

# 적외선 표적 추적 시뮬레이션을 위한 공중 표적 포착 모델링

정회원 오정수\*, 두경수\*, 장성갑\*, 서동선\*\*, 최종수\*

## Acquisition Modeling of an Airborne Target for IR Target Tracking Simulation

JeongSu Oh\*, KyungSoo Doo\*, SurngGabb Jahng\*, DongSun Seo\*\*, and JongSu Choi\*  
*Regular Members*

### 요 약

본 논문은 적외선 유도 무기의 표적 추적 시뮬레이션을 위한 공중 표적 포착 모델링에 대한 연구이다. 표적의 적외선 특성, 대기 투과 특성, 및 검출기 특성에 대한 모델링이 핵심 기술을 이루는 이 모델링은 시선, 거리, 및 대기 상태에 따른 다양한 추적 조건에서 공중 표적을 포착하는 과정을 보여준다. 계산된 결과를 측정값과 비교하거나 제안된 모델링을 적외선 표적 추적에 관련된 여러 시뮬레이션들에 적용하여 그 효용성을 확인하였다. 또한, 제안된 모델링은 유사 표적으로부터 표적만을 효과적으로 찾아내기 위한 최적 검출기 및 검출 대역 설정을 위한 이정표로 활용될 수 있다.

### ABSTRACT

This paper describes the acquisition modeling of an airborne target for target tracking simulation of infrared homing missiles. The modeling, of which key technologies are the sub-modeling for target infrared signature, atmospheric transmission, and receiver characteristics, shows the acquisition process of an airborne target under various tracking conditions determined by line-of-sight, distance, and atmospheric conditions. We confirm the validity of the modeling by applying it to simulations concerned with target tracking. The modeling gives a guideline to determine an optimum detector and a detection band for effective discrimination of the target among false targets.

### I. 서론

적외선 유도 미사일은 표적으로부터 방출된 적외선 에너지를 수신하고 분석하여 표적을 포착하고 추적을 수행한다. 표적의 추적은 수신된 적외선 에너지의 포착에 의해 이루어지므로, 수신된 적외선 에너지를 관측하는 것은 적외선 표적 추적 시뮬레이션을 통한 미사일의 성능을 예측하는데 매우 중요하다. 그러나, 항공기와 같은 공중 이동 표적의

적외선 에너지를 미사일의 추적 경로를 따라 직접 관측하는 것은 거의 불가능하다. 본 논문은 비행기와 같은 공중 표적의 추적 시뮬레이션을 수행하기 위해 수신된 적외선 전력의 계산 및 포착을 보여주는 공중 표적 포착 모델링에 관한 연구이다. 이는 적외선 유도 무기 개발뿐만 아니라 적외선 영상 장치 개발에도 필수적인 연구이다. 그러나 공중 표적 포착 모델링은 무기 개발과 관련하여 이루어지기 때문에 적외선 시스템과 관련된 문헌에서 표적의

\* 중앙대학교 전자공학과(jschoi@candy.ee.cau.ac.kr)

\*\* 명지대학교 전자공학과

논문번호 : 99048-0204, 접수일자 : 1999년 2월 4일

※ 본 연구는 자동제어특화센터 및 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

적외선 특성 모델링에 대한 방법론만 언급되고 모델링의 결과는 공개되지 않고 있다. 그래서 일부 표적 추적 시뮬레이션에서 표적을 점 (point) 혹은 면적을 갖는 점 (spot)으로 단순하게 모델링하고 있다 [1],[2].

본 논문의 표적 포착 모델링은 시선 (line-of-sight, LOS), 거리, 및 대기 상태에 따른 다양한 추적 조건에서 공중 표적을 포착하는 과정을 보여주는데, 표적의 적외선 특성 모델링, 대기 투과 특성 모델링, 및 검출기 특성 모델링이 그 핵심 기술이다 [3]-[5]. 본 논문에서는 표적 추적 시뮬레이션에 적합한 단순화된 공중 표적 모델을 먼저 구성하고, 표적에서 나오는 적외선 에너지를 계산하고, 이 에너지가 대기를 통과하여 미사일의 수광부를 거쳐 검출기에 모아지고, 이 에너지가 검출기 특성이 고려된 신호로 바뀌는 공중 표적의 포착 과정을 보여준다. 또한, 표적과 추적 미사일의 궤적, 추적 궤도상에서 본 적외선 영상의 형태 등의 표적 추적과 관련된 여러 가지 시뮬레이션들과 그 결과들을 보여준다. 이 결과들은 표적 추적 시뮬레이션은 물론이고, 배경잡음이나 유사 표적으로부터 표적만을 효과적으로 찾아내기 위한 최적 검출기 및 검출 대역 선택에도 이용된다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 일반적인 물체의 적외선 특성 모델링을 설명하고, 표적 추적 시뮬레이션에 적합한 표적 모델과 그 표적의 적외선 특성 모델링을 II장에서 제안한다. III장에서는 적외선 에너지가 대기를 투과 하면서 발생하는 흡수에 의한 감쇠를 모델링하고, IV장에서는 검출기의 특성과 검출기가 표적 검출에 미치는 영향을 설명하고 그를 모델링 한다. V장에서는 표적 추적과 관련된 여러 가지 시뮬레이션 결과를 보여주고, 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

## II. 표적의 적외선 특성 모델링

표적의 적외선 특성 모델링은 표적 모델을 구성하고, 시선각에 따라 표적에서 방출되는 적외선 에너지를 얻는 것이다. 표적에서 방출되는 에너지는 표적을 구성하는 각 면에서 방출되는 적외선 에너지를 합한 것이다. 각 면에서 방출되는 적외선 에너지는 표적 자체의 복사 세기와 주변 환경의 반사에 의한 복사 세기로 표시한다 [3]-[5].

### 1. 물체의 적외선 특성 모델링

물체 자체의 복사 세기 (radiant intensity, I)는 물체의 열에 의한 것이고, 물체의 온도와 면적에 의해 결정된다. 즉, 복사 세기는 온도의 함수인 플랑크 함수 (Planck function)에 의해 주어지는 흑체의 복사량 (radiance, L)과 물체가 시선에 수직인 관측면에 투영된 면적 (projected area, A<sub>p</sub>)의 곱으로 나타난다 [3],[4]. 식 (1)은 플랑크 함수로 흑체의 방사량 (emittance, M)을 나타내고, 식 (2)와 식 (3)은 각각 흑체의 복사량과 흑체의 복사 세기를 나타낸다. 한편, 특정 대역의 복사 세기 (band radiant intensity, I)는 식 (4)와 같이 그 대역 내의 모든 파장의 복사 세기를 적분하여 구해진다. 일반적으로 표적 추적을 위해서 대기 투과율이 좋은 중적외선 (mid IR) 대역인 3~5μm와 원적외선 (far IR) 대역인 8~12μm가 고려된다 [3],[7].

$$M_{\lambda}(T) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5 (e^{hc/k\lambda T} - 1)} \quad (1)$$

$$L_{\lambda}(T) = \epsilon_{\lambda} \frac{M_{\lambda}}{\pi} = \epsilon_{\lambda} \frac{2c^2 h}{\lambda^5 (e^{hc/k\lambda T} - 1)} \quad (2)$$

$$I_{\lambda}(T) = A_p L_{\lambda} = A_p \epsilon_{\lambda} \frac{2c^2 h}{\lambda^5 (e^{hc/k\lambda T} - 1)} \quad (3)$$

$$I_{\Delta\lambda}(T) = \int_{\Delta\lambda} I_{\lambda} d\lambda = A_p \int_{\Delta\lambda} \epsilon_{\lambda} \frac{2c^2 h}{\lambda^5 (e^{hc/k\lambda T} - 1)} d\lambda \quad (4)$$

여기서 c, k, h, T는 각각 빛의 속도, 볼츠만 상수, 플랑크 상수, 절대 온도를 나타낸다. 그리고 ε<sub>λ</sub>는 파장의 함수로 0에서 1사이의 값이고, 흑체인 경우 모든 파장에 대해 1이다.

플럼(plume) 처럼 물체가 투명체가 아니면, 모델링에서 투과율은 고려되어야 한다. 투과율이 t<sub>λ</sub>인 반투명체와 그 배경 물체의 복사량은 식 (5)와 식 (6)과 같이 투과율의 영향을 받는다.

$$L_{\lambda} = (1 - t_{\lambda}) L_{\lambda}(T) \quad (5)$$

$$L_{B\lambda} = (1 - t_{B\lambda}) L_{\lambda}(T_B) t_{\lambda} \quad (6)$$

여기서 L, L(T), 첨자 B는 각각 총 복사량, 절대 온도 T인 흑체의 복사량, 배경 물체를 나타낸다.

주변환경에 의한 복사 세기는 주변환경 에너지가 검출기에 직접 입사되는 것과 주변환경 에너지가

물체에서 반사되어 검출기에 입사되는 것이 있다. 직접 입사되는 경우는 발생 가능성이 희박하므로 고려하지 않는다. 반사에 의한 복사 세기는 태양을 한 점으로 된 반사원 (reflection source)으로, 하늘과 지표면을 무한 평면으로 된 반사원으로 가정하여 계산된다<sup>[3]</sup>. 물체 표면에서 반사원에 의한 복사량 (irradiance)은 반사원에 대한 물체의 상대 위치에 따라 식 (7)과 식 (8)에 의해 결정된다. 주변환경에 의한 총복사량은 정반사 (specular reflection)와 난반사 (diffuse reflection)로 구분하여 식 (9)에 의해 구해진다. 여기서 정반사는 준정반사 (quasi-specular reflection) 개념을 도입하여 스넬의 법칙 (Snells law)에 의한 반사각을 중심으로 일정폭(e)만큼 퍼진 것으로 가정한다<sup>[3]</sup>.

$$E_{sun}^p = E_{sun} (N \cdot S) \tag{7}$$

$$E_{extended}^p = E_{extended} (1 - (N \cdot S)) \tag{8}$$

$$L_{ref} = \frac{\rho_d}{\pi} (E_{car}^p + E_{sky}^p + E_{sun}^p) + \rho_s \left( \frac{E_{sun}^p}{\Omega_{eff}} + \frac{E_{extended}^p}{\pi} \right) \tag{9}$$

$$\Omega_{eff} = \pi \sin^2 \left( \frac{e}{2} \right)$$

여기서  $E_{sun}$ ,  $E_{extended}$ ,  $E_{sun}^p$ ,  $E_{extended}^p$ 의 아래 첨자 sun과 extended는 각각 물체에 도달하는 태양과 확장 신호원 (하늘과 지표면)의 입사 에너지를 의미하고, 윗첨자 p는 투영된 입사 에너지를 의미한다. N, S는 물체의 면과 신호원의 단위 법선 벡터이다. 그리고  $L_{ref}$ ,  $\rho_d$ ,  $\rho_s$ ,  $\Omega_{eff}$ 는 각각 주변환경에 의한 총복사량, 난반사 계수, 정반사 계수, 정반사를 이르는 실질적인 입체각 (solid angle)이다.

### 1. 제안된 표적 모델과 적외선 특성 모델링

일반적인 표적의 적외선 특성 모델링은 적외선 영상 획득을 고려하고 있기 때문에 실제 표적 형상에 근사 시키기 위해 표적을 매우 자세히 세분화하고 있다<sup>[6],[9]</sup>. 그러나 표적 추적 시뮬레이션에서 중요한 것은 투영된 면적과 표적 구성 요소들의 온도이다. 구성 요소들의 온도를 유지하면서 형태를 단순화시키거나, 온도를 조금 변화시키는 것은 적외선 특성 모델링 결과에 영향을 주지 않는다. 따라서 본 논문에서 제안된 모델은 온도가 낮은 물체를 단순화 시키고, 각 구성 요소들의 온도를 동일한 것으로

가정한다. 이것은 기존의 적외선 영상 획득을 위한 모델링의 복잡하고 방대한 계산량을 줄일 수 있다.

표 1. 그림1에 제안한 적외선 원들의 온도와 크기

unit : [K],[m]

Body	temperature	length	length	width
	300(430)	15	2	2.0(10)
Engine	temperature	radius		
	1200	0.23		
Plume	temperature	length	radius	
	600	2.3	0.23	
Hot-air	temperature	length	inner radius	outer radius
	480	8	0.3	0.4

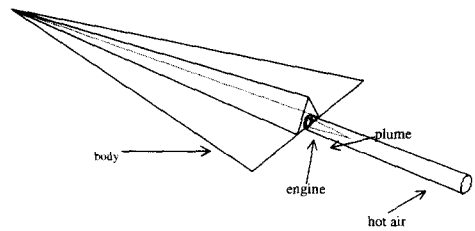


그림 1. 공중 표적의 적외선 특성 모델링을 위한 단순화된 형상

그림 1과 표 1은 공중 표적의 적외선 특성 모델링을 위한 단순화된 형상과 형상화된 각 적외선 원들 (IR sources)의 온도와 크기를 보여주고 있다. 몸체의 앞 부분은 공기 마찰을 고려해 430K의 흑체로, 나머지 부분은 300K의 흑체로 가정한다. 또한 엔진은 원형의 1200K의 흑체로, 엔진에서 나오는 연소 가스인 플럼은 주로 CO<sub>2</sub>로 구성되어 있기 때문에 중적외선 대역에서만 투과율이 0.8이고 나머지는 1인 600K의 반투명체로 가정한다. 그리고 플럼 주변의 뜨거운 공기는 전 대역에서 투과율이 0.8인 480K의 반투명체로 가정한다<sup>[3],[4],[7]</sup>.

주변환경에 의한 복사 세기에서 난반사에 의한 복사 세기는 일반적으로 전체 복사 세기의 1%이하로 표적 포착에 영향을 거의 주지 않는다<sup>[3]</sup>. 복사 세기의 1% 변화는 IV장에서 언급될 표적 포착 영역의 0.5%만을 변화시킨다. 그리고 정반사에 의한 복사 세기도 발생 확률을 고려하여 무시한다. 표적의 한면을 통해 정반사가 발생할 확률 ( $P_s$ )은 식 (10)과 같다. 정반사폭 (e)가 10°일 때 태양 에너지가 검출기에 입사할 확률은 0.0075밖에 안된다. 따라서 표적의 적외선 특성 모델링에서 주변환경의 반사에 의한 복사 세기는 고려하지 않는다.

$$P_s = \frac{\Omega_{eff}}{\Omega_{sph}} = \frac{\pi \sin^2 (e/2)}{4\pi} \tag{10}$$

여기서  $Q_{sph}$ 는 구의 입체각 각이다.

### III. 대기 투과 특성 모델링

검출기에 입사되는 표적의 적외선 에너지는 대기를 투과하면서 감쇠된다<sup>[4],[6]-[8]</sup>. 이 감쇠는 표적과 검출기 사이의 거리 및 흡수, 산란 등의 대기 특성에 의해 결정된다. 거리에 의한 감쇠는 거리의 제곱에 반비례하지만, 대기 특성에 의한 감쇠는 측정 순간의 대기의 온도, 압력 및 대기 구성 물질들의 밀도 등에 의해 결정된다. 그러나 대기에서의 감쇠는 HITRAN, LOWTRAN, MODTRAN 등 상용화되어 있는 프로그램들에 의해 주어진 대기 상태에서 높은 정확도를 가지고 계산된다. 본 논문에서 대기 투과율은 사용대역의 평균값이 사용되고, 이 평균값은 MODTRAN에 의해 계산된다.

표적에서 방사하는 적외선 에너지에 대기 투과 특성을 고려할 때, 검출기에 입사되는 에너지(irradiance, E)는 대기 투과 거리에 의한 감쇠분  $R^2$ 과 대기에 의한 감쇠분을 적용하면 식 (11)과 같이 계산된다.

$$E = \frac{I_{\Delta\lambda} \tau_{\lambda}}{R^2} = \frac{A_p}{R^2} \int_{\Delta\lambda} \tau_{\lambda} \frac{2c^2 h}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} d\lambda \quad (11)$$

여기서  $R$ ,  $\tau_{\lambda}$ 은 각각 에너지의 표적과 검출기 사이의 거리, 탄소와 수분에 의한 투과율이다.

### IV. 검출기 특성 모델링

표적 추적을 위해 사용되고 있는 적외선 검출기의 특성이 모든 파장에서 동일한 것은 아니다. 따라서 표적 추적 시뮬레이션을 위해 검출기의 특성을 이해하고 표적 포착에 미치는 영향을 고려한 검출기 모델링이 필요하다.

#### 1. 검출기 특성 모델링

적외선 검출기는 입사되는 적외선 에너지를 전기적 에너지로 변환하는 장치로 열형 검출기와 양자형 검출기로 구분된다. 일반적으로 빠르게 움직이는 원거리의 공중 표적을 추적하기 위해 응답 속도가 빠르고,  $D^*$  ( $D$ -star,)가 높은 양자형 검출기가 사용된다.  $D^*$ 는 센서의 단위 면적, 단위 대역폭에서 검출율을 말한다<sup>[6]-[8]</sup>.

표적 추적에 영향을 주는 검출기의 특성은 많지

만 반드시 고려해야 할 것은 검출기의 차단파장,  $D^*$ , 잡음 등가 전력 (noise equivalent power, NEP) 등이다. 이들은 검출기 혹은 파장에 따라 다른 특성을 갖는다. 따라서 표적 포착 모델링에서 검출기의 모델링이 반드시 필요하다. 차단 파장은 검출기 선택 단계에서만 고려되는 검출기 특성이다. 그러나  $D^*$ 는 파장마다 다르기 때문에 검출기 특성 모델링에서 이 차이가 고려되어야 한다. 이 차이는 검출기의 표적 포착에 영향을 주고, 표적 포착은 입사되는 적외선 에너지에 의해 영향을 받는다. 따라서 파장에 따른  $D^*$  차이는 검출기에 입사된 적외선 에너지의 파장에 따른 감쇠로서 등가적으로 표현할 수 있다. 즉  $D^*$ 가 최대인 파장에서는 감쇠가 전혀 발생되지 않고, 다른 파장에서는 감쇠가 최대  $D^*$ 에 대한 상대적인 값으로 나타낼 수 있다. 표적, 대기 투과 특성, 및 검출기 특성이 결정되었으므로 실제로 검출기에 도달하는 유효 적외선 전력은 식 (12)와 같이 계산된다.

$$P = \frac{A_0 D_i^*}{D_{max}^*} E = \frac{A_0 A_p}{R^2} \int_{\Delta\lambda} \frac{D_i^*}{D_{max}^*} \tau_{\lambda} \frac{2c^2 h}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} d\lambda \quad (12)$$

여기서  $D_i^*$ 는 각 파장에 대한  $D^*$ 이고,  $A_0$ 는 미사일의 수광부 면적이다.

#### 2. 표적 포착

표적의 적외선 특성 모델링 결과로부터 적외선 검출기의 표적 포착 가능 전력과 표적 포착 가능 거리를 계산하는 것은 표적 추적 연구에서 큰 의미를 갖는다. 이들은 검출기의 선택에서 중요한 자료이고, 특정 표적의 포착 가능성에 대한 특징을 알 수 있다. 입사되는 적외선 전력에 의한 신호 대 잡음비가 1일 때의 전력을 잡음 등가 전력이라 한다. 이는 검출기의  $D^*$ 에 의해 식 (13)으로 계산된다<sup>[7]</sup>. 광학계의 투과도에 의한 표적 신호의 감쇠와 각종 전기적 잡음을 고려하여 이 잡음 등가 전력의 10배의 전력을 표적 유무를 확인 및 추적이 가능한 표적 포착 전력이라 가정하면, 입사된 적외선 전력이 이보다 클 때 표적 포착이 가능하다. 그리고 표적 포착이 가능한 영역은 식 (14)을 만족하는 최대  $R$ 이다.

$$NEP = \frac{\sqrt{A_d \Delta f}}{D_{max}^*} \quad (13)$$

$$P \geq 10 \times NEP \quad (14)$$

여기서  $A_0$ ,  $f$ 는 검출기의 검지 면적과 표적 추적 시스템에서 신호 처리를 위한 대역폭으로 사용되는 검출기와 표적 추적 시스템에 의해 결정된다.

### V. 시뮬레이션 결과

#### 1. 표적의 적외선 특성 모델링 결과

온도 300K에서 2000K의 표적 구성 요소들로부터 방사하는 복사세기는 중적외선 대역에서 큰 차이를 보이지만 원적외선 대역에서는 차이가 거의 없다. 이것은 표적의 복사 세기가 중적외선 대역에서는 온도에 의해 크게 영향을 받고, 원적외선 대역에서는 면적에 크게 영향을 받는 것을 의미한다. 이것은 그림 2과 3에서 확인할 수 있다. 그림 2은 대기 투과율이 높은 중적외선 대역 3~5 $\mu$ m와 원적외선 대역 8~12 $\mu$ m에서 측정된 표적의 적외선 복사 세기를 방위각에 따라 보여주고 있다<sup>[8]</sup>. 중적외선 대역에서 측방과 후방에서 고온의 엔진과 플럼이 관측되어 그들 방향에서 복사 세기가 전방에서 관측되는 복사 세기보다 강하고, 원적외선 대역에서는 몸체와 뜨거운 공기의 넓은 면적이 관측되는 측방에서의 복사 세기가 강하게 나타난다.

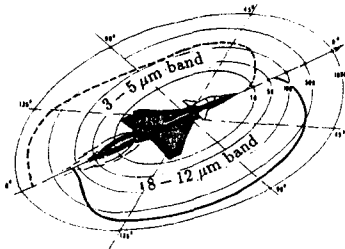
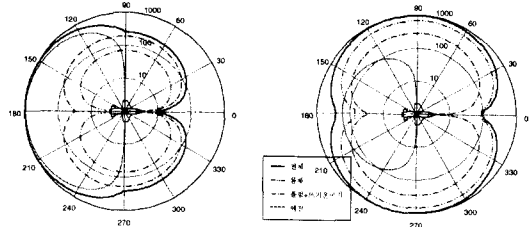


그림 2. 공중 표적의 측정된 복사 세기 분포

그림 3는 본 연구에서 제안된 표적이 원거리에 있을 때, 동일 적외선 대역에서 표적의 모델링 결과를 방위각에 따른 복사 세기로 보여 주고있다. 또한 그림 3는 전체 복사 세기를 몸체, 엔진 그리고 플럼과 뜨거운 공기의 합으로 구분하므로 구성 요소들의 특성을 보여 주고 있다. 제안된 표적 모델이 간단하지만 표적의 특징을 잘 나타내고 있기 때문에 그림 2와 3에 비교된 것처럼 측정된 값과 계산된 값은 동일한 특성을 보여주고 있다. 그리고 표적을 수백 개의 면으로 구성한 모델링 결과와 비교해도 전체적 특성은 동일하다<sup>[9]</sup>. 이 결과들은 제안된 표적 모델과 적외선 모델링이 유효하다는 것을 보여

준다. 제안된 방법을 이용하여 표적의 적외선 방사 체들에 대해 모델링을 수행하고, 이들의 방사 특성을 비교함으로써, 표적 외의 신호를 제거할 수 있는 적절한 대역을 설정할 수 있다



(a) 중적외선 대역 (b) 원적외선 대역  
그림 3. 공중 표적의 측정된 복사 세기 분포

#### 2. 표적 포착 영역

표적 추적에 많이 사용되는 중적외선 대역인 3~5 $\mu$ m에서 제안된 표적 모델을 이용해 표적의 포착 영역을 계산한 결과를 그림 4에 보여 주고 있다. 여기서 대기 투과율은 MOTRAN에 의해 계산되었다. 이때, 표적은 1km 상공에 있고 대기상태는 1976년 미국 표준 모드이다. 검출기는 중적외선 대역 3~5 $\mu$ m에서  $D^*$ 가 좋은 황화납 (PbS) 검출기를 사용한다<sup>[8]</sup>. 이 검출기의 최대  $D^*$ ,  $A_0$ ,  $A_d$ 는 각각  $9.8 \times 10^{10}$ ,  $15\text{cm}^2$ ,  $0.04\text{cm}^2$ 이고,  $f$ 는 800을 사용한다. 그림 4는 표적의 복사 세기가 클수록 그 포착 영역이 증가하는 것을 보여 주고 있다. 그래서 표적 전방에서는 포착 영역이 짧고, 표적의 후방에서는 포착 영역이 길다. 그러나 복사 세기와 포착 거리가 정비례하지 않은 것은 대기 투과율이 거리가 멀수록 더욱더 낮기 때문이다. 이 계산된 포착 영역은 특정 표적의 포착 영역과 표적 요소들이 포착 영역에 미치는 영향 그리고 사용된 검출기의 포착 능력을 나타낸다. 따라서 이들은 표적 추적을 위한 검출기 선택의 중요한 자료가 될 것이다.

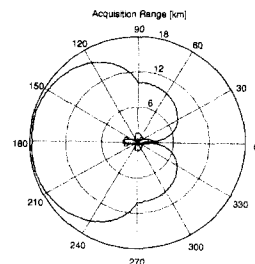


그림 4. 표적 접근 방향에 따른 표적 포착 거리

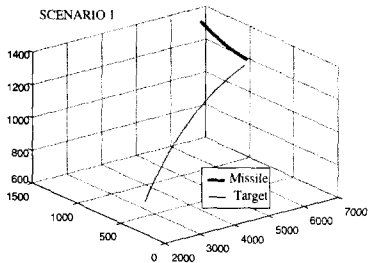
3. 시나리오 적용

표적과 그를 추적하는 미사일 사이의 관계를 보여 주기 위해 그림 5와 같이 실제 상황이 고려된 시나리오 1, 2를 설정한다. 표적은 각각 진행 중 천천히 좌우로 이동하고, 미사일은 6자유도 (Degree Of Free, DOF) 운동에 의해 표적을 추적하고 있다. 검출기로 입사되는 에너지와 검출기로 투영되는 적외선 영상은 참고 논문 [10],[11]을 근거로 6자유도 시뮬레이션에 의해 만들어진 표적과 미사일의 위치, 자세, 그리고 거리의 데이터를 이용하였다. 표 2는 시나리오의 초기 기동 조건이다.

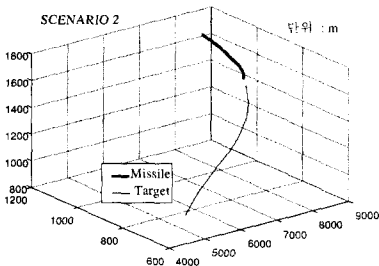
표 2. 표적의 움직임에 따른 시나리오

el. : elevation, az.: azimuth, unit : [deg.]

initial condition scenario#	velocity [m/s]	range [m]	position		flying direction	
			el.	az.	el.	az.
1	280	8000	10	-15	0	150
2	280	10000	10	-15	0	130



(a)시나리오1

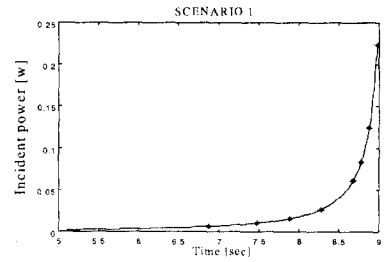


(b)시나리오2

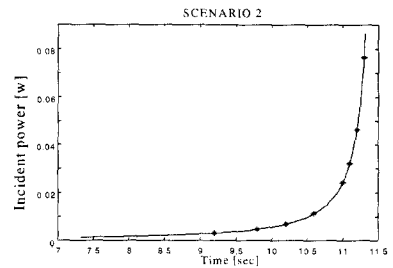
그림 5. 표적과 미사일의 궤적

그림 6은 그림 5의 시나리오 상의 미사일 검출기에 수신되는 3~5 $\mu$  m의 적외선 에너지를 식 (12)를 이용해 계산한 결과를 시간에 따라 보여 주고 있다. 그리고 그림 6에서 \*가 표시된 시각에 검출기로 입사되는 열 영상들을 그림 7에 보여주고 있다. 이 영상의 내접원은 시계 (field of view, FOV)이고, 40

이다. 그리고 온도가 높을수록 영상은 밝게 나타난다. 시나리오 1에서는 미사일이 계속적으로 표적의 측면을 보면서 추적하고 있어 표적의 자세에 큰 변화가 없고, 시나리오 2에서는 미사일이 접근하면서 표적의 정면을 보면서 추적하고 있어 투영된 면적이 작아지고 있다.



(a)시나리오1



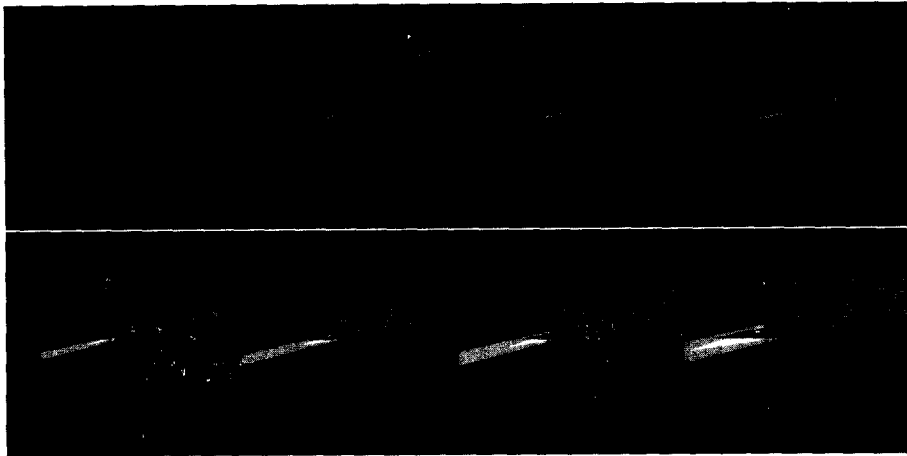
(b)시나리오2

그림 6. 시간에 따른 수신 전력의 변화

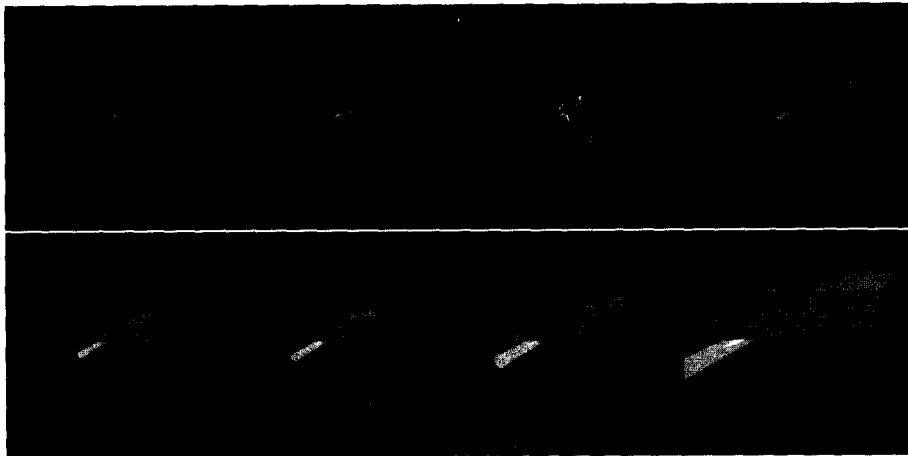
그러나 이들 영상에 가장 큰 영향을 주는 것은 거리에 따른 표적의 변화이다. 그 결과, 표적이 일정 거리 떨어져 있으면 표적이 점원 (point source)으로 나타나고, 표적이 일정 거리 접근하면 표적이 시계보다 커져 표적의 일부 에너지만 입사되는 것을 보여 주고 있다. 이 적외선 영상은 적외선 표적 신호 생성의 근원이 된다.

VI. 결론

본 논문에서는 적외선 표적 추적 시뮬레이션을 위한 공중 표적 모델을 제시하고, 이 표적 모델에서 방출되는 적외선 에너지가 대기를 통과하여 수광부에 모아진 후에 검출기에 의해 포착되는 공중 표적 포착 모델링을 제시하였다. 표적 추적 시뮬레이션을 어렵게 하는 일반적인 모델링의 복잡하고 방대한 계산량을 피하기 위하여, 제안된 표적 모델링에서는 표적 구성 요소들의 적외선 방사 특성에 따라 부분



(a) 시나리오1



(b) 시나리오2

그림 7. 그림 6에 \*로 표시된 시각에서 검출기면에 투영된 적외선 영상들

적으로 단순화 시켰다. 그러나 제안된 모델링을 이용한 방위각 및 파장 대역에 따른 적외선 특성 계산 결과는 실제 측정 데이터와 거의 같은 특징을 나타냄을 확인하였다. 또한, 대기 투과 특성 및 검출기 특성에 대한 모델링을 수행하여, 시선, 거리, 및 대기 상태에 따른 다양한 추적 조건에서 표적을 포착하는 전 과정을 모델링 하였다. 모델링 결과들을 이용한 표적의 포착 영역을 계산하고, 가상 시나리오를 적용한 표적 추적 시뮬레이션에서 시선 및 거리에 따른 각각의 표적 구성 요소들의 시계 내에서 투영되는 모양을 보여 주고, 끝으로 수신 전력을 계산하였다. 이 결과는 유도 미사일이 표적에 접근하면서 감지되는 표적의 특징을 보여 준다.

제안된 공중 표적 포착 모델링 결과는 앞으로 공중 표적 추적 시뮬레이션의 입력 신호로 이용되는

것은 물론이고, 배경 잡음이나 유사 표적을 제거하기 위한 두 대역 (two-color) 표적 추적 시뮬레이션에서 검출기 및 검출 대역의 선택을 위해 매우 중요한 자료로 활용될 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] 장성갑, 홍현기, 최종수, “로켓 주사 탐색의 추적 시뮬레이션”, 한국통신학회 논문지, 제23권 제11호, pp3165-3173, 1996.
- [2] 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, 1997.

[3] Michael C. Dudzik, *The Infrared & Electro-optical systems Handbook vol. 4 Electro-Optical Systems Design, Analysis, & Testing*, SPIE press, 1993.

[4] Seryrafi and Khalil, *Introduction to Electro-optical Imaging and Tracking Systems*, Artech House, Inc, 1993.

[5] 오정수, 두경수, 장성갑, 서동선, 최중수, "표적 추적을 위한 공중 표적의 적외선 특성 모델링", *신호처리합동학술대회 논문집*, pp727-730, 1998.

[6] Monroe Schlessinger, *Infrared Technology Fundamentals*, Dekker, 1994.

[7] Richard D.Hudson, Jr, *Infrared System Engineering*, John Wiley & Sons Inc, New York, 1969.

[8] G. Gaussorgues, *Infrared Thermography*, Chapman & Hall, 1994.

[9] 최영진, *적외선 대역에서의 원리 표적인 식에 관한 연구*, 한국과학기술원 석사학위 논문, 1996.

[10] T.G. Gainer and S. Hoffman, "Summary of transformation equations and equations of motion used in free-flight and wind-tunnel data reduction and analysis", *NASA-SP- 3070*, 1972.

[11] J.H. Blakelock, *Automatic control of aircraft and missiles*, John Wiley & Sons, NY, 1991.

구위원

1998년 2월~현재: 중앙대학교 대학원 전자공학과 박사과정  
<주관심 분야> 적외선 신호처리, 영상 신호처리 등.

장 성 갑(Sung-Gahng Jahng) 정회원  
한국통신학회논문지 제23권 11호 참조

서 동 선(Dong-Sun Seo) 정회원  
한국통신학회논문지 제23권 3호 참조

최 중 수(Jong-Soo Choi) 정회원  
한국통신학회논문지 제24권 5B호 참조

오 정 수(Jeong-Su Oh) 정회원  
1990년 2월: 중앙대학교 전자공학과 졸업  
1992년 8월: 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학 석사)  
1993년 7월~1997년 1월: 신도리코 기술연구소  
1998년 3월~현재: 중앙대학교 대학원 박사과정 재학중  
<주관심 분야> 적외선 신호 처리, 영상 신호 처리, 영상 신호 압축, 등

두 경 수(Kyung-Soo Doo) 정회원  
1989년 2월: 중앙대학교 전자공학과 졸업  
1991년 2월: 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학 석사)  
1996년~1998년: 한국 컴퓨터 프로그램 보호회 연