

Dilution 모드로 운용되는 채프를 이용한 헬기의 전자방해 효과 분석

An Analysis of EA Effectiveness on Dilution Mode Chaff for Heliborne

임 중 수*

Lim, Joong-Soo

ABSTRACT

Chaff is one of important devices for heliborne protection from radars and missiles. When we use a chaff for heliborne protection, J/S(jamming signal of chaff vs reflected signal from heliborne) is important factor to analyze a heliborne survive. When the radial angle between missile and heliborne is changed, J/S of missile receiver is changed and jamming effectiveness of chaff is also changed. We calculate the RCS of chaff and heliborne, and compare the returned signals in a half power beam width of receiver antenna. We analyze chaff dispense modes and specially simulate the effectiveness of a dilution mode chaff between missile and heliborne.

주요기술용어(주제어) : Chaff, Heliborne, Jamming, Radar, Dilution Mode, Missile

1. 머리말

레이더 기술의 발달로 채프의 전자공격(electronic attack) 능력은 다소 약화되었다. 그러나 헬기나 수송기와 같이 전자공격 장비가 탑재되어 있지 않은 항공기들은 아직도 채프를 많이 사용하고 있으며 그 사용 방법에 따라 효과를 높일 수 있다^[1].

채프는 얇은 알루미늄 은박 등을 이용하여 만든 간단한 전자파 반사체로서 가격이 싸고, 부피가 작으며, 사용이 간단하여 레이더로부터 목표물의 탐지나 추적을 피하기 위해서 많이 사용된다^[2,3]. 헬기가 레이더나

미사일 추적으로부터 자신을 보호하기 위해서 채프를 사용하는 경우에는 레이더 안테나의 주빔(main beam)에서 측정한 채프의 반사신호가 헬기의 반사신호보다 일정수준 이상 커야하며, 이것은 채프의 반사단면적(radar cross section)이 헬기의 반사단면적 보다 일정수준 이상 커야함을 말한다^[4].

헬기 보호용으로 사용하는 채프는 여러 종류가 있으나 그림 1과 같이 다중대역용 카드리지 형태로 되어 있는 것이 많으며, 한 발당 산개 후 RCS는 x-밴드 주파수 대역에서 10~20dBm²인 경우를 비롯하여 다수가 있다^[5]. 그러나 채프가 레이더에 대한 전자공격 효과를 갖기 위해서는 레이더의 주빔의 3dB 빔폭 내에 채프가 지속적으로 존재해야하므로 헬기의 기동방향과 속도에 따라 채프의 발사 방향과 발사 탄수는 달라진다.

† 2008년 9월 1일 접수~2008년 10월 10일 게재승인

* 백석대학교/RDRC 센터

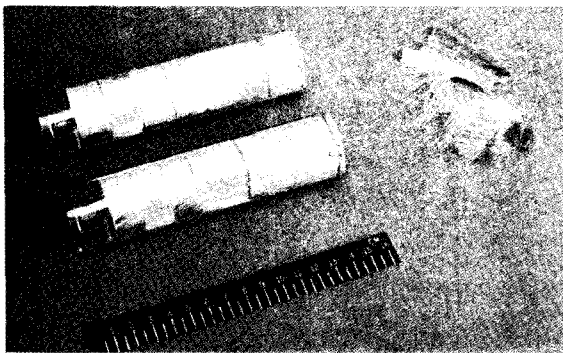
주저자 이메일 : jslim@bu.ac.kr

헬기의 RCS는 헬기의 기종에 따라서 다르고, 같은 기종의 헬기라도 전파의 입사각과 반사각에 따라 달라진다. 마이크로웨이브 주파수 대역에서 평균 RCS는 대형폭격기는 16dBm², 점보제트기는 20dBm², 픽업트럭은 23dBm² 정도이다^[6].

본 논문에서는 다이폴 안테나를 이용하여 채프의 RCS 계산식을 유도하고, 이것을 이용하여 다중대역용 채프의 RCS를 계산하며, 헬기의 RCS와 채프 한 발당 RCS를 조사하여 미사일과 헬기가 조우했을 경우 채프의 살포량에 따른 미사일의 추적 경로와 수신 신호 세기를 계산하였다.

2. 채프 반사단면적 계산

채프는 얇고 긴 은박판을 수직으로 세운 뒤에 시간이 지나면서 상하 좌우로 자유운동을 하는 모양이므로, 일반적으로 다이폴 안테나로 모델링 하여 RCS를 계산할 수 있다.



[그림 1] 단일 및 다중대역용 채프

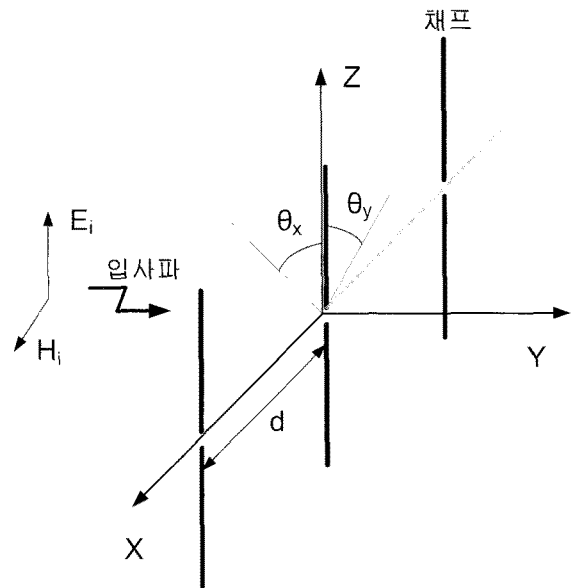
동조된 다이폴의 획득면적은 안테나 이득이 G 인 경우 $G\lambda^2/4\pi$ 로 주어진다. 또한 획득신호가 종단점(short)에서 반사될 경우 전압은 2배 전력은 4배로 상승하므로, 안테나이득 G 로 재 방사되는 동조다이폴 신호는 식 (1)과 같으며, 그 값은 동조다이폴의 RCS (σ)와 같다^[7,8].

$$\sigma = \frac{\lambda^2 G^2}{\pi} \quad (1)$$

다이폴의 이득은 각도와 길이에 의해 변화하며, 수직 편파에 대해서는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$G = \frac{2 \cdot \left[\frac{\cos(kl \cdot \cos\theta) - \cos kl}{\sin\theta} \right]}{\int_0^\pi \left[\frac{\cos(kl \cdot \cos\theta) - \cos kl}{\sin\theta} \right]^2 \sin\theta d\theta} \quad (2)$$

여기서 $k = 2\pi/\lambda$, l 은 다이폴의 길이이다.



[그림 2] RCS 계산을 위한 다이폴의 산란 모델

다이폴의 최대이득은 안테나와 수직($\theta = \pi/2$)인 경우에 일어나며 이 경우 다이폴의 이득을 구하면 식 (3)과 같다.

$$G = \frac{2 \cdot (1 - \cos kl)}{\int_0^\pi \left[\frac{\cos(kl \cdot \cos\theta) - \cos kl}{\sin\theta} \right]^2 d\theta} \quad (3)$$

식 (3)에서 다이폴의 길이가 반파장이면 다이폴의 RCS는 식 (1), (3)로부터 식 (4)와 같이 간략화 된다.

$$\sigma = 0.856\lambda^2 \quad (4)$$

한 개의 다이폴 안테나에 대한 RCS 계산 결과를

이용하여 채프를 N개의 다이폴이 불규칙하게 지향하는 다이폴 안테나들로 근사화하여 전체 방향에 대한 RCS의 평균값을 구하면 식 (5)와 같다.

$$\sigma = \frac{\Lambda\lambda^2}{\pi} \int_0^\phi \int_0^\theta G^2(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi \quad (5)$$

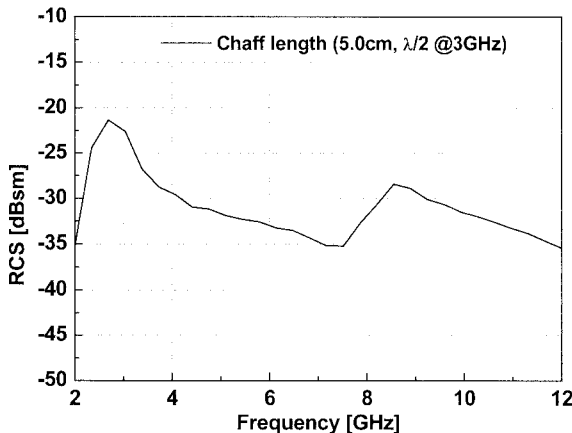
적분을 해석적인 방법으로 풀면 N개의 다이폴로 구성된 채프의 RCS는 식 (6)과 같이 구할 수 있다^[7,9].

$$\sigma \cong 0.15\Lambda\lambda^2 \quad (6)$$

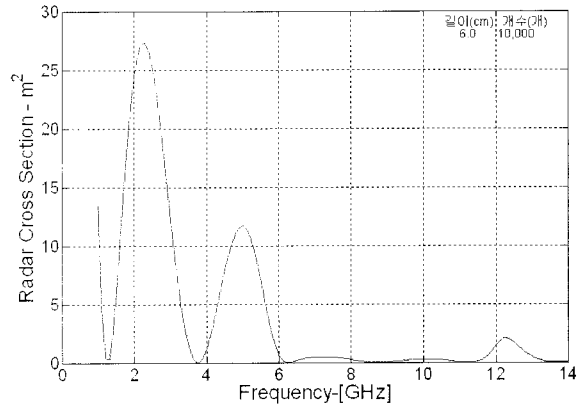
채프 다이폴은 사용주파수의 반 파장($\lambda/2$)일 때 가장 큰 RCS를 나타낸다. 레이더는 종류가 많고 사용하는 주파수가 다양하기 때문에 넓은 주파수영역에서 동시에 전자 방해가 가능한 채프를 만들기 위해 길이가 다른 채프를 함께 모아서 사용하기도 한다.

그림 3은 직경 0.1cm, 길이 5.0cm인 다이폴의 주파수에 따른 RCS를 보여주며, 그림 4는 직경 0.1cm, 길이 6.0cm인 다이폴 10,000개의 주파수에 따른 RCS를 보여준다.

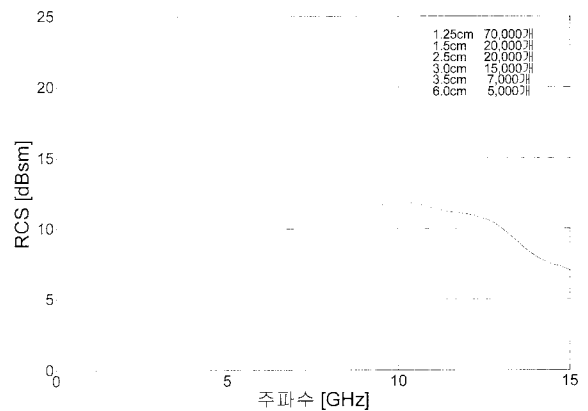
그림 5는 길이 3.0cm인 다이폴 15,000개 등 길이가 다른 6종류의 다이폴을 사용하여 2~12GHz 대역에서 10dBm² 이상의 RCS를 얻기 위한 채프의 구성을 보여주고 있다.



[그림 3] 다이폴의 주파수에 따른 RCS (다이폴 길이 : 5.0cm, 직경 : 0.1mm)



[그림 4] 다이폴 채프 RCS 모사 결과 (다이폴 개수 10,000개, 다이폴 길이 6.0cm)



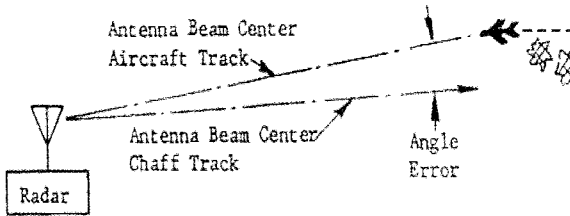
[그림 5] 다중밴드용 채프의 RCS 특성

3. 헬기 채프 운용모드 분석

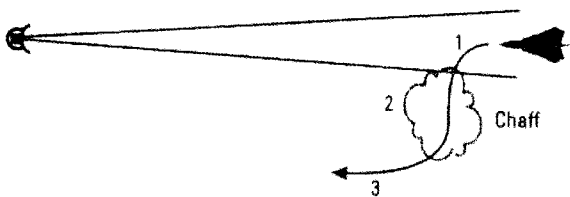
헬기에는 다수의 채프가 투하기에 장착되고 필요에 따라 적절한 수의 채프가 투하된다. 헬기의 채프 운용 방법은 여러가지가 있으나 일반적으로 dilution mode, seduction mode, dump mode로 구분한다^[1,10].

Dilution mode는 그림 6과 같이 채프를 주기적으로 살포하여 레이더의 거리게이트와 방위게이트 내에 충분한 채프가 존재하여 레이더가 채프와 목표물을 구분하지 못하게 하는 것이고, seduction mode는 그림 7과 같이 채프를 발사한 뒤에 항공기가 채프를 통과하여 비행함으로써 채프와 항공기가 분리되어 항공

기가 안전하게 기동하는 것을 말한다. Dump mode는 채프를 발사한 뒤 채프의 RCS가 커지면 EA 장비를 이용하여 추적레이더의 락-온(lock-on)을 항공기에서 채프로 이동시키는 방법으로 EA 장비가 있는 항공기에서만 운용이 가능하다.



[그림 6] 채프의 dilution mode^[4]



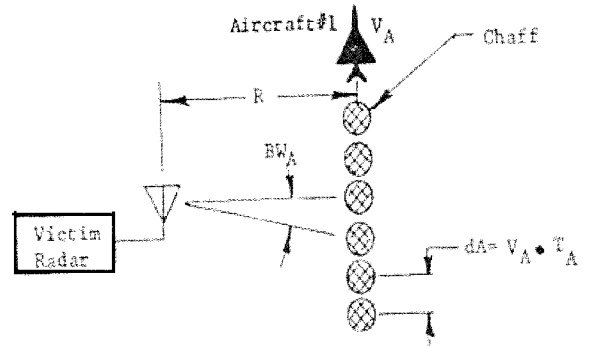
[그림 7] 채프의 seduction mode^[1]

채프 운용모드는 각각 장단점이 있지만 dilution mode와 seduction mode는 탐색레이더와 추적레이더, 미사일 추적방해를 위해서 주로 사용되고, seduction mode와 dump mode는 추적레이더나 미사일 추적방해를 위해서 많이 사용된다.

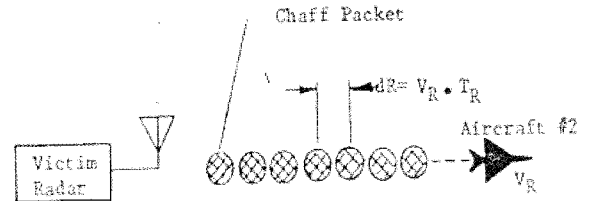
채프를 레이더 방해를 위해서 dilution mode로 운용할 경우 채프 발사시간은 레이더 안테나의 반전력 점 빔폭과 거리게이트의 함수가 된다. 항공기의 속도가 V_A 이고, 레이더 주빔의 반전력 빔폭 거리가 dA 이면 레이더의 방위각 탐지를 회피하기 위해서 필요한 채프발사 시간간격 T_A 는 그림 8에서 보는 바와 같이 식 (7)과 같이 된다^[4].

$$dA = V_A \cdot T_A \quad (7)$$

또한 레이더의 거리게이트를 회피하기 위해서 필요한 채프발사 시간간격 T_R 은 항공기의 속도가 V_R 이고, 레이더의 거리게이트 폭이 dR 이면 식 (8)과 같이 구할 수 있다.



[그림 8] 방위각 회피를 위한 채프 발사^[4]



[그림 9] 거리게이트 회피를 위한 채프 발사

$$dR = V_R \cdot T_R \quad (8)$$

채프의 발사량은 헬기의 RCS와 채프 한 발당 RCS의 크기와 헬기 보호를 위한 J/S 값에 의해서 결정된다. 헬기 보호를 위한 J/S 값을 10dB로 조정하면, 레이더에 수신되는 채프신호는 헬기의 반사신호 보다 10dB 이상 크게 되어야 한다. 즉 채프의 RCS를 10dB 이상 크게 되도록 채프를 발사해야 한다.

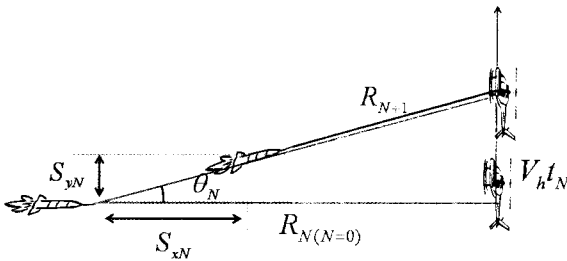
예를 들어 헬기의 기동방위에서 RCS가 10dBm²이고, 채프 한 발당 RCS가 20dBm²이면 미사일에서 본 헬기와 채프가 동일 게이트 내에 있는 경우에는 채프를 한 발 발사하면 된다. 그러나 채프의 RCS가 17dBm²이면 채프를 두 발 이상 발사해야 하며, 미사일의 추적방향이 바뀔 때마다 동일 추적게이트 내부에 존재하는 채프의 RCS를 계산한 후에 J/S 값이 10dB 이상으로 유지되도록 채프를 발사해야 한다.

4. 채프효과 시뮬레이션

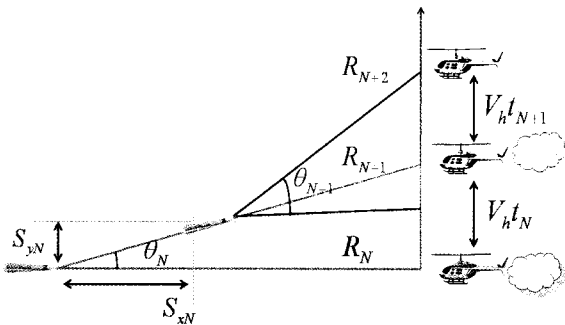
헬기의 채프효과를 모의하기 위해서는 먼저 헬기와

레이더 또는 헬기와 미사일의 조우 상황을 가정해야 한다. 헬기가 미사일과 조우할 경우에는 미사일과 상대거리 및 지향각이 실시간으로 변경되기 때문에 조우 상황모의가 복잡하고 실시간으로 좌표이동을 고려하여 조우상황을 모의해야 한다.

그림 10은 헬기와 미사일의 초기 조우 상황 즉, 미사일의 추적 및 헬기의 초기 기동궤적을 시간에 따라 나타내고 있으며, 그림 11은 헬기와 미사일의 연속 조우 상황 즉, 미사일이 실시간으로 헬기를 추적할 때 미사일의 추적 방향과 미사일과 헬기 사이의 거리를 나타낸다.



[그림 10] 미사일의 헬기 초기 추적상황



[그림 11] 미사일의 헬기 연속 추적상황

그림 11에서 식 (9), (10)은 미사일이 헬기를 추적할 때의 미사일을 기준으로 헬기가 x-축 방향과 y-축 방향으로 이동한 거리, 식 (11)은 미사일과 헬기 사이의 거리, 식 (12)는 미사일의 추적각도이다.

$$S_{xN} = V_m \cos \theta_N t_N \quad (9)$$

$$S_{yN} = V_m \sin \theta_N t_N \quad (10)$$

$$R_{N+1} = \sqrt{(R_N - S_{x,N})^2 + (V_h \cdot t_N - S_{y,N})^2} \quad (11)$$

$$\tan \theta_1 = \frac{V_h \cdot t_1}{R - V_m t_0}, \quad \tan \theta_2 = \frac{V_h \cdot t_2}{R - V_m t_1} \quad (12)$$

여기서, t_N 은 헬기의 회피기동 시간, V_h 는 헬기 속도, R 은 헬기와 미사일 사이의 거리, V_m 은 미사일 속도이다^[11].

일반적으로 헬기와 레이더의 조우상황보다 헬기와 미사일의 조우상황이 복잡하므로 본 논문에서는 헬기와 미사일의 조우상황에 대해서 모사하였다. 헬기의 기동은 미사일의 초기 발사방향을 기준으로 0° 방향(미사일 발사방향과 동일 방향), 90° 방향(미사일 발사방향에 수직 방향) 등 다양하지만 미사일의 추적각도 변화가 가장 큰 90° 방향으로 헬기가 기동하는 경우에 대해서 모사하였다.

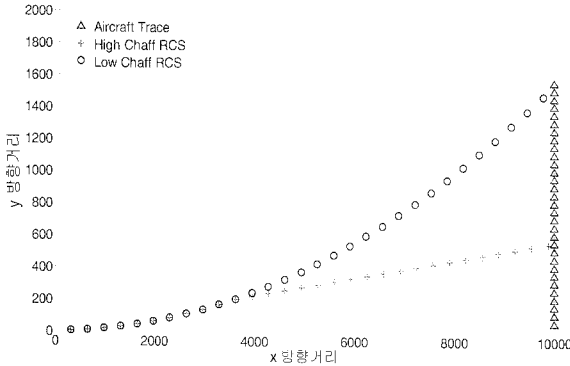
헬기 보호를 위해서는 채프를 발사하는 경우 채프의 발사탄수는 헬기 생존을 위해서 요구되는 J/S 값과 미사일 안테나의 3dB 빔폭, 헬기의 속도, 채프 발사 모드를 고려하여 식 (7)과 (12)를 이용하여 구할 수 있다. 또한 미사일이 이동표적식별(MTI) 등의 전자보호(EP) 기능을 보유한 경우에는 이러한 EP 능력에 따라 채프의 효과가 감소되는 점도 고려해야 한다.

본 논문에서는 헬기가 200km/h로 기동하면서 채프를 dilution 모드로 운용할 때 미사일과 헬기의 조우 상황을 모의하였으며, 채프의 발사량에 따라 미사일의 추적 방향을 다음과 같이 3가지로 모의하였다.

첫째, 헬기가 채프를 발사하지 않고 비행하여 채프에 의한 재밍효과가 없어서 미사일이 헬기만 추적하는 경우, 둘째, 채프를 발사하였으나 채프 RCS가 헬기 RCS보다 충분히 크지 못해서 미사일이 헬기를 따라가 격추시키는 경우. 마지막으로 헬기가 채프를 충분히 발사하여 헬기의 RCS 보다 채프의 RCS가 충분히 커서 미사일이 채프를 타격하고 헬기는 생존하는 경우이다^[11].

그림 12는 채프의 RCS가 17dBm², 헬기의 RCS 10~20dBm², 미사일 속도 마하 1, 헬기가 미사일에 수직 방향으로 시속 200km/h로 비행하는 상황에서 채프 량이 적은 경우에는 미사일이 헬기를 추적하고,

채프량이 충분하면 미사일이 채프를 추적하는 궤적을 나타내고 있다.



[그림 12] 채프의 양에 따른 헬기와 미사일의 궤적

그림 13은 동일한 비행조건에서 채프를 발사하여 채프의 RCS가 헬기의 RCS보다 충분히 커서 미사일이 채프를 타격하는 경우의 미사일의 추적궤도와 수신신호의 세기를 나타내고 있다. 그림 14는 채프의 RCS가 헬기의 RCS보다 충분히 크지 못해서 미사일이 채프를 타격하지 않고 헬기를 타격하는 경우의 미사일의 추적궤도와 수신신호의 세기를 나타내고 있다.

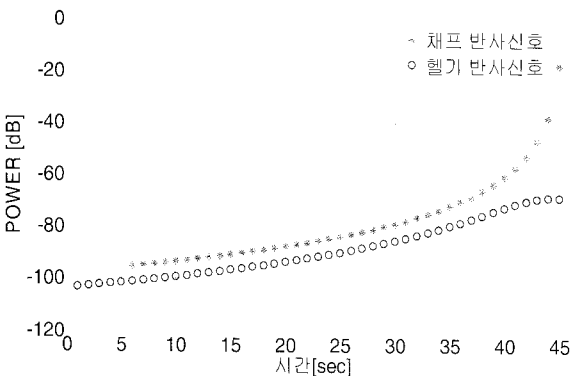
5. 맺음말

본 논문에서는 헬기를 보호하기 위해서 채프를 dilution mode로 살포할 경우, 헬기와 미사일의 속도와 미사일 안테나의 빔폭에 따른 채프의 효과를 모의하였다. 일반적으로 채프의 RCS는 사용주파수와 채프 모델이 정해지면 결정되고, 헬기의 RCS도 사용주파수와 전파의 반사각도가 정해지면 결정된다. 따라서 미사일 안테나 주엽의 3dB 빔폭 내에 잔류하는 채프의 양을 계산하여 채프의 반사신호가 헬기의 반사신호보다 10dB 이상인 경우에는 미사일이 채프를 추적하고, J/S 값이 10dB 이하이면 헬기를 추적하는 조건으로 미사일의 표적 추적방향과 신호세기를 모의하였다.

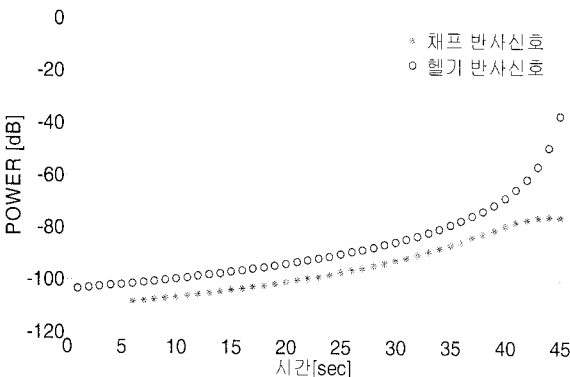
채프에 의한 전자공격 능력을 높이기 위해서는 채프에 의한 J/S 값을 높여야 하며, 헬기도 RCS가 작은 방향으로 기동하는 것이 유리하다. 또한 최근에는 레이더나 미사일이 주파수 도약, MTI 등의 EP 기능을 가지고 있어서 이러한 경우에 대한 채프의 EA 효과도 계속 연구해야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Filippo Neri, Introduction to Electronic Defense Systems(second edition), Artech House, pp. 459~469, 2001.
- [2] S. W. Marcus, "Electromagnetic wave Propagation Through Chaff Clouds", IEEE Trans. on Antennas and Propagations, Vol. 55, No. 7, pp. 2032~2042, 2007.
- [3] R. A. Hessemer, Jr., "Scatter Communications



[그림 13] 헬기 반사신호와 채프 반사신호 (미사일이 채프를 타격하는 경우)



[그림 14] 헬기 반사신호와 채프 반사신호 (미사일이 헬기를 타격하는 경우)

- with Radar Chaff”, IRE Trans. on Antennas and Propagations, pp. 211~217, March 1961.
- [4] Leroy B. Van Brunt, Applied ECM, Volume 1, EW Engineering, Inc. VA, pp. 497~524, 1982.
- [5] <http://www.awc.com.pk/mohafiz.htm>
- [6] M. I. Skolnik, Introduction to Radar Systems (second edition), McGraw-Hill Publishing Company, p. 44, 1980.
- [7] D. Curtis Schleher, Electronic Warfare in the Information Age, Artech House, pp. 416~420, 1999.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Leroy B. Van Brunt, Applied ECM, Volume 3, EW Engineering, Inc. VA, pp. 7-138~144, 1995.
- [11] 임중수, 채규수, 김민년, “RWR과 채프의 연동 및 채프 효과도 분석”, 국방과학연구소, ADDR-401-080643, 2008년 6월.