

## 기상 조건에 따른 함정의 적외선 방사신호 성능 평가시 고려요소 및 계측 방안 연구

길태준\*, 조용진†\*\*

해군 전투발전단\*  
한국해양연구원 해양시스템안전연구소\*\*

Study on the IR Measurement Scheme and Requirement for Its Evaluation from  
a Naval ship Considering the Meteorological Conditions

Tae-Jun Gil\* and Yong-Jin Cho†\*\*

Naval Warfare Development Group, ROK Navy\*  
Maritime and Ocean Engineering Research Institute, KORDI\*\*

### Abstract

This paper deals with the development of measuring methodology and the requirement for its evaluation of the infrared radiation from a naval ship to optical sensors, considering the Meteorological conditions. Factors required for measuring the apparent temperature and infrared radiation are identified and two methods are suggested based on the measuring instruments carried by ship or aircraft, and target operation in the Meteorological conditions is considered. This study describes some factors affecting the IR signature, required instruments to obtain the IR signal considering the naval ship.

※Keywords: Measuring methodology(측정방법론), Naval ship(해군함정), Measuring factors(측정요소), Infrared radiation(적외선 복사), Optical sensor(광학센서)

### 1. 서론

절대온도가 0K이상인 물체는 복사에너지를 방출하며 이러한 복사에너지는 가시광선 영역뿐만

아니라 적외선 영역에도 존재하므로 센서로 들어오는 모든 복사에너지를 측정할 수 있으면 사람이 인식하지 못하는 적외선 영상을 획득하여 물체를 구분할 수 있는 중요한 정보를 얻을 수 있다. 물체에서 방출되는 복사에너지는 주로 적외선 영역에 속하여 사람의 눈으로 볼 수 없는 물체의 온도 분포를 변환하여 쉽게 인식할 수 있게 된다.

접수일: 2007년 6월 14일, 승인일: 2007년 6월 28일

† 교신저자: yjcho@moeri.re.kr, 042-868-7219

주로 적외선 센서를 통해서 물체가 지니는 고유한 복사에너지를 관측할 수 있다.

특히 함정의 적외선 신호는 배경복사가 단순한 해상 환경에서 운용되는 함정의 형상 및 위치 식별에 영향을 끼침으로써 표적식별 능력이 정밀화 되고 있는 적외선 유도 미사일에 노출될 확률을 증가시키고 있다(조용진 2005, 조용진과 유재운 2005).

이러한 적외선 신호의 영향성 감소시키기 위해 최근 건조되는 함정에는 고온의 연돌 부위에서 집중적으로 방사되는 적외선 방사신호를 감소시키기 위해 노력하였으며 모델링 등을 통해 이러한 효과를 확인할 수 있었으나(길태준 등 2006) 이와 같이 주어진 기상조건에서 실제 운용중인 함정의 적외선 신호 방사수준 확인 및 스텔스 기법이 적용된 함정의 방사신호에 대해 기준치 만족여부를 확인할 필요성이 대두되고 있다(조용진 등 2006) 그러나 현재까지 외부 기상조건이 고려된 표적의 적외선 신호 계측을 수행한 바가 없으며, 계측 절차가 다소 복잡하고 고가의 계측 장비들이 요구될 뿐만 아니라 기준치 설계시 주어진 기상조건을 충족시켜야 하는 점을 감안하여 적합한 계측방안을 개발해야할 필요성이 있다.

본 연구에서는 대기층을 통과하여 표적에 도달 하는 태양 복사량과 기상조건에 따라 대기투과율과 광학센서의 탐지성능 및 표적과 센서의 위치를 고려하여 표적과 배경의 대비값으로 나타나는 적외선 신호값을 획득하고 적외선 스텔스 기법이 적용된 함정의 성능평가 방안 및 계측 수행시 요구되는 절차에 대해 연구하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 복사량 관계식

#### 2.1.1 Black body Radiation

흑체(Black body)는 총 발열량이 물체의 온도에만 의존하는 물체로 주어진 온도에서 최대 이론치의 온도를 방출하고 흡수하는 물체로서 모든 파장에서 방사율이 1.0이며 플랑크의 법칙에 따라 식(1)과 같이 나타낼 수 있다(Robert and John 1992).

$$E_{bb}(\lambda, T) = \frac{2hc_1^2}{\lambda^5 [\exp(hc_2/\lambda kT) - 1]} \quad (1)$$

$\lambda$  : 파장,  $T$  : 절대온도,  $h$  : 플랑크상수

$$c_1 = 2\pi hc_0^2 = 3.742 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4/\text{m}^2$$

$$c_2 = (hc_0/k) = 1.49 \times 10^4 \mu\text{m} K$$

$E_{bb}(\lambda, T)$  : 흑체 복사에너지

#### 2.1.2 Apparent Radiation

실제 물체는 흑체가 아니므로 온도에 따라 모든 복사에너지를 방사할 수 없다. 또한 실제조건에서는 대기의 영향에 따른 투과율과 경로 산란에 따른 대기 경로 산란 복사량이 고려되며 또한 표적의 재질 표면의 광학적 특성에 따라 반사되는 에너지까지 고려되어야한다. 또한 식(2)와 같이 표면의 특성과 온도에 의한 표면 자체의 방사율( $\epsilon$ )과 환경으로부터 입사된 신호가 표면에 반사되어나가는 반사율( $\rho$ )이 고려되어 방사된 적외선 신호  $E_{ap}$ 는 다양한 기상 조건에서의 대기투과율을 고려한 감쇠를 거쳐 센서에 도달한다(Pieter 2005)

$$E_{ap} = \int_{\lambda_0} [\epsilon(\lambda)E_{bb}(\lambda, T_t) + \rho E_{bb}(\lambda, T_{ae})] d\lambda \quad (2)$$

$$\approx \sigma T_{op}^4 \quad (\text{전체파장을 고려할 경우})$$

$$\approx \int_{\lambda_0} E_{bb}(\lambda, T_{op}) d\lambda \quad (\text{특정파장 } \lambda_0 \text{ 고려시})$$

$T_t$  : 표적의 온도

$T_{ae}$  : 배경겅보기 온도(수평표적일 경우  $T_{ae} = T_{sky}$ )

$T_{op}$  : 표적 겅보기 온도

$T_a$  : 공기온도

$\epsilon$  : 방사율

$\rho$  : 반사율

식(2)에 표적에서 센서까지 도달하는 중 감쇠요소를 고려하여 계산할 경우 대기구성 성분의 이산화탄소, 수증기, 온존 등을 고려해야 하며 이에 따라 대기의 감쇠정도는 거리와 파장의 영향을 받는 대기투과도  $\tau_a(\lambda, r)$ 을 통해 식(3)과 같이 표시

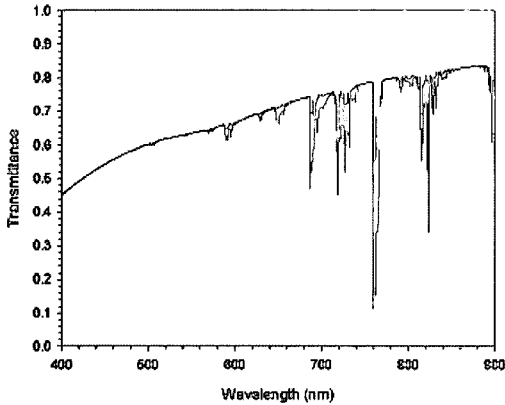


Fig. 1 Atmospheric transmittance in East Asia

한다. 만약 매질이 진공일 경우 그 값은 1.0 이지만 일반적으로 다양한 공기로 구성된 대기상태에서는 흡수(Absorption)와 분산(Scattering)에 의해 센서까지 전달되는 양이 항상 1.0보다 작은 값으로 나타나며(Robert and John 1992)

Fig. 1은 동아시아지역의 특정 파장대역에서의 대기 투과율을 나타내고 있으며  $\tau_a(\lambda, r)$ 은 Fig. 1과 같이 파장별 특성으로 나타난다(유근혁과 손병주 2005)

$$\tau_a(\lambda, r) = \exp(-\gamma(\lambda)r) \quad (3)$$

$r$ 은 센서와 표적간의 관측거리이며  $\gamma(\lambda)$ 는 파장별 감쇠계수이다 실제 표적들의 대기 투과특성을 표현하는 감쇠계수는 표적이 위치한 지형, 고도, 대기압, 온도 및 습도 등의 기상 조건, 시정에 따라 매우 다양하게 표현된다(Acharya et al. 1999)거리  $r$ 에서 Real body의 겉보기 복사량은 식(4)와 같다.

$$E_{ap} = F(r) \int_{\lambda_0} [\tau_a(\lambda, r) \{ \epsilon_t E_{tb}(\lambda, T_t) + \rho E_{bb}(\lambda, T_{ae}) \} + \{ 1 - \tau_a(\lambda, r) \} E_{bb}(\lambda, T_a)] d\lambda \quad (4)$$

$F(r)$  : 센서에서 표적이 차지하는 분율

### 2.2 복사 대비 관계식

적외선 센서를 통하여 획득한 값은 표적과 배경간의 차이 값의 형태로 나타나며 주변의 해양 및

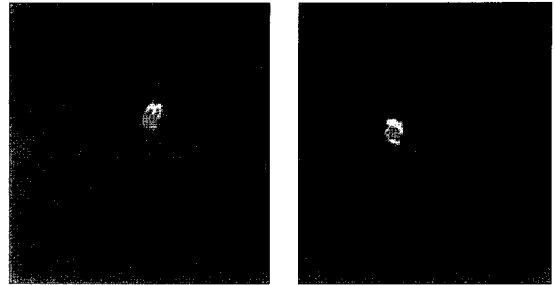


Fig. 2 Radiation contrast Image of ship

기상조건을 고려하여 표적과 배경간의 겉보기 복사량 관계식을 이용한다(Pieter 2005).

#### 2.2.1 겉보기 복사량의 대비값

적외선 센서를 이용하여 해상에 전개 중인 함정의 적외선 복사량을 계측할 경우 아래와 같은 관계식으로 함정의 겉보기 복사량  $E_{opt}$ 와 배경의 겉보기 복사량  $E_{apb}$ 간의 차이값  $\Delta E_{ap}$ 으로 나타난다(Pieter 2005).

$$E_{opt} = F(r) \int_{\lambda_0} [\tau_a(\lambda, r) \{ \epsilon_t E_{tb}(\lambda, T_t) + \rho_t E_{bb}(\lambda, T_{ae}) \} + \{ 1 - \tau_a(\lambda, r) \} E_{bb}(\lambda, T_a)] d\lambda \quad (5)$$

$$E_{apb} = F(r) \int_{\lambda_0} [\tau_a(\lambda, r) \{ \epsilon_b E_{tb}(\lambda, T_b) + \rho_b E_{bb}(\lambda, T_{ae}) \} + \{ 1 - \tau_a(\lambda, r) \} E_{bb}(\lambda, T_a)] d\lambda \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Delta E_{ap} &= E_{opt} - E_{apb} \\ &= \int_{\lambda_0} \left[ \tau_a(\lambda, r) [F(r) \epsilon_t E_{tb}(\lambda, T_t) + \rho_t E_{bb}(\lambda, T_{ae})] - F(r) \epsilon_b E_{tb}(\lambda, T_b) + \rho_b E_{bb}(\lambda, T_{ae}) \right] d\lambda \quad (7) \end{aligned}$$

Fig. 2는 '06년 12월 오후에 서해 해상에서 관측용 선박에 탑재된 적외선 센서를 이용하여 임의의 선박을 적외선 카메라로 촬영하여 복사 대비값인  $\Delta E_{ap}$ 를 영상으로 나타낸 예이며 폐기

가스가 방출되는 부분인 연돌 부분의 대비 값이 주변과의 온도차에 의해 매우 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

### 3. 계측 센서

#### 3.1 적외선 센서의 성능

계측신호는 적외선 카메라를 이용하여 얻어진 이미지를 화상분석을 통하여 원하는 복사대비의 신호로 치환하여 값을 얻는다(Pieter 2005). 적외선 카메라는 복사량 값을 2차원 배열로 변환하여 나타내며 각배열의 값은 적외선 유도무기에서와 같이 카메라의 최소 공간 분해단위(IFOV)내에 입사된 복사량을 나타낸다. 그러나 각 화소에는 배경의 복사 신호와 표적의 신호가 함께 표현되는 것이 일반적이다 이러한 센서 자체에 대한 평가기준은 기본적으로 “어느 정도 크기의 표적이 어느 정도의 복사량 차이를 가지고 있을 때 얼마의 거리에서 검출 및 영상화가 가능한가”이며 특정한 형태를 가지는 표적에 온도차를 부여하여 장비가 표적을 분해 또는 탐지할 수 있는 최소 온도차 등을 통해 나타낼 수 있다(Robert and John 1992).

#### 3.1.1 복사 대비값

검광기에 접속된 적외선에너지는 최종적으로 전기적인 신호(Voltage)로 바뀌며 이를 통해 표적의 적외선 신호를 계산할 수 있다(Pieter A Jacobs, 2005). 적외선 센서의 시스템의 전체적인 성능은 계측된 표적과 배경간의 Radiation Contrast는 센서 내에서 전기적 신호로 변환될 수 있으며 이는 시스템의 성능을 좌우할 수 있는 요소가 된다. 표적의 복사 신호에서 배경의 복사신호를 분리한 값이 복사 대비 값이며 탐지에 필요한 대비값(Contrast)은 S/N비(Signal-to-Noise ratio)로 나타낼 수 있다. 이는 표적에서 발생하는 고유의 신호와 센서의 배경잡음간의 비로서 그 값이 1.0 이상일 때 탐지 가능하다(Robert Siegel etc, 1992).

센서가 신호의 변화를 인지할 수 있는 최소의 신호 강도 값은 복사강도를 변화시키는 온도변화에 연관되어있으며 등잡음 온도차(NETD)를 통해 열적강도를 나타낼 수 있으며 식(8)과 같이 센서

의 성능 등잡음 복사도(NEI)를 나타낼 수 있다.

$$NEI = IFOV \cdot NETD \frac{dN}{dT} \quad (8)$$

$$\Delta E_{op} \geq kNEI$$

k : required probability of detection

NEI : Noise Equivalent Irradiation [ $W/m^2$ ]

$$N = \frac{2\pi c^2 \lambda^{-5}}{\exp(hc/\lambda kT) - 1}$$

#### 3.1.2 센서의 시계와 탐지거리

FOV는 센서가 한 화면상에서 관측할 수 있는 최대시야의 범위(단위:degree)이며 FOV가 클수록 분해능이 떨어지고 관측 거리가 줄어들어 센서의 운용목적에 따라 관측거리를 고려하여 적절히 선정되어야한다. IFOV(단위:sr)는 순간 시계로서 임의의 순간에 전체 FOV를 통해 신호를 수집하는 FOV를 의미한다. 적외선 센서의 NEI를 결정하는 요인이 된다. 센서의 특성에 맞도록 계산된 거리를 통해 정확한 값을 얻을 수 있다(Pieter 2005).

#### 3.2 기타 계측 장치

함정의 적외선 성능 평가를 위해 기준치 설정시 적용된 시간, 장소, 기상 조건, 표적의 운동 상태 등이 고려되어야 하며 일반 실험실내에서 계측할 경우 환경조건을 원하는 조건 값으로 임의로 통제할 수 있으나 외부에서 계측할 경우 시간에 따라 기상 조건(공기온도, 풍향/풍속, 습도 등)이 불규칙하게 변하는 특성이 고려되어야한다. 표면온도 측정계의 경우 표적에 부착되어 시간에 따른 표면온도를 획득하여 실시간 저장할 수 있는 기능을 갖춘 표면온도 측정 장치와 상대(절대)습도, 풍향, 풍속, 대기압, 강우량 등의 기상상태를 계측하기 위해 Weather station을 갖추고 해역의 수온을 지속적으로 확인하고 계측 결과에 민감한 영향을 주는 요인을 미리 식별하여 유의해야한다(Pieter 2005).

### 4. 함정의 적외선 신호 계측

함정 설계 중 적외선 스텔스 기법을 적용하기 위해 함정의 적외선 신호를 해석시 초기에 주어진

고도 및 방위각, 측정시간, 기온, 풍향, 풍속 등에 따른 계측 방안이 정해져야 하며 이에 따라 계측이 가능한 방안을 제시하고자 한다. 또한 외부 기상 상태의 적외선 신호에 미치는 민감도를 고려하여 계획된 기상 조건과 실제 기상조건이 현실적으로 일치될 수 없으므로 되도록 유사하게 절충해야 하는 어려움이 있다.

4.1 계측 방안

바다 위의 함정에 대해 계속시 계획된 기상 조건에서 함정의 이동 특성을 고려하여 해석시 주어진 고도 및 방위각에 따른 측정 방안이 정해져야 하므로 계측이 가능한 방안을 제시하고자 한다.

4.1.1 관측 선박을 이용한 계측

계측센서를 관측선박에 탑재하였을 경우 Fig. 3과 같은 절차를 통해 계측이 가능하며 관측선이 표적선의 주변을 회전하면서 관측이 가능하며 다양한 각도(Azimuth)에서 복사량을 구할 수 있으며 거리를 변화시키면서 지속적인 측정이 가능하다. 그러나 바람 및 파도의 영향에 따른 심한 요동 발생시 관측 선박에서 정확한 관측이 불리할 뿐만 아니라 충돌 우려가 있으므로 고도의 운용기술이 필요하며 센서와 표적간의 고각이 고려될 수 없다. 그러나 모든 해역에서 계측이 가능하고 장시간 여러 차례 관측을 통해 실제 기상 조건을 계획된 기상조건에 절충할 수 있으므로 성능 평가에 요구되는 기본적인 결과를 수집할 수 있다.

4.1.2 항공기를 이용한 계측

적외선 계측장치를 탑재한 헬기를 이용한 적외선 신호 계측으로 다양한 거리, 고도와 방위각을 고려한 신속한 측정이 가능한 장점이 있으며 특히 다양한 각도에서 근접촬영이 가능하여 관측선을 이용할 때보다 더욱 다양한 표적의 운동 조건에서 데이터를 얻을 수 있다(조용진 등 2006).

그러나 헬기 운용시 운항 가능시간 제한으로 장거리/장시간 계측이 어려우며 고가의 항공연료 사용에 따른 비용 증가 및 해양 기상 상태에 다소 민감하여 안정적인 계측이 어려우므로 고도로 숙련된 조종사가 필요하다. 그러나 성능 평가시

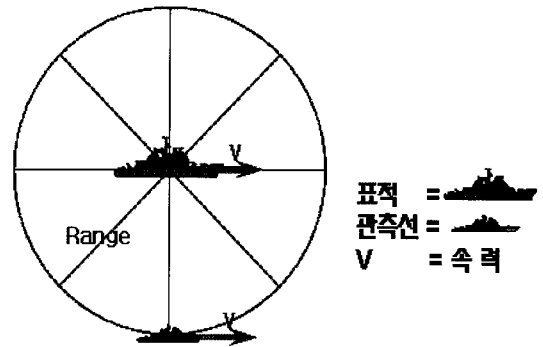


Fig. 3 Measurement of ship in observation vessel

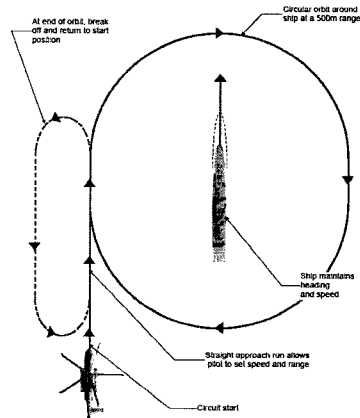


Fig. 4 Measurement of ship in observation aircraft

주어진 시간이 길지 않고 모든 방향에서 계측이 가능할 뿐만 아니라 특정한 선체 부위에 대해 적외선 방사 신호 확인이 용이하므로 필요시 운용하는 방식이 적절하다.

4.1.3 지형을 이용한 실험장소 구축

해상표적의 여러 방향 및 고도를 고려하여 측정이 가능한 지형을 찾아 실험시설을 구축할 수 있다. 적외선 카메라를 설치하여 주어진 방향에서 함정의 좌우측면 및 정면과 후면을 확인시 함정의 기동을 통해 데이터를 얻을 수 있으며 외부 기상에 구애 받지 않고 지속적인 측정이 가능하므로 안정적인 계측이 가능하나 이러한 해안지형 조건

을 갖춘 최적의 장소를 선정함에 어려움이 따르고 실험 장소 구축시 비용이 많이 소요되고 지정된 해역에서만 실험을 해야 하는 문제가 있으나 장시간 연속적인 실험을 안정적으로 수행할 수 있는 점을 고려할 때 적외선신호의 성능 평가보다 한반도 특정해역에서의 해양 환경의 적외선 신호 민감도 확인 및 함정의 적외선 신호 기준치 설계에 필요한 기본 연구를 수행에 더 적합한 방식이다.

#### 4.2 계측 절차

함정의 적외선 신호 계측시 실험 목적을 고려하여 순서 및 절차 등이 정해져야 할 것이며 정확도에 미치는 영향을 고려하여 적외선 계측을 위한 주요장비 및 변화가 심한 해상 상태에 따라 민감한 영향을 받을 수 있는 환경 조건을 고려하여 계측 순서와 회수 등의 전체적인 계획이 수립되어야 한다.

##### 4.2.1 계측 조건 결정

함정의 적외선 신호 계측 목적을 고려하여 기준치 만족여부 확인 또는 대응 수단 활용시(선체냉각 또는 기만기 발사 등) 성능확인 등의 목적에 따라 계측 횟수 또는 조건이 달라지며 이에 따라 계측 시작 및 종료 시간, 기상조건(풍향, 풍속, 습도, 공기온도 등), 측정 시간 간격 등을 정하고 장소 선정 등의 실험 계획이 결정되며 이에 따른 계측 표적의 이동 방안이 정해진다.

##### 4.2.2 계측 센서의 성능 결정

계측 센서의 정밀도를 결정하는 요소는 해상도, 탐지 거리, NEI 등이 있으며 정밀도에 영향을 미치므로 계측 전에 미리 정해야 한다. 파장대역, FOV와 같은 광학센서의 특성 등이 미리 결정되어야 한다. Table 1에서 2004년 3월 덴마크에서 실제 함정의 계측 실험에 운용된 센서의 특성을 정리하였다(Karin and Henrik 2006).

계측된 신호는 적외선 카메라의 이미지를 화상 분석하여 얻을 수 있으며 최종적으로 표적신호와 배경 신호를 받고 배경 부분의 값을 제거하여 복사 대비강도의 신호로 치환하여 값을 얻는다.

Table 1 Characteristics of MWIR and LWR Camera

구분	MWIR	LWR
Spectral band	3.5~4.14 $\mu$ m	7.5~11 $\mu$ m
Size of array	256*256	256*256
Focal length	500mm	400mm
Aperture(diameter)	0.19m	0.20m
IFOV	0.06mrad	0.1mrad

##### 4.2.3 표적의 상태 결정

표적에 발열부위 여부, 표적의 위치(경위도), 재질의 종류, 표적이 이동시 이동 특성 및 대응수단(선체 냉각기 작동, 연돌 냉각장치 운용, Decoy 사용 여부 등) 운용 여부 및 운용조건 등이 결정되어야 하며 표면의 종류 및 그 표면의 복사 물성인 파장별 방사율, 반사율, 흡수율과 표면조도 등을 정하고 물성에 따른 복사특성을 정리해야 한다.

##### 4.2.4 기타 계측 장비 선택

함정으로부터 정확한 적외선 신호를 계측하기 위해 주어진 시간에 여러 조건을 정확히 계측할 수 있어야 하며 특히 표적의 온도 측정을 위한 표면온도 측정계와 풍향, 풍속, 습도 등의 기상조건 계측을 위한 weather station 및 해상의 수온 측정을 위한 부이, 표적의 GPS위치 정보를 관측시설로 전송하는 장비가 요구되며 매시간 표면온도 및 적외선 신호 계측결과 및 주요 기상조건을 저장할 수 있는 데이터 로그를 갖추어야 한다.

##### 4.2.5 센서와 표적의 배치 결정

표적과 센서간의 거리, 고각과 방위각 등이 주어지야 하며 weather station과 표면온도 측정계는 표적에 위치하고 일정한 계측시간 간격으로 측정이 이루어져야 한다. 특히 함정의 연돌과 같이 주요 열원 발생 부위를 고려하여 표면온도 측정이 요구되는 부분을 선정하여 복사량 저감 기법의 효과 등도 확인할 수 있어야 한다.

### 5. 결론

본 연구에서는 기상상태, 대기투과율, 센서의 탐지성능 및 표적과 센서의 위치를 고려하여 적외선 신호값을 획득하고 이를 평가하는데 필요한 방안에 대하여 연구하였으며 센서를 이동식 설비(관측 선박, 항공기)에서 계속 운용하는 방안이 더 적합한 것으로 확인하였다. 이러한 계속방법을 바탕으로 전체적인 실험계획에 영향을 미치는 계속조건, 센서의 성능 요소(FOV, NEI, 탐지거리 등), 표적의 상태 등을 포함하여 계속시 필요한 절차를 확인하였으며 향후 이와 같은 계속 방법을 이용하여 실제 해상 표적을 계속하여 가장 적합한 계속방안을 정하고 더 정확한 결과를 얻을 수 있도록 계속 과정을 보강하여 향후 함정 계속의 시험평가를 위한 기준으로 정립할 필요가 있다.

### 후 기

본 논문은 한국해양연구원 기본연구과제 “지능형 함정 스텔스 성능평가 기술개발” 과제결과의 일부임을 밝힌다.

### 참 고 문 헌

- 길태준, 최준혁, 조용진, 김태국, 2007, “중위도 기상 조건을 고려한 함정의 표면온도 및 적외선방사특성 예측연구,” 대한조선학회 논문집, 제 44권, 제 1호, pp. 44-47.

- 유근혁, 손병주, 2005, “동아시아 표준 대기의 복사적 특징”, 군사과학기술학회 학술논문집, pp. 406-407.
- 조용진, 유재문, 2005, “한반도 해양환경에 따른 적외선 신호 민감도 해석연구,” 대한조선학회 논문집, 제 42권, 제 6호, pp. 679-685.
- 조용진, 2005, 한반도 해양 환경에 따른 적외선 신호 민감도 해석연구, 공학박사학위 논문.
- 조용진, 박철수, 안중우, 2006, “함정 적외선 신호의 계속절차 및 분석기법 연구,” 군사과학기술학회 학술논문집, pp. 676-679.
- Karin, S. and Henrik, V., 2006, "IR Propagation in Costal Environment-Results of the VAMPIRA Trial," Proceedings of SPIE Vol. 6364, pp. 1-10.
- Pieter A.J., 2005, "Thermal Infrared Characterization of Ground Targets and Background," The International Society for Optical Engineering.
- Robert, S. and John, R.H., 1992, Thermal Radiation Heat Transfer, McGraw-Hill, pp. 600-610.



< 길 태 준 >



< 조 용 진 >