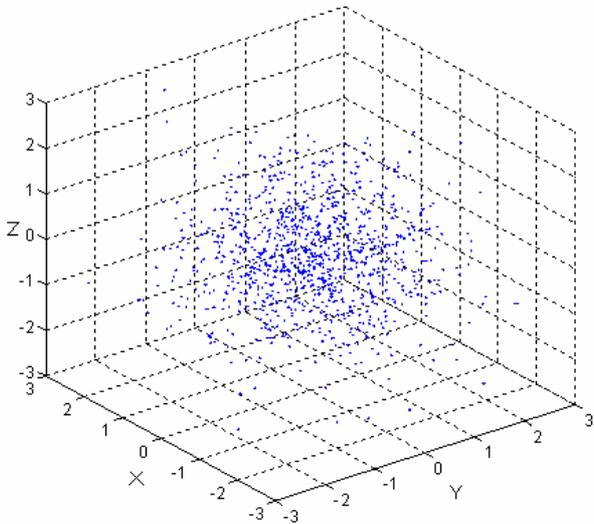


그림 1. 2000 개의 다이폴 구름의 가우시안 분포
(표준편차 $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \lambda$)

채프의 RCS를 정확하게 계산하기 위해 각 채프의 위치와 방향을 결정하고 시간 변화에 따른 확산 모델을 개발할 것이다.

본 연구에서는 다수의 채프를 효과적으로 다루기 위하여 하나의 다이폴에 대한 RCS 값을 계산하는 방법을 고찰하고자 한다. 이러한 기본적인 다이폴에 대한 RCS 분석 결과를 바탕으로 향후 그림 1에 나타난 것과 같은 다수의 채프(채프 구름)에 대한 RCS를 구하고자 한다.

그림 2는 시뮬레이션을 위한 채프 다이폴산란모델의 좌표계이다. 채프로 입사되는 레이다파는 선형 편파로 가정하였다. 본 논문에서는 세 가지 길이(7.5cm, 5cm, 2.5cm)를 갖는 다이폴을 주파수에 따라 RCS를 구하였다. 각 길이에 대하여 하나의 다이폴이 z축으로 향하고 있고 입사파도 수직 편파를 사용하였다. 기존 연구에서 잘 알려진 것과 같이 반 파장($\lambda/2$) 길이에 해당하는 주파수 보다 약간 낮은 주파수에서 RCS가 크게 나옴을 볼 수 있다. 일반적으로 RCS의 최대값은 레이다 주파수의 $0.46\lambda \sim 0.48\lambda$ 에서 나오는 것으로 알려져 있다[6]. 그리고 선형편파인 경우 다이폴의 RCS가 약 $0.86\lambda^2$ 정도로 알려져 있다. 다이폴이 5cm인 경우, 2.7GHz($\lambda=0.11m$)에서 -21dB 정도의 값을 얻었는데 이론적인 예상 값은 -19.83dB로 수치해석 결과가 거의 일치함을 알 수 있다.

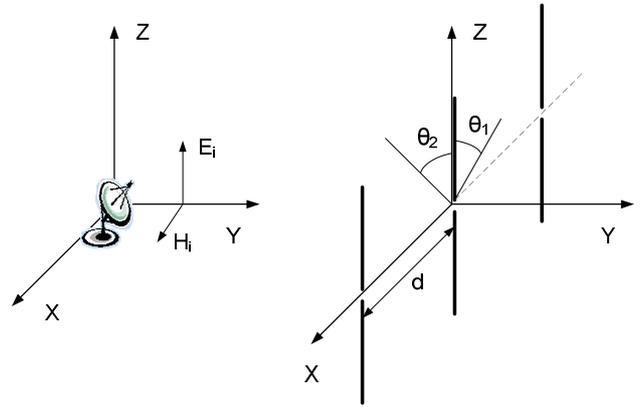


그림 2. 채프의 RCS 계산을 위한 좌표계

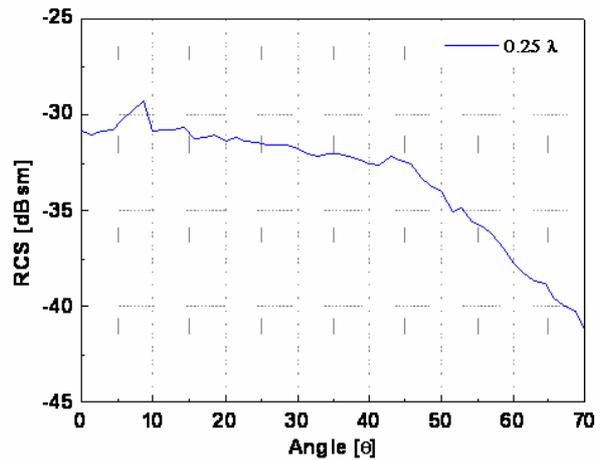


그림 3. 각도(θ_2) 변화에 따른 RCS 변화
(다이폴 길이 : 0.25λ)

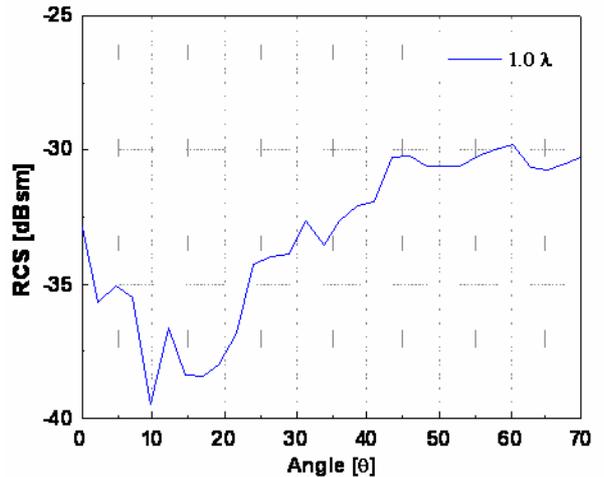


그림 4. 각도(θ_2) 변화에 따른 RCS 변화
(다이폴 길이 : 1.0λ)

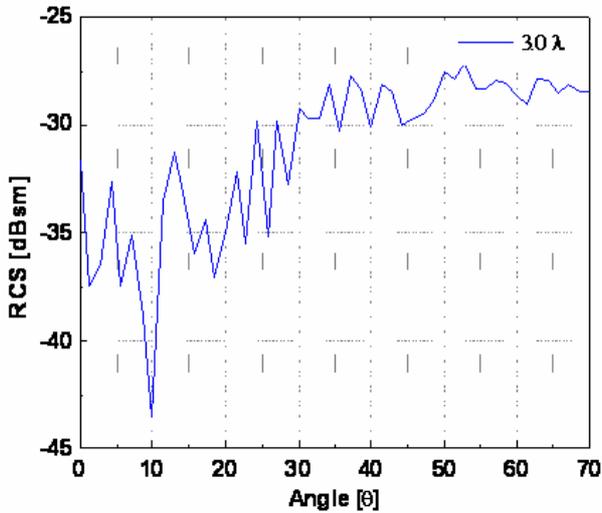


그림 5. 각도(θ_2) 변화에 따른 RCS 변화
(다이폴 길이 : 3.0λ)

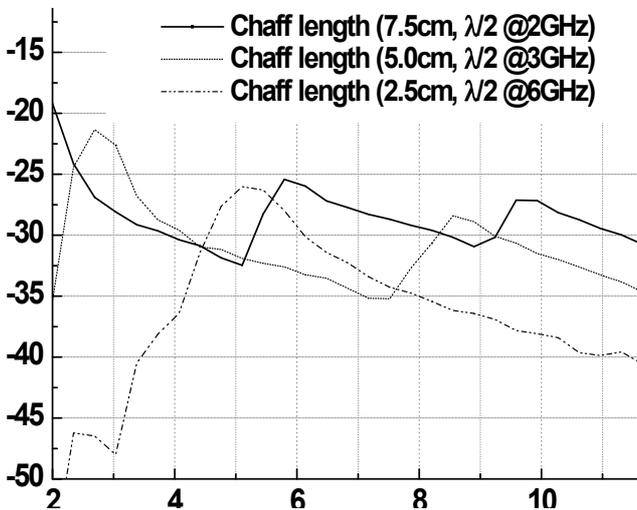


그림 6. 길이가 다른 다이폴의 주파수에 따른 RCS 변화(다이폴 길이 : 7.5cm, 5.0cm, 2.5cm, 직경 : 0.1mm)

그림 3, 4, 5에서는 다이폴의 산란 특성을 관찰 각도에 따라 살펴본 결과이다. 전체적인 특성은 안테나의 전류분포에 따른 방사 특성과 유사한 것을 볼 수 있다.

그림 6에서는 일반적으로 널리 사용되는 레이더의 주파수를 포함하는 대역, 광대역(2~12GHz)에서 채프의 RCS 특성을 보여주고 있다. 세 개의 각각 다른 길이의 다이폴이 있을 때 주파수 변화에 따른 RCS 특성을 보여 주고 있다. 앞의 그림에서 예상 하였듯이 각 길이에 해당하는 주파수(2GHz, 3GHz, 6GHz)의 근처에서 RCS 값이 크게 나오는 것을 볼 수 있다.

이결과는 실제 채프가 공기 중으로 살포되어 낙하할 때 불규칙하게 움직이는 상황을 고려하기 위한

것이다. 기존에 소개된 얇은 도선의 산란특성과 유사한 특성을 보이고 있다[8].

3. 결론

본 논문에서는 다이폴 안테나를 이용한 채프의 RCS 계산 방법이 소개되었다. 채프 구름의 RCS를 구하기 위해 다이폴 안테나의 산란특성에 대한 이론적인 결과들을 분석하고 전산모사를 통해 검증하였다. 기존에 소개된 수치해석적인 방법으로 계산한 결과와 전산모사에 의한 결과가 잘 일치함을 보였다. 실제 채프의 공기 중 확산 모델을 사용하여 시간과 공간의 변화에 따른 RCS 계산에 관한 연구가 계속 진행 될 것이다.

참고 문헌

- [1] R. A. Hessemer, Jr., "Scatter Communication with Radar Chaff," *IRE Trans. on Antennas and Propagations*, pp. 211-217, March 1961.
- [2] G. T. Ruck, et al., *Radar cross section handbook*, Chapter 4, Plenum Press, 1970.
- [3] Schleher, D. Curtis, *Introduction to electronic warfare*, Dedham: Artech House, 1986.
- [4] P. Pouliguen, O. Béchu, and J. L. Pinchot, "Simulation of chaff cloud Radar Cross Section," *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2005 IEEE*, Vol. 3A, pp. 80-83, 3-8 July 2005.
- [5] Z. D. Zaharist, and J. N. Sahalos, "On the electromagnetic scattering of a chaff cloud," *Electrical Engineering*, Vol. 85, no. 3, pp. 129-135, 2003.
- [6] F. Pasquill, *Atmospheric diffusion*, 1st Ed., Van Nostrand-reinhold, Princeton, New-Jersey, 1962.
- [7] J. A. Boyd, *Electronic countermeasures*, Peninsula Publishing, LA, CA, 1965.
- [8] H. T. Peters, A. K. Dominek, and L. Peter, Jr., "Electromagnetic scattering by a straight thin wire," *IEEE Trans. on Antennas and Propagations*, Vol. 37, no. 8, pp. 1019-1025, 1989.