

고정 레티클 탐색기의 IRCM 재밍효과 분석

IRCM Jamming Effect Analysis of a Stationary Reticle Seeker

안상호* 김영춘** 이광세* 김기홍*** 김성수***
 Sang-Ho Ahn Young-Choon Kim Kwang-Sei Lee Ki-Hong Kim Sung-Soo Kim

Abstract

The function of IRCM(Infrared Countermeasures) jamming is to cause the missile to miss its intended target by disturbing the seeker tracking process. This paper analyzes the jamming effect of IRCM jamming for a stationary reticle seeker. The phase error containing the azimuth angle information of target is analyzed for the intensity, frequency and duty ratio variation of the jammer pulse signal. We confirmed that the more the jammer frequency is similar to the spinning frequency of the stationary seeker, the more jamming effect is high.

Keywords : Stationary Reticle Seeker(고정 레티클 탐색기), IRCM(적외선방어책), Jamming Effect(재밍효과)

1. 서론

적외선유도미사일은 공격목표물에서 발생하는 열(thermal)에너지를 추적하며 특히 휴대용대공미사일(MANPADS : Man-Portable Air-Defense Systems)은 휴대가 가능하고 가격대비 성능비가 우수하므로 매우 위협적인 무기이다. 적외선유도미사일은 주로 단일 적외선 검출기(detector)를 사용하지만 최근에는 4개의 검출기를 사용한 4분형-검출기(quadrant-detector) 및 FPA(Focal Plane Array)검출기를 사용한 영상(imaging)탐색기가 개발되었다. 단일 검출기를 가지는 탐색기는 목표물의 위치를 검출하기 위해 튜브원판 형태의 레티

클(reticle)를 사용하는 레티클방식과 장미꽃잎 모양의 광학스캔을 사용하는 로젯스캔(rosette-scan)방식이 있다. 레티클방식의 탐색기는 크게 회전(rotating) 레티클 탐색기와 고정(stationary) 레티클 탐색기로 나눌 수 있다. 회전(또는 스핀-스캔) 레티클 탐색기는 가장 초기의 방식으로서 레티클을 회전시켜 표적신호를 변조시킨다. 이 방식은 적외선표적이 레티클의 중앙에 있을 때 표적신호를 잘 얻지 못하는 단점을 가지고 있다. 이를 개선하기 위해 레티클은 고정시키고 광학계를 원추형(conical)으로 회전시켜 표적이 레티클의 중앙에 있어도 안정된 표적신호를 생성시키는 고정(또는 콘스캔) 레티클 탐색기가 개발되었다^[1].

적외선유도미사일의 발전과 더불어 이에 대응하기 위한 IRCM(Infrared Countermeasure)의 연구 및 개발도 지속되어 왔다^[2,3]. IRCM방식은 플레어(flare)방식과 재머(jammer)방식으로 나눌 수 있으며, 재머방식은 다시 전방향(omni-directional) 재머방식과 지향성(directed) 재머방식으로 나눌 수 있다. 전방향(omni-directional) 재머

† 2010년 1월 25일 접수~2010년 3월 4일 게재승인

* 인제대학교(Inje University)

** 영동대학교(Youngdong University)

*** 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 안상호(elecash@inje.ac.kr)

방식은 전기적 필라멘트 또는 연료버너를 이용하여 고휘도 빛을 발생시켜 재밍원으로 사용하며, 지향성 재머방식은 재밍원으로 고휘도 램프 또는 레이저를 이용하여 재밍에너지를 미사일 탐색기에 집속시킨다. 지향성 재머방식은 DIRCM(Directed IRCM)방식이라고도 하며 기존의 플레어방식이나 고휘도램프를 이용한 전방향으로 재밍하는 방식에 비해 재밍 효율성이 높기 때문에 앞으로의 재밍방식에 주류를 이룰 것으로 전망된다.

지금까지 레티클 탐색기에 대한 연구는 주로 미사일 탐색기의 관점에서 효율적인 표적 추적방식 및 IRCCM(Infrared Counter-Countermeasure)에 대해 연구가 이루어졌다⁴⁻⁸⁾. 재머방식은 플레어방식과는 달리 접근해 오는 미사일을 향해 적절한 재머신호를 발사하므로 탐색기의 종류에 따른 이의 재밍효과에 대한 조사도 요구된다. 안 등⁹⁾은 회전 레티클 탐색기에 대한 재밍효과에 대해 조사하였고 재머신호의 강도와 재밍주파수가 재밍효과에 영향을 크게 준다는 것을 밝혔다.

본 연구에서는 고정 레티클 탐색기를 가지는 미사일에 대응하기 위한 IRCM의 재머신호에 대한 재밍효과를 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 재머펄스신호는 강도, 주파수 및 듀티비(duty ratio)에 따라 다양한 형태를 가질 수 있으므로 이들의 변화에 따라 고정 레티클 탐색기에서의 재밍효과에 대해 조사하였다.

2. 고정 레티클 탐색기

레티클 탐색기의 가장 초기방식인 회전 레티클 방식은 표적이 중앙으로 향하면 펄스폭이 좁아져 신호처리에 오류를 가져올 수 있다. 이를 보완하기 위해 고정 레티클 방식이 제안되었으며, 이의 탐색기 구조는 Fig. 1과 같다. 탐색기에 입사된 표적의 복사에너지는 1차 반사경과 2차 반사경에 반사되고 레티클을 통과하여 검출기에 인가된다. 2차 반사경은 기울어진 상태에서 회전을 하므로 마치 팬이의 머리부분이 회전하는 모습과 유사하다. 레티클은 원형 톱니모양을 하며 고정되어 있으므로 고정 레티클 방식이라 칭한다. 고정 레티클 방식을 콘스캔(conscan) 방식 또는 FM(Frequency Modulation) 레티클 방식이라고도 칭한다. Fig. 2(a)는 고정 레티클 방식에 의한 표적의 궤적을 나타낸 것이고 검출기에 인가되는 원 복사파형

$s_o(t)$ 는 Fig. 2(b)에서와 같다. 표적이 레티클 내에 있을 때 캐리어 펄스가 발생하고 표적의 위치에 따라 캐리어의 주파수가 변하므로 주파수 변조되어 나타난다. 주파수의 변이와 위상은 표적의 방위각정보를 포함하고 있다. 고정 레티클 방식은 표적이 광학 중심축에 위치할 때 회전 레티클 방식과는 달리 안정된 원의 궤적을 형성한다.

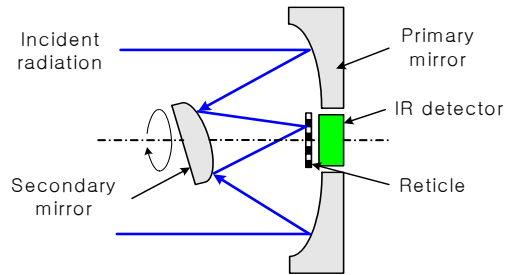


Fig. 1. 고정 레티클 방식의 탐색기 구조

가. 고정 레티클 탐색기의 IRCM 재밍

Fig. 2(c)는 레티클 변조함수 $m(t)$ 를 나타내며

$$m(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_k \exp[jk\omega_m(t - T_s)] \quad (1)$$

과 같이 푸리에급수로 전개될 수 있다¹¹⁾. 여기서

$$d_k = \frac{j}{2\pi k} \left[\exp\left(-j2\pi k \frac{T_r}{T_m}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

T_r 은 표적이 레티클 내에 있는 머무는 동안의 체류시간(dwel time), T_m 은 장동(nutation)회전의 주기($\omega_m = 2\pi/T_m$)이고 T_s 는 장동회전의 시작시점에서의 상대적 지연시간이다. Fig. 2(d)의 $s(t)$ 는 Fig. 2(b)의 원 복사파형 $s_o(t)$ 에서 캐리어펄스를 무시한 근사적인 파형을 나타낸다. 표적의 궤적이 레티클 내에 있을 때 표적의 복사에너지가 모두 통과된 것으로 가정한 것이다.

고정 레티클 탐색기의 IRCM을 위한 재머펄스 $j(t)$ 는 Fig. 3(a)와 같으며, 여기서 B 는 재머복사강도, T_j 는 재머파형주기($\omega_j = 2\pi/T_j$) 그리고 T_o 는 재머펄스폭을 나타낸다. 표적의 복사강도가 A 일 때 표적신호와 재머신호의 합 $s(t)$ 는 Fig. 3(b)과 같으며,

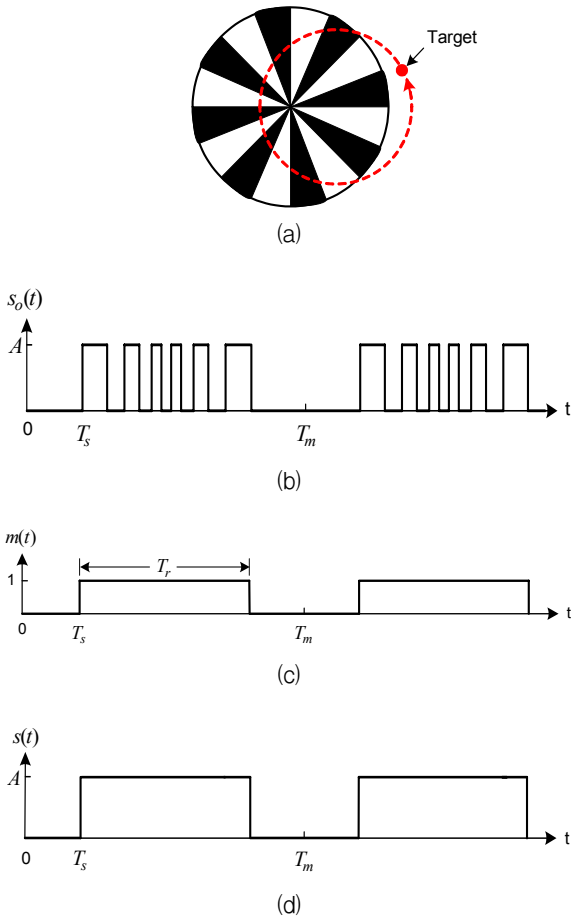


Fig. 2. 고정 레티클과 출력파형의 예, (a) 고정 레티클 및 표적의 계획, (b) 원 변조파형, (c) 레티클 변조함수 및 (d) 근사적 변조파형

$$s(t) = A + \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \exp(jn\omega_j t) \quad (3)$$

과 같이 푸리에급수로 전개될 수 있고, 여기서

$$c_n = \frac{jB}{2\pi n} \left[\exp\left(-j2\pi n \frac{T_o}{T_j}\right) - 1 \right] \quad (4)$$

이다. $s(t)$ 는 레티클을 통과하면서 변조되므로 Fig. 3(c)의 레티클변조함수와 곱에 의한 유효 신호파형 $s_e(t)$ 은 Fig. 3(d)와 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 재머신호에 의해 검출기에 인가되는 복사파형이 크게 변형됨을 알 수 있다.

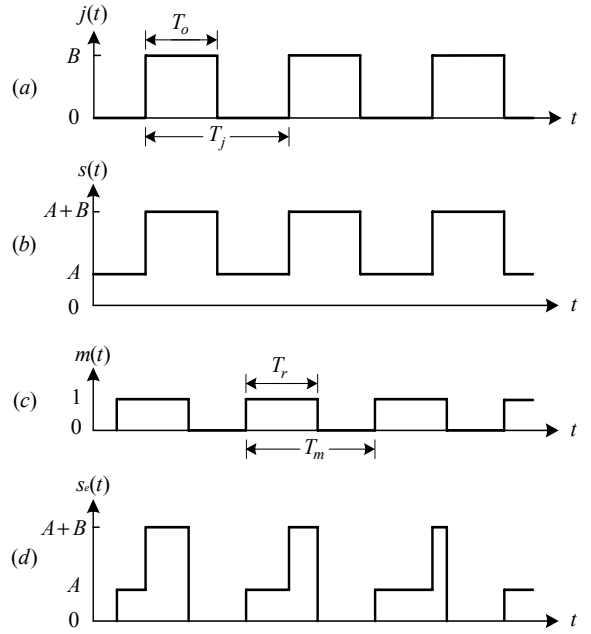


Fig. 3. 재머신호가 포함된 검출기출력신호의 예, (a) 재머신호, (b) 재머신호와 표적신호의 합, (c) 레티클 변조함수 및 (d) 유효 신호파형

탐색기추적은 변조함수의 각주파수(angular frequency) ω_m 과 가까운 신호주파수성분에만 영향을 받으므로, 유효 신호파형 $s_e(t)$ 은

$$s_e(t) \approx s(t)|_{dc} m(t)|_{ac} + s(t)|_{ac} m(t)|_{dc} \quad (5)$$

과 같이 근사적으로 표현할 수 있다. 여기서 $|_{dc}$ 는 dc-성분을, $|_{ac}$ 는 파형의 ω_m 성분을 나타낸다. 식 (5)에 식 (1)에서 (4)까지를 사용하면

$$s_e(t) \approx (A + B\rho_j) \sin(\pi\rho_m) \cos(\omega_m t - 2\pi\rho_s - \pi\rho_m) + B\rho_m \sin(\pi\rho_j) \cos(\omega_j t - \pi\rho_j) \quad (6)$$

으로 표현할 수 있으며, 여기서 $\rho_j = T_o/T_j$, $\rho_m = T_r/T_m$ 및 $\rho_s = T_s/T_m$ 이다. 표적의 방위각은 $s_e(t)$ 와 장동(nutation) 회전 각주파수 ω_m 과의 위상차와 관련이 있다. 이의 위상차를 구하기 위해 $s_e(t)$ 와 $\exp(j\omega_m t)$ 를 서로 곱하고 저주파성분만을 통과시킨 것을 $\phi(t)$ 라 정의하면

$$\begin{aligned} \phi(t) &\equiv s_c(t) \exp(j\omega_m t)|_{LF} \\ &\approx (A + B\rho_j) \sin(\pi\rho_m) \exp[j\pi(2\rho_s + \rho_m)] \\ &\quad + B\rho_m \sin(\pi\rho_j) \exp[-j(\Delta\omega t - \pi\rho_j)] \end{aligned} \quad (7)$$

과 같고, 여기서 $\Delta\omega = \omega_j - \omega_m$ 이다. 만일 재머주파수와 장동주파수가 동일하여 서로 동기가 되었을 때, 즉 $\Delta\omega = 0$ 일 때 $\phi(t)$ 가 영이 되기 위해서는

$$\begin{aligned} (A + B\rho_j) \sin(\pi\rho_m) \exp[j\pi(2\rho_s + \rho_m)] \\ + B\rho_m \sin(\pi\rho_j) \exp(j\pi\rho_j) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

의 조건을 만족하여야 한다. 이는 두 조건

$$(A + B\rho_j) \sin(\pi\rho_m) = B\rho_m \sin(\pi\rho_j) \quad (9)$$

$$\rho_s = \frac{1}{2}(\rho_j - \rho_m + 1) \quad (10)$$

을 만족하여야 함을 의미한다. (9)의 조건은 T_r 을 조정함으로써 만족되며, (10)의 조건을 만족하기 위해서는 T_s 도 조정하여야 한다. 여기서 ρ_m , ρ_j 및 ρ_s 의 범위는 모두 0에서 1까지이므로 레티클변조인자 ρ_m 와 재머변조인자 ρ_j 가 0.5에 가까운 경우에 재밍효율이 높다^[1]. 이 영역으로부터 벗어나면 이 분석의 정확도는 급속히 감소할 수 있다.

나. 고정 레티클 탐색기의 신호처리

Fig. 4는 고정 레티클 탐색기의 신호처리 과정을 나타낸다^[7,8]. 검출기의 출력신호는 자동이득조절기(AGC : Automatic Gain Controller)를 통과하고 캐리어 대역통과필터(BPF)로 캐리어신호를 추출한다. 이 캐리어신호는 리미터(limiter)에 의해 진폭이 제한된다. 주파수 판별기(frequency discriminator)는 캐리어신호의 고주파성분을 검출하기 위해 사용되며, 포락선(envelop)검출기로 캐리어 주파수가 높은 부분은 진폭이 증가시켜 진폭변조된 것과 같은 효과를 가지게 한다. 이의 파형은 장동회전으로 인해 주기적인 특성을 가지므로 BPF를 이용하여 장동 회전주파수(spining frequency) 성분을 추출하며, 위상판별기(phase discriminator)로 회전의 기준 위상과 비교하여 X 및 Y축의 위상오차(phase error)를 각각 검출한다. 각 위상오차의 저주파성분은 탐색기 자이로광학계(gyro optics)의 2개축 세차코일(precession coil)에 전달되어 탐색기가 표적을 지속적으로 지향하도록 추적제어가 이루어진다.

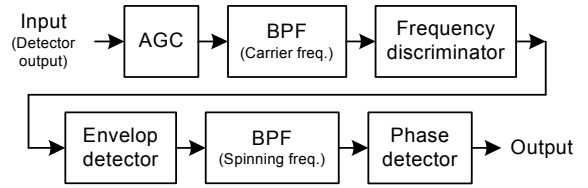
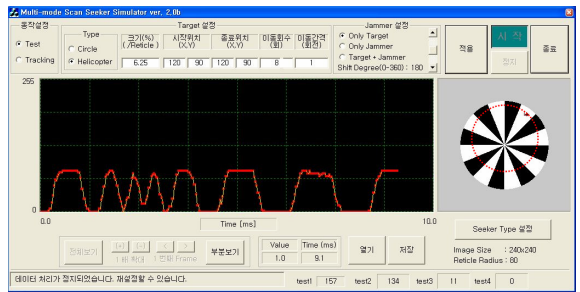


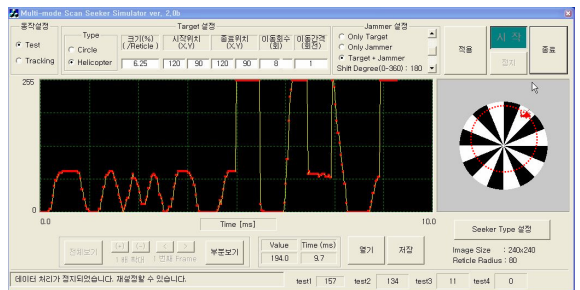
Fig. 4. 고정 레티클 탐색기의 신호처리 블록도

3. 재밍효과 분석

본 연구에서는 고정 레티클을 가지는 탐색기의 재밍효과를 분석하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 레티클은 Fig. 2(a)에서와 같이 8개의 투과 스포크(spoke)와 8개의 차단 스포크를 가진 원형톱니판을 사용하였고, 장동회전주파수 f_m 은 100Hz 그리고 샘플링주파수 f_s 는 36kHz로 설정하였다. 신호처리에서 첫 번째 BPF는 캐리어주파수 성분을 통과시키기 위한 필터로서 중간주파수가 1.2kHz이고 대역폭이 500Hz가 되도록 설계하였고, 두 번째 BPF는 장동주파수 성분을 통과시키기 위한 필터로서 중간주파수가 100Hz이고 대역폭을 20Hz로 설계하여 사용하였다.



(a) 재밍신호가 없을 때



(b) 재밍신호가 있을 때

Fig. 5. 개발한 탐색기 모의시험 툴(tool)

검출기의 데이터는 자체개발한 탐색기 모의시험틀(tool)을 이용하였으며, Fig. 5는 이의 화면을 나타낸 것이다. 모의시험 틀은 장동회전주파수, 데이터 샘플링주파수, 표적의 위치, 크기, 강도 및 이동 등을 설정할 수 있고 데이터를 저장하고 처리할 수 있도록 개발되었다. 그림에서의 파형은 모의로 형상화한 헬기표적이 시준선(line of sight)의 중앙에 위치할 때 표적이 장동회전으로 인해 발생한 검출기 출력파형을 나타낸다. 장동회전의 반경은 레티클 반경의 60%로 설정하였다. Fig. 5(a) 및 (b)는 재밍신호가 없을 때와 있을 때 각각의 검출기 출력파형을 나타낸다. 재밍신호가 없을 때는 파형에서 주파수가 높은 부분이 표적의 위치를 나타내지만 재밍신호가 있을 때는 파형이 변조되어 표적이 다른 위치에 있는 것으로 잘못 인식되게 된다.

Fig. 6은 표적이 방위각 135도에 위치하고 표적의 궤적이 모두 레티클 내에 포함되는 경우에 대한 신호처리의 결과를 나타낸다. 구형파는 검출기로부터의 신호가 AGC를 통과하고 클리핑된 신호를 1로 정규한 파형이며, 캐리어주파수 성분을 통과시키는 BPF1의 출력파형과 회전주파수 성분을 통과시키는 BPF2의 출력파형을 나타낸다. BPF2의 출력파형은 회전주파수인 100Hz의 정현파이고 표적의 방위각인 135도에서 피크값을 가짐을 알 수 있다.

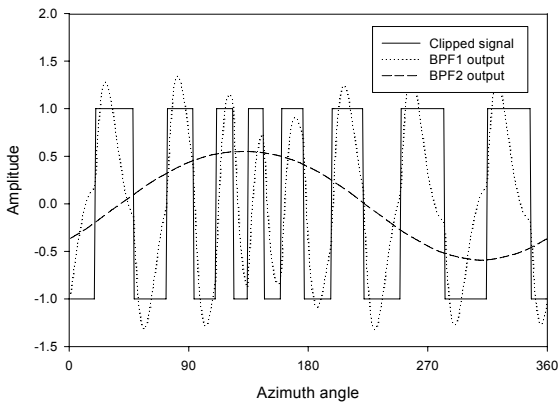


Fig. 6. 방위각 135도에 표적이 있을 때의 신호처리 결과

가. 재밍신호 강도 B 에 따른 영향

재밍신호 $j(t)$ 의 각주파수 $\omega_j = 2\pi f_j$ 가 탐색기의 장동회전 각주파수 $\omega_m = 2\pi f_m$ 과 동일하고 위상도 서로

동일할 때 재밍신호의 강도 B 에 따른 영향을 조사하였다. Fig. 7은 재밍신호의 강도 B 에 따른 위상오차 $\bar{\phi}$ 를 나타낸다. 위상오차 $\bar{\phi}$ 는 매 장동회전마다 $\phi(t)$ 를 평균한 값인

$$\bar{\phi} = \frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} \phi(t) dt \tag{11}$$

을 나타낸다. 여기서 T_m 는 장동회전주기이다. 위상관별기의 출력인 $\phi(t)$ 는 표적추적을 위한 자이로광학계에 인가되며 자이로의 관성에 의해 주로 이의 DC성분으로 추적이 이루어지기 때문이다. $\bar{\phi}$ 의 크기는 신호처리에 포함된 여러 변수들에 영향을 받으므로 사용하는 신호처리방식에 따라 달라질 수 있다.

재밍신호가 없는 경우($B=0$)와 재밍신호의 강도가 $B=1$ 및 $B=2$ 인 경우의 결과이며 두 주파수와 위상이 서로 동일하므로 안정되게 위상오차 $\bar{\phi}$ 의 값이 0.50, 0.58 및 0.75로 각각 수렴되었다.

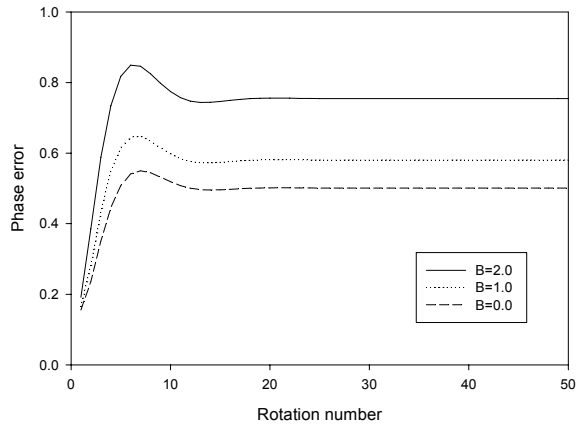


Fig. 7. $f_j = f_m = 100 \text{ Hz}$ 이고 동상일 때 재밍신호 강도 B 에 따른 위상오차 $\bar{\phi}$ 의 변화

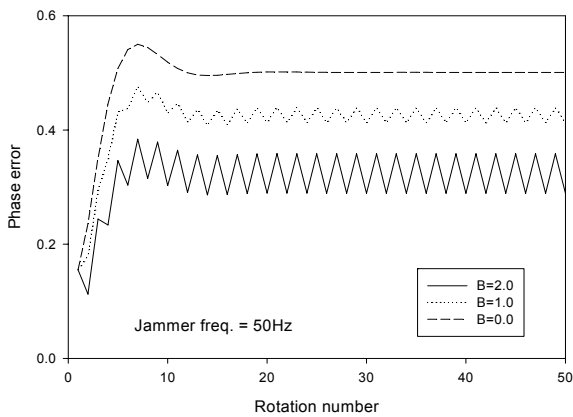
나. 재머주파수 f_j 의 변화에 따른 영향

이 절에서는 재머주파수 f_j 와 장동회전주파수 f_m 가 다른 경우의 위상오차변화를 조사하였다. 장동회전주파수 f_m 은 100Hz로 두었고, 재밍신호 $j(t)$ 는 Fig. 3(a)와 같은 파형을 주파수 가변시켜 재머효과를 조사하였다. Fig. 8은 재머주파수 f_j 가 50Hz, 95Hz, 110Hz 및 150Hz일 때 각각의 위상오차 $\bar{\phi}$ 의 변화를 나타내

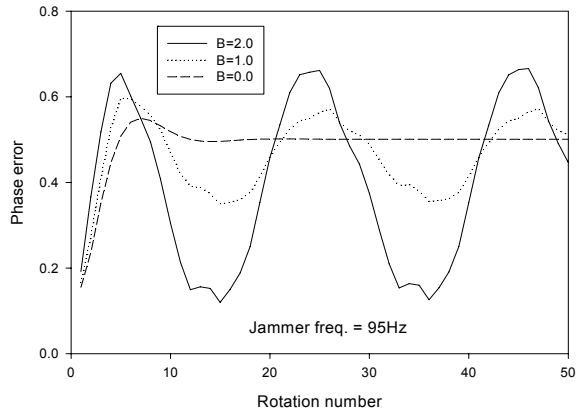
고, 이들 결과파형의 평균(mean) 및 분산(variance) σ^2 은 Table 1과 같다. f_m 과 f_j 가 100Hz로 서로 동일한 경우인 Fig. 7과 비교하였을 때, f_j 가 100Hz와 유사한 95Hz와 110Hz의 경우에는 위상오차 $\bar{\phi}$ 의 변화가 크게 나타난다. 반면에 f_j 가 100Hz보다 먼 주파수인 50Hz 및 150Hz는 $\bar{\phi}$ 의 변화가 적게 나타남을 알 수 있다.

식 (7)에서 나타난 바와 같이 위상차의 주파수는 $\Delta\omega = \omega_j - \omega_m$ 과 같다. 따라서 Fig. 8에서 $\bar{\phi}$ 의 주파수는 f_m 과 f_j 의 차이와 같다는 점에 주목하라. f_j 가 110Hz인 그림 (c)의 예에서 f_m 이 100Hz이므로 차이주파수가 10Hz이므로 $\bar{\phi}$ 의 파형은 1초에 10주기의 정현파를 가진다. 장동회전속도는 초당 0.01초이므로 가로축의 50회전은 0.5초를 나타낸다. 따라서 0.5초에 정현파가 5주기를 가지므로 10Hz임을 알 수 있다. 파형의 초기부분은 과도응답으로 뚜렷한 정현파형태를 가지지 못한다.

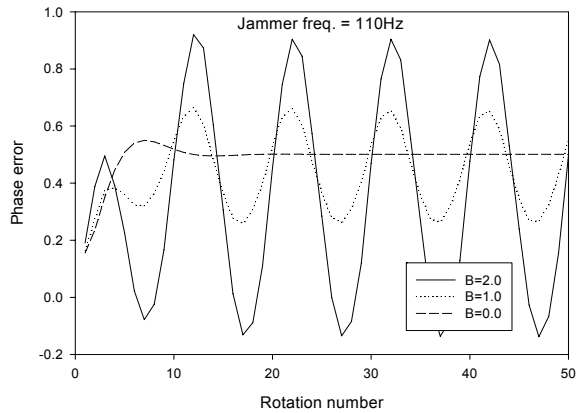
장동회전주파수 100Hz를 중심으로 재머주파수 f_j 를 10Hz부터 1kHz까지 변화시켰을 때 이들 주파수에 대한 $\bar{\phi}$ 의 평균과 분산을 계산한 결과는 Fig. 10과 Fig. 11에서와 같다. 재머주파수가 회전주파수와 동일한 100Hz 부근에서 $\bar{\phi}$ 의 평균과 분산이 크게 변함을 알 수 있다. 재머주파수 f_j 가 더욱 증가할수록 평균은 재머신호가 없는 경우의 위상차인 0.5로 수렴하고 분산은 0으로 수렴하였다. 100Hz에서 분산이 작은 이유는 두 주파수의 위상이 서로 동일하기 때문이다. 결과적으로, 재머주파수 f_j 가 장동회전주파수 f_m 와 유사할수록 재밍효과가 크다는 것을 알 수 있다.



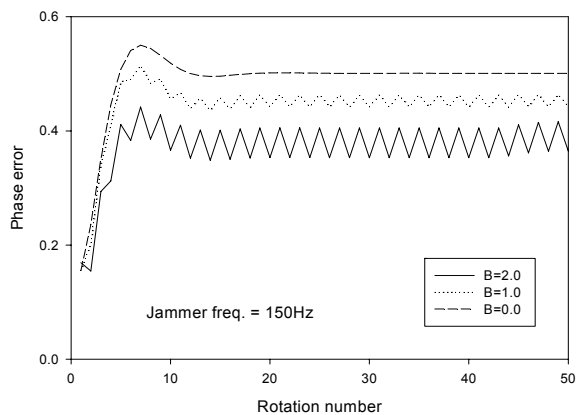
(a) $f_j = 50Hz$



(b) $f_j = 95Hz$



(c) $f_j = 110Hz$



(d) $f_j = 150Hz$

Fig. 8. 재머주파수 f_j 가 (a) 50Hz, (b) 95Hz, (c) 110Hz 및 (d) 150Hz일 때 $\bar{\phi}$ 의 변화

Table 1. 재머주파수에 따른 $\bar{\phi}$ 의 평균 및 분산

Jammer freq. [Hz]	B	mean of $\bar{\phi}$	variance of $\bar{\phi}$
all freq.	0.0	0.50464	0.00000
50	1.0	0.42849	0.00026
	2.0	0.32510	0.00123
95	1.0	0.46892	0.00537
	2.0	0.40182	0.03168
100	1.0	0.58493	0.00027
	2.0	0.76091	0.00051
110	1.0	0.45784	0.01957
	2.0	0.36195	0.13185
150	1.0	0.46308	0.00027
	2.0	0.41476	0.00074

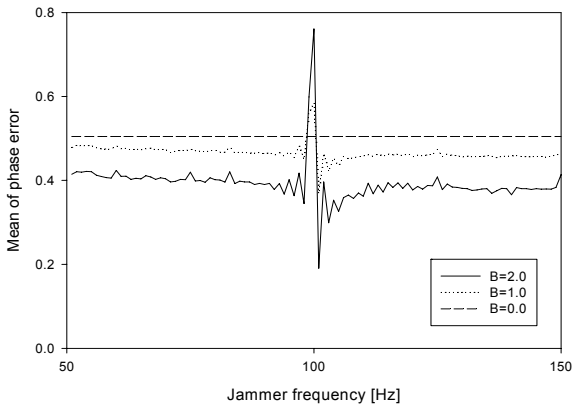


Fig. 9. 재머주파수 f_j 변화에 따른 $\bar{\phi}$ 의 평균

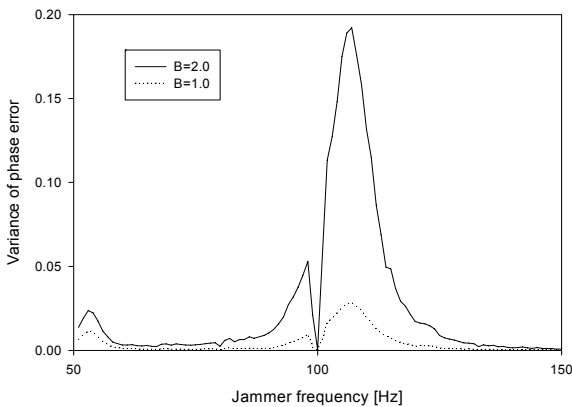


Fig. 10. 재머주파수 f_j 변화에 따른 위상차 $\bar{\phi}$ 의 분산

다. 재머신호의 듀티비 ρ_j 의 변화에 따른 영향

재머파형신호는 Fig. 3(a)에서와 같이 펄스주기 T_j 뿐만 아니라 펄스폭 T_o 에도 영향을 받는다. 따라서 재머의 듀티비(duty ratio)인 재머변조인자 $\rho_j (= T_o / T_j)$ 의 변화에 따른 재머효과를 조사하였다. Fig. 11은 재머의 백분율 듀티비에 따른 위상오차의 최대분산의 변화를 나타낸다. 장동회전주파수는 100Hz로 고정시키고 재머주파수는 50Hz에서 150Hz까지일 때 각 재머주파수의 재머 백분율 듀티비를 1%에서 100%(ρ_j 는 0.01에서 1)로 가변시켜 위상오차의 분산의 최대값을 조사하였다. 재머주파수가 107Hz에서 대부분 위상오차분산이 최대였고, 재머 백분율 듀티비가 58%일 때 최대 위상오차분산을 가졌다. 위상오차분산은 ρ_j 가 0 또는 1에 가까울수록 크게 감소하고 약 0.5일 때 증가한다는 것을 알 수 있다. 이는 식 (9)와 (10)의 조건을 만족하기 위해서는 $\rho_j = 0.5$ 이 적합하다는 이론적 분석의 결과와 일치하였다.

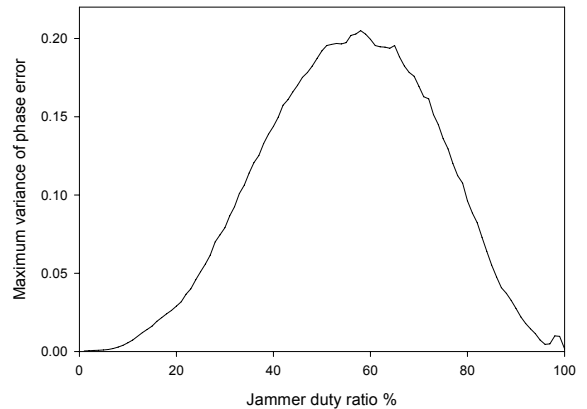


Fig. 11. 재머변조인자 ρ_j 에 따른 $\bar{\phi}$ 의 최대분산

라. 재밍효과 고찰

재밍효과는 탐색기에서 신호처리의 결과인 위상오차신호의 변화율을 조사하면 알 수 있다. 위상오차의 변화율은 탐색기와 표적의 시선(line of sight) 변화율을 야기시키고, 이는 미사일의 자동항법유도에 영향을 주기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 재머신호의 매개변수인 강도 B , 재머주파수 f_j 및 듀티비 ρ_j 의 변화에 따른 위상오차신호의 평균과 분산을 조사하여 재밍효과를 조사하였다. 재머신호의 강도 B 가 클수록 재밍효과가 크게 나타났으며 다른 모든 매개변수들의

변화에도 영향을 주었다. 재머주파수는 장동회전주파수와 유사할수록 그 효과가 더욱 크게 나타났다. 이는 탐색기의 신호처리과정에서 최종적으로 회전주파수대역만을 통과시키기 때문이다. 따라서 장동회전주파수와 다른 재머주파수에서는 재밍효과에 큰 영향을 주지 못하였다. 단지 두 주파수가 동일하고 위상도 동일한 경우는 재밍효과가 급속히 떨어졌다. 그리고 재머 펄스신호의 듀티비 ρ_j 에 대한 조사에서 ρ_j 가 약 0.5일 때 재밍효과가 높다는 것을 확인하였다.

재밍신호가 없을 때와 있을 때에 탐색기의 추적특성을 시뮬레이션하였다. 탐색기의 중앙에 표적이 정지되어 있다고 가정하였을 때 120ms 이후에 재밍신호가 가하였다. 이의 표적추적 결과는 Fig. 12에서와 같다. 좌측과 중앙의 그림은 시간에 따른 표적의 X축 및 Y축 위치변화를 각각 나타내고 가로 시간축 1개의 눈금은 40ms이다. 맨 우측 그림은 X축과 Y축 2차원 공간에서의 표적궤적을 나타낸 것으로 바깥원은 탐색기에서 본 FOV이다. 재밍주파수 105Hz의 재밍신호가 가해졌을 때 표적은 회전하면서 FOV 밖으로 벗어남을 알 수 있다. 탐색기의 FOV 내에 표적이 없으면 미사일은 OBL(Optical Break-Lock) 상태가 되어 표적으로부터 이탈된다.

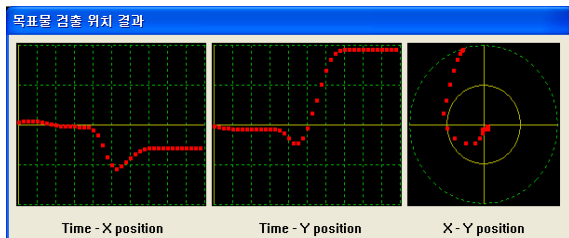


Fig. 12. 표적의 추적결과 궤적

4. 결론

본 연구에서는 고정 레티클 탐색기에 대응하기 위한 IRCM의 재머신호에 대한 재밍효과를 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 재머펄스신호의 강도, 재머주파수 및 듀티비가 스피닝 레티클 탐색기에 주는 영향에 대해 조사하였으며, 모두 재밍효과에 영향을 줄 수 있었다. 특히 재머신호의 주파수가 탐색기의 장동회전주파수와 근사할수록 재밍효과가 높음을 확인하였다. 따라서 효과적인 IRCM의 재머신호를 발생하기 위해서

는 대응할 탐색기에 대한 주파수특성을 사전에 알아야 하는 과제를 가진다. 이미 군사 선진국에서는 각종 미사일의 특성을 파악하여 최적의 재밍신호를 개발하였으며 이들을 조합하여 발사하는 IRCM 시스템이 개발되어 운용되고 있다. 또한 공격해 오는 미사일에 레이저를 발사하고 반사되어 오는 신호를 분석하여 미사일의 종류를 파악하고 이에 최적의 재밍신호를 발사하는 CLIRCM(Closed-Loop IRCM)방식도 연구 및 개발되고 있다.

후 기

이 논문은 국방과학연구소의 “개발기초연구”의 지원에 의한 연구결과임.(ADD-08-07-01)

Reference

- [1] David H. Pollock, Countermeasure Systems, The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook, Volume 7, SPIE Optical Engineering Press, 1993.
- [2] D. H. Titterton, “A Review of the Development of Optical Countermeasures”, Proc. of SPIE, Vol. 5615, 2004.
- [3] J. Heikell, “Electronic Warfare Self-Protection of Battlefield Helicopters : A Holistic View”, Helsinki University of Technology, Applied Electronics Laboratory Series E : Electronics Publications E18, Espoo 2005.
- [4] D. W. Fisher, R. F. Leftwich, and H. W. Yates, “Survey of Infrared Trackers”, Applied Optics, Vol. 5, No. 4, pp. 507~515, April, 1996.
- [5] R. G. Driggers, C. E. Halford, and G. D. Boreman, “Parameters of Spinning AM Reticles”, Applied Optics, Vol. 30, No. 19, pp. 2675~2684, July, 1991.
- [6] H-K Hong, S-H Han, and J-S Choi, “Simulation of the Spinning Concentric Annular Ring Reticle Seeker and an Efficient Counter-Countermeasure”, Optical Engineering, Vol. 36, No. 11, pp. 3206~3211, Nov. 1997.
- [7] S-H Han, H-K Hong, and J-S Choi, “Dynamic Simulation of Infrared Reticle Seekers and an

- Efficient Counter-Countermeasure Algorithm”, Optical Engineering, Vol. 36, No. 8, pp. 2341~2345, Aug. 1997.
- [8] G. Olsson, “Simulation of Reticle Seekers by Means of an Image Processing System”, Optical Engineering, Vol. 33, No. 3, pp. 730~736, Mar. 1994.
- [9] 안상호, 김영춘, 이광세, 김기홍, 김성수, “스핀스캔 레티클 탐색기의 DIRCM 재밍효과 분석”, 한국군사과학기술학회지 제12권 제6호, pp. 776~784, 2009년 12월.