

# 해상환경에서 함정 적외선 신호 측정 및 예측결과 비교 분석 연구

김정호<sup>1,†</sup> · 김윤식<sup>2</sup>  
국방과학연구소<sup>1</sup>  
한국해양연구원 해양시스템안전연구소<sup>2</sup>

## A Comparative Study between Measurement and Prediction Results of a Naval Ship Infrared Signature in the Marine Environment

Jung-Ho Kim<sup>1,†</sup> · Yoon-Sik Yoon<sup>2</sup>  
Agency for Defense Development<sup>1</sup>  
Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI<sup>2</sup>

### Abstract

Ship infrared signature is the cause of detection and tracking by infrared sensor and anti-ship missile seeker. Recent warships have been applied the infrared stealth technology to reduce own ship infrared signature and tested to validate own ship infrared signature level. This study describes the two issues. Firstly, we describe the infrared measurement concept and infrared signature level establishment method that have been performed. Secondly, we compare and analyze the error components between the infrared measurement and simulation result.

**Keywords** : Infrared signature(적외선 신호), Contrast radiant intensity(CRI, 대비복사세기), Atmospheric transmittance(대기투과도), Radiance(복사휘도)

## 1. 서론

함정 적외선 신호는 대함 미사일의 탐색기와 적외선 탐지/추적장비의 성능향상에 따라 탐지, 식별할 수 있는 피탐 요인으로 작용한다. 함정 적외선 신호는 모델 검증, 감소기법 개발을 위한 근거리 복사휘도 측정과 함정 적외선 수준 식별 및 기만기 효과 분석을 위한 원거리 배경 대비 표적 복사휘도 측정을 통하여 정의될 수 있다(Jacobs, 1996).

과거의 광학/적외선 탐지장비는 표적신호와 배경신호만을 구분하여 탐지하는 방식을 사용하고 있지만 현재는 배열형 검출기를 활용하여 해상도가 높은 영상을 이용하여 복잡한 배경 조건에서 표적을 식별하고 최대 피해를 줄 수 있는 타격점을 선택하는 수준을 목표로 개발되고 있다(Hudson, 2006). 이러한 무기체계에 대하여 함정은 피탐 확률을 최소화, 대응시간 증대를 통한 생존성 향상을 위하여 적외선 신호감소 대책을 함정 설계단계에서 수립하고 건조단계에서 이를 적용하고 있다.

함정에 대한 적외선 신호 수준은 함정 기본설계 단계에서 국내외의 기술용역을 통한 해석 결과를 바탕으로 설계검토회의 등을 거쳐, 함정의 신호 목표치가 설정된다. 이후 상세설계 및

건조단계에서는 설정된 목표치가 만족될 수 있도록 필요한 설비의 적용, 설계변경 및 변경사항을 포함한 재해석 등을 수행함으로써 설정된 신호 목표치를 만족할 수 있도록 설계-건조단계에서 지속적으로 관리되고 있다.

국내 함정의 설계·건조 과정에서 적외선 스텔스 기술을 적용한 것은 약 10년 전부터 시작되었으나 이 분야에 대한 연구 및 관련설비 개발은 매우 초보적인 수준에 머물러 있다. 그리고 설계과정에서 설정된 신호 목표치에 대한 평가 및 검증을 위해 건조된 함정에 대한 성능평가를 수행한 사례는 국내에서는 전무한 실정이다. 국내 함정에 대한 스텔스 성능평가의 필요성이 증대됨에 따라 적외선 신호 계측 및 결과분석을 위한 연구가 수행 중이며 관련연구 결과 중 일부를 본 논문에 기술하였다.

본 논문에서는 먼저 국내에서 설계 시 수행되는 함정 적외선 신호 수준 설정 방법, 그리고 함정에 대한 일반적 적외선 계측절차와 최근 국내 해상에서 수행된 적외선 계측 내용을 2장에 기술하였다. 국내 실적함에 대한 적외선 측정결과와 해석결과에 대한 비교분석을 통한 오차 분석 등을 3장에 기술하였으며, 현재까지 수행된 계측 및 해석비교 연구결과를 4장에 정리하였다.

## 2. 적외선 신호 수준 설정 및 계측절차

### 2.1 함정 적외선 신호 수준 설정

현재 국내에서 신조함정 설계 및 건조단계에서 수행되고 있는 적외선 신호 수준 설정은 적외선 해석 결과에 의존하고 있다. 적외선 신호 수준 및 목표치 설정 방법은 함이 운용되는 지역과 기동조건에서 적외선 감소 수준별로 적외선 신호를 예측하고 이 값에 예측 및 측정의 오차를 감안하여 최종 적외선 신호 수준을 설정하게 된다. 함이 운용되는 지역에 대한 기상 조건은 함의 적외선 신호를 결정하는데 가장 큰 영향을 미치는 요인이 된다. 즉 복사, 대류 등의 다양한 열전달 과정에 직접적인 영향을 미치는 환경조건에 따라 함의 적외선 신호는 매우 큰 폭으로 변화하게 된다. 또한 기상조건은 적외선 신호의 대기를 통한 전달과정 상의 감쇠특성(대기투과도)에도 직접적인 영향을 미치는 요인이 된다. 기상조건 중 특히 가장 큰 외부 열원인 태양광은 입사하는 방향(방위각/고각), 노출시간에 따른 영향이 매우 크게 나타난다.

실제 함정 적외선 신호 해석에 적용되는 기상조건은 대비 복사강도가 최대인 겨울과 최소인 여름 등의 경우에 대하여 예측을 수행한다. 함의 적외선 신호가 최대가 되는 조건에서 해석을 수행하고 그 결과를 설계대상 함정의 적외선 신호 요구사항 설정에 가장 중요한 기초자료로 활용한다.

함정 설계과정을 통해 선정된 장비(추진기관 등)나 검토 중인 장비 또는 설비(적외선 신호 저감 장치)의 영향에 대한 적외선 분석(해석) 자료는 함의 신호 목표를 달성하기 위한 설계 방향을 결정하는데 이용된다.

그러나 국내에서 함의 적외선 신호를 체계적으로 계측하고 그 결과를 분석한 사례가 없음으로 인해, 적외선 신호 목표 설정과정에는 해상계측을 통한 데이터, 경험 등에 의한 피드백이 이루어지지 않고 있는 것이 현실이다. 이러한 부분은 함의 적외선 신호 계측경험 및 데이터 축적을 통해 지속적인 보완이 필요할 것으로 판단된다.

### 2.2 함정 적외선 신호 측정 및 분석

함정 적외선 신호 측정은 대상함이 일정시간 동안 일반적인 운용조건(순항, 최대출력)으로 운용하는 조건에 대해 함의 신호를 측정한다. 이러한 조건은 함의 기관상태, 함의 표면과 환경간의 열전달 특성 등이 정상상태(steady state)에 근접한 조건에 대한 적외선 신호를 계측하기 위함이다. 현재까지 국내외에서 계측 및 해석 시 표준으로 적용하는 조건은 대상함과 계측용 카메라의 거리=1km의 조건에 대해 계측을 주로 수행한다. 함정 적외선 신호 측정은 측정 장비의 운용을 위한 플랫폼(platform)의 종류에 따라 세 가지로 구분되며 각각의 방법은 각기 장단점을 갖는다.

먼저 헬리콥터(helicopter)를 이용한 방법( '공대함 측정' )을 들 수 있다. 적정 고도를 유지할 수 있으며 대상함의 기동에 맞추어 동시 기동을 할 수 있는 장점으로 인해 국외의 연구진들에 의해 활용된 바 있다(Fraedrich, 2004). 이 방법의 장점은 단시간 내에 함의 전체 방위각에 대한 신호를 계측함으로써 신호계측과정에서 환경의 변화를 최소화 시킬 수 있다는 점과 높은 고각의 탐지기 조건에 대한 신호를 계측할 수 있다는 점을 들 수 있다. 그러나 단점으로는 측정 장비를 설치하기 위한 별도의 치구를 제작해야하고, 카메라가 기내에 설치되어 창을 통한 계측을 수행해야 함으로써 별도의 보정(calibration) 절차가 필요한 점(Fraedrich, 2004), 탐색기 고각이 낮은 조건은 지속적으로 계측하기 곤란한 점 등을 들 수 있다.

두 번째 방법으로는 해안의 지점에 측정 장비를 설치하고 대상함이 해안의 특정 지점을 지나갈 때 함의 적외선 이미지를 취득하는 방법이다( '지대함 측정' ). 이 방법은 NATO의 적외선 해석용 S/W의 신뢰성 평가를 위한 계측시험 시 주로 사용하는 방법(Espen, et al., 2002; Vaitekunas, 2005)으로써 관련 장비의 설치 등이 용이하고, 고정된 지점에서 데이터를 획득함으로써 우수한 정확도의 데이터 취득이 가능한 장점을 들 수 있다. 그러나 계측에 소요되는 시간이 길어 질 수 있어서 계측시간 중 환경의 변화로 인한 영향을 많이 받을 수 있고, 국내의 연안환경에서 적정 해안지역을 찾기 곤란한 점, 대상함의 다양한 방위각에 대한 계측을 수행하기 곤란한 점 등의 단점이 있다.

세 번째 방법은 측정 장비를 지원함에 탑재하고 측정을 위한 해역에서 지원함은 정지(또는 서행)하고 대상함이 지원함 인근 해역을 지나갈 때 적외선 이미지를 획득하는 방법( '함대함 측정' )이 있다. 이 방법은 지대함 측정법이 갖는 단점(지역 선정)을 극복하고 측정 수행 해역의 선정이 자유로운 장점이 있다. 그러나 해상상태의 영향을 비교적 많이 받으며, 지대함 측정법과 같이 제한된 고각에 대해서만 계측이 가능한 단점이 있다.

본 연구에서는 국내 연안의 특성 등을 고려하여 측정 지원함을 이용하는 함대함 측정법을 적용하였다. Fig. 1은 지원함을 이용한 적외선 측정 개념도를 나타내고 있다.

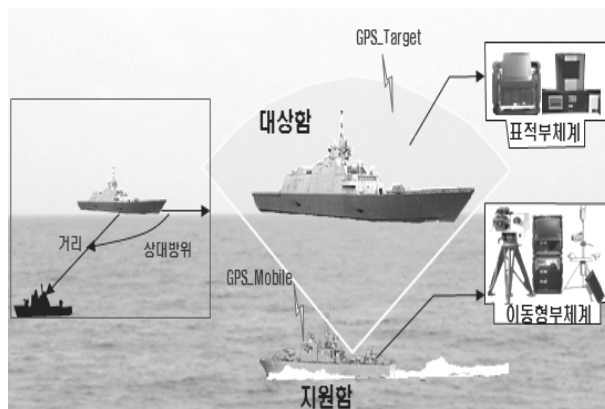


Fig. 1 Schematics of ship infrared signature measurement

적외선 신호 측정을 위한 주요 장비는 적외선 카메라, 가시 영상 카메라, 기상계측장비, 복사계와 위치측정 장비 등으로 구성되며, 동기화된 각 장비들로부터 계속된 데이터와 이미지는 데이터취득시스템에 자동 저장된다. 본 연구에서 사용한 적외선 카메라는 중적외선 대역(1.5~5.1 $\mu\text{m}$ ), 원적외선 대역(7.7~11.5 $\mu\text{m}$ )을 각각 사용하였다. 카메라와 기상계측장비는 지원함 갑판에 설치되어 대상함 이 시험 시나리오에 따라 결정된 침로와 속도로 기동하며 지원함 인근해역을 지나갈 때 적외선 이미지를 획득하였다. Fig. 2는 카메라와 환경데이터 계측 장비를 나타낸 것이다. 해수온도는 대상함 또는 지원함에서 해수면 상의 수온을 측정하였다. 적외선 이미지는 초당 60 프레임으로 저장한 후 분석과정을 통해 신호 값으로 변환하였다. 기준온도로 설정된 흑체(blackbody)를 대상함에 설치하고 대상함과 지원함 간의 거리를 약 1km까지 변화시키며 측정된 흑체 적외선 신호를 이용하여 대기투과도 분석 및 거리에 따른 전달손실을 보정하였다(Kim, 2009).

기동조건 측정 시 대상함의 침로는 주간에 태양의 영향을 최대한으로 받을 수 있도록 설정함으로써 태양광에 의해 함의 선체에서 방사되는 적외선 신호가 최대값에 가까운 조건이 되도록 설정하였다. 즉, 측정시간대의 태양방위각  $\pm$  함의 침로 =  $90^\circ$  조건을 만족하도록 침로를 설정함으로써 가급적 넓은 지역이 태양광으로 인해 가열될 수 있도록 설정하였으며 지원함은 대상함의 예상경로 인근(거리=약 1km)에 위치하여 대상함의 측면(좌현 또는 우현)의 적외선 이미지를 얻는 방식을 취하였다. 대상함과 지원함의 상대방위와 거리 측정을 위하여 GPS장비가 각각 설치하였으며, 대상함 위치는 지원함으로 송신되어 대상함의 거리/상대방위를 모니터링하기 위하여 사용하였다.

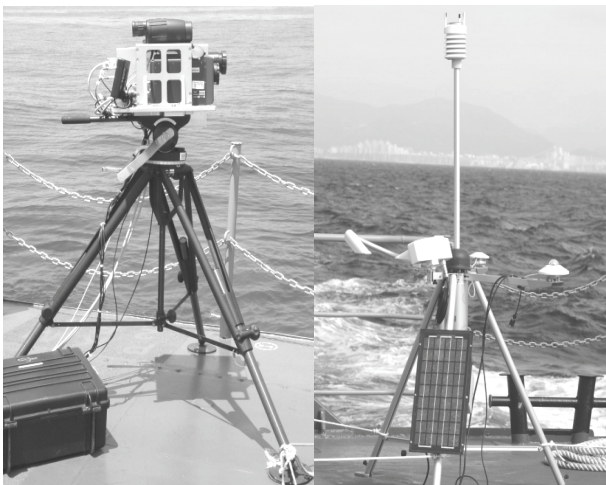


Fig. 2 Cameras & system for environmental measurement

본 연구에서 수행한 함정 적외선 신호 분석 과정은 다음과 같다. 첫째 획득된 적외선 영상을 읽어 들인 후 복사특성 분석을 위한 파장대역, 렌즈 특성 데이터, 거리 등을 입력한다. 이후 획득된 적외선 이미지에서 적외선 대비복사강도(CRI,

Contrast Radiant Intensity)를 얻는 과정은 두 가지 방법이 이용될 수 있다. Fig. 3에 나타난 방법은 NATO SIMVEX(Ship Infrared Model Validation EXperiment)에서 주로 사용하는 방법(Espen, et al., 2002; Vaitekunas, 2005)으로서 대상함을 포함하는 영역과 배경만을 포함하는 영역에 대한 적외선 복사휘도를 구하고 대상함 포함영역의 값과 배경영역 값의 차이를 계산하여 대상함의 대비복사강도(CRI)를 추출하는 방법이다. 본 연구에서도 이 방법을 적용하였으며 또한 Fig. 3에 나타난 것과 같이 대상함의 실루엣(silhouette)을 직접 설정하여 복사휘도 및 투영면적을 구하여 CRI를 산출하는 방법도 병행하였다. 참고로 Fig. 4에 나타난 적외선 영상은 본 연구의 대상함이 아니고 사전시험 시 취득한 영상을 나타낸 것이다. 두 방법으로 구한 CRI값은 큰 차이를 보이지 않으나 두 번째 방법을 통해서 배경이 포함되지 않은 함의 복사휘도를 추출할 수 있었으며 그 값을 해석결과와 비교하였다.



Fig. 3 CRI calculation from an IR image(Espen, et al., 2002)

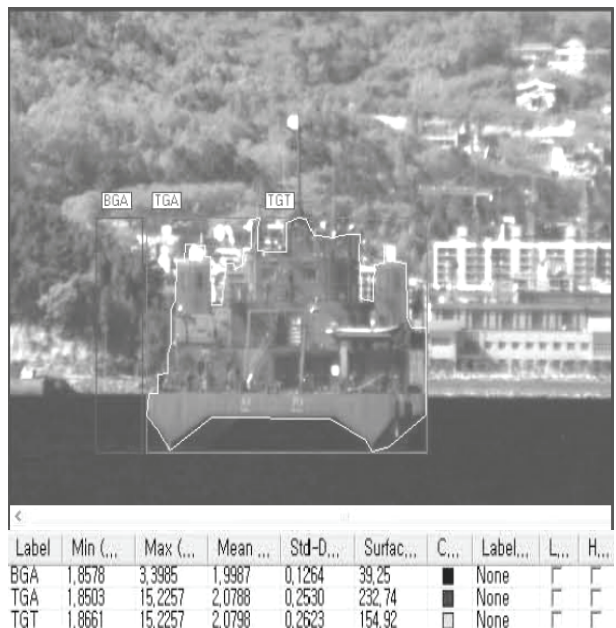


Fig. 4 Example of CRI calculation from an IR image

### 3. 함정 적외선 측정 / 해석결과 비교

#### 3.1 함정 적외선 신호 해석

함정 적외선 신호를 수치, 해석하는 소프트웨어(S/W)는 캐나다에서 개발된 ShipIR/NTCS(Naval Threat and Countermeasure Simulator) (Davis, 2000, 2002), 미국에서 개발되어 자국 내에서만 사용되는 MuSES(Sanders, 2000)와 이것의 일부기능을 제한하여 상용으로 판매되는 RadThermIR(Choi, et al., 2008)을 들 수 있다. 국내에서도 함정 적외선 신호 해석용 S/W개발을 위한 연구 사례(Choi, et al., 2010; Kil, et al., 2007)가 일부 있으나 실제 함정의 설계과정에서 활용되지는 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 ShipIR/NTCS를 이용하였다. 이 S/W는 국내외 조선소, 국방관련 연구소 등에서 많이 이용되고 있다. 대표적으로는 NATO의 함정 적외선 해석용 표준(standard) S/W로 인정받고 있으며(Vaitekunas, 1999), 미 해군의 함정 설계 과정에서도 활용되고 있는 것으로 알려져 있으며 세계적으로 독일, 영국, 노르웨이, 일본 등에서 활용되고 있다(Vaitekunas, 2010).

ShipIR/NTCS(Ship Infrared/Naval Threat Countermeasure Simulator)를 이용한 해석은 정상상태 열평형상태를 가정하여 해상환경조건 설정, 환경 내 대상함을 포함한 열전달 해석, 폐기 가스 모델을 포함한 적외선 대역 복사특성 해석을 포함하며 필요 시 미사일 모델을 적용한 교전특성 해석을 수행하게 된다. 환경조건 설정에 따른 해석을 위하여 미 공군연구소에서 개발되어 사용되고 있는 대기투과 모델인 MODTRAN4(Berk, et al., 1989)를 이용하여 태양복사량, 대기복사량, 대기투과도 등에 대한 해석을 수행하였으며, 다양한 해수면 반사특성 모델 등을 적용하여 해석을 수행하였다.

#### 3.2 함정 적외선 신호 측정/해석 조건

함정 적외선 측정은 3회에 걸쳐서 실시되었으며, 적외선 측정 시 동시에 계속된 환경데이터를 입력조건으로 환경특성 해석 및 함정 적외선 신호 해석을 수행하였다. 각 해상시험 조건에서 측정된 주요 환경데이터는 Table 1과 같다. 1차, 2차 측정환경은 기온, 습도 등이 유사하며 3차 측정은 함정 적외선 해석조건에서 가장한 적외선 신호의 배경대비 복사강도가 최대인 조건과 비교적 유사한 조건에서 수행되었다.

Table 1 Background measured data in sea-trials

| Parameters        | 1st (Jun.) | 2nd (Jul.) | 3rd (Dec.) |
|-------------------|------------|------------|------------|
| Air Temp.( ° C )  | 22         | 24         | 9          |
| Wind Dir.( ° )    | 90         | 70         | 270        |
| Wind Speed (m/s)  | 2          | 7          | 3          |
| Rel. Humidity (%) | 67         | 72         | 50         |

### 3.3 측정 및 해석결과 비교

함정 적외선 측정 및 해석에서 비교되는 분석 파라미터는 함정 설계에서 고려된 대비복사세기로서 이 값은 함정에서 복사되는 단위면적당 복사플럭스를 나타내는 복사휘도와 측정센서가 바라보는 함정의 투영면적과 표면 방사율(emissivity)에 의하여 결정된다. 해석결과는 측정조건과 동일한 기상조건을 입력으로 산출되지만 해석에 사용되는 표면 물성치, 거리에 따른 대기투과도 등은 해석 프로그램 내부에서 계산되거나 입력 자료에 기반을 둔다. CRI는 복사휘도(Radiance), 투영면적, 대기투과도(Atmospheric transmittance)에 의하여 결정된다. 측정 및 해석의 오차요소를 산출하기 위하여 산출하는 함정 복사휘도, 대기투과도 및 투영면적 각각에 대하여 비교를 수행하였다.

함정 복사휘도는 표면온도와 방사율, 대기투과도에 의존하는 값으로서 배경에 따른 차이가 큰 CRI에 비하여 상대적으로 표면 자체의 복사특성을 가장 잘 정의할 수 있는 값으로 판단되며 측정 및 해석결과 비교결과를 Table 2에 나타내었다. 관련데이터의 비교는 해석치/계측치의 백분율을 사용하였다. 원격적외선 대역은 매우 잘 일치하는 것을 확인할 수 있으나 중적외선 대역에 대한 결과는 비교적 큰 차이를 나타냄을 확인할 수 있다.

Table 2 Comparison between measured and analyzed radiance of the target ship(%)

| Band(μm)   | 1st trial           | 2nd trial           | 3rd trial           |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1.5 ~ 5.1  | 160 %<br>(20 knots) | 150 %<br>(17 knots) | 218 %<br>(15 knots) |
|            | 160 %<br>(30 knots) | 140 %<br>(30 knots) | 170 %<br>(30 knots) |
| 7.7 ~ 11.5 | 105 %<br>(20 knots) | 100 %<br>(17 knots) | 104 %<br>(15 knots) |
|            | 100 %<br>(30 knots) | 100 %<br>(30 knots) | 100 %<br>(30 knots) |

함정 투영면적은 적외선 센서의 시계에 입사되는 표적의 2차원 면적을 나타내며 일반적으로 함정의 좌, 우현에서 최대가 되며 함수, 함미에서 최소가 된다. 2차 측정 및 해석결과 투영면적을 Fig. 5에 비교하여 나타내었다. 그림에서 0° 는 함수방향, 90° 은 우현을 의미한다. 계측결과 분석과정에서 수작업으로 설정된 함의 투영면적은 함의 측면에서 해석결과와 가장 큰 차이를 보여주고 있음을 알 수 있다. 이러한 차이는 해석용 모델에서 누락된 일부 탑재 장비 등에 의한 부분과 촬영된 적외선 영상분석과정에서 함의 실루엣을 설정하는 과정에서 포함된 부분에 기인한 것으로 추정된다.

측정과 해석결과에 영향을 미치는 대기투과도는 적외선 신호가 전파되는 전달경로 상에서 손실로서 작용한다. 해석과정에서는 MODTRAN4를 이용하여 해석하였으며 측정과정에서는 기준 온도 소스인 흑체를 이용하여 거리별 측정을 통하여 대기투과도를 추출하였다. Fig. 6은 2차 시험 시 계속된 환경데이터를 기초로 MODTRAN을 이용하여 계산한 파장별 대기투과도를 나타내고 있다. 흑체를 이용한 계측결과에서 추출한 대기투과도와 해석결과를 거리=1km조건일 때 비교한 결과를 Table 3에 정리하였다.

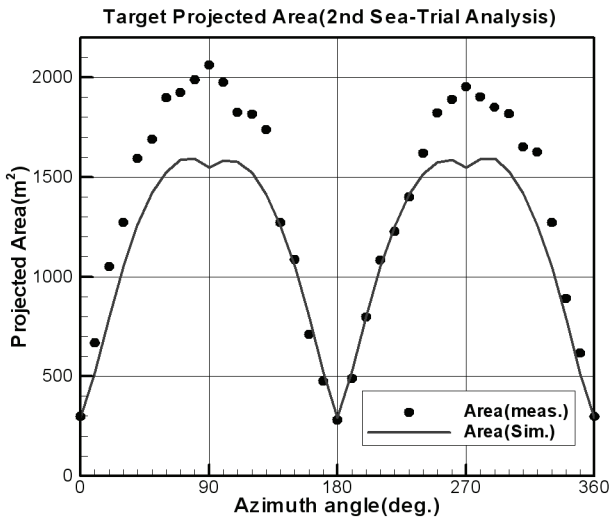


Fig. 5 Comparison of projected area

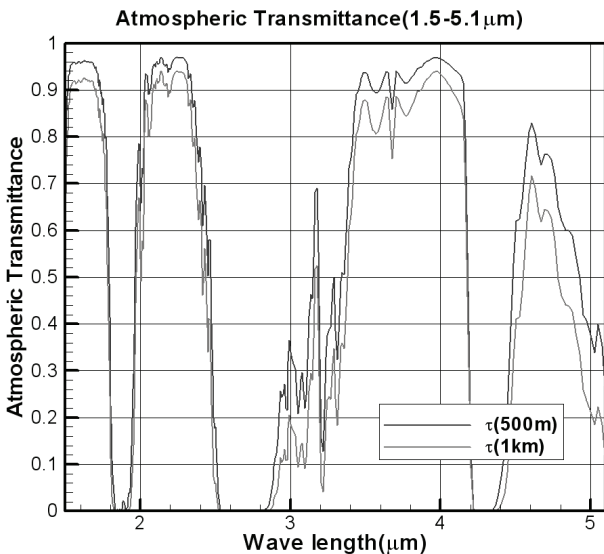
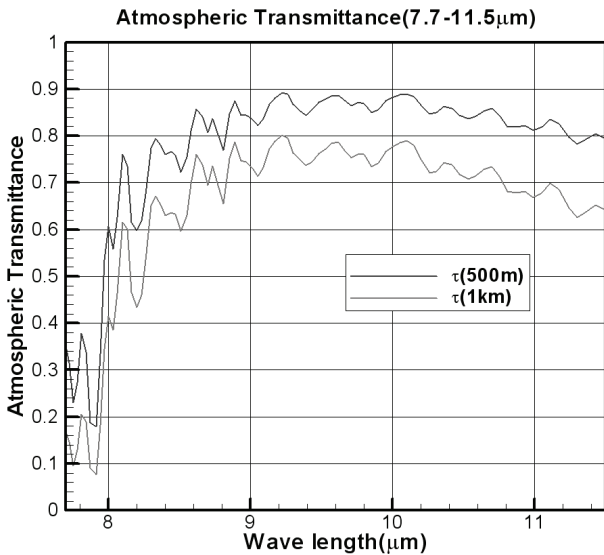


Fig. 6 Spectral atmospheric transmittance (Upper : 1.5~5.1µm, Lower : 7.7~11.5µm)

Table 3 Comparison atmospheric transmittance (analysis/measurement, %)

| Band(µm)   | 1st trial | 2nd trial | 3rd trial |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| 1.5 ~ 5.1  | 170 %     | 200 %     | 194 %     |
| 7.7 ~ 11.5 | 130 %     | 110 %     | 118 %     |

중적외선 대역의 대기투과도가 특히 큰 차이를 보임을 확인할 수 있다. 이러한 현상에 대한 정확한 원인분석은 현재까지 정리되지 못하였고 추가적인 연구 수행 시 보완할 예정이다.

함정 CRI는 배경과 투영면적, 대기투과도에 의하여 산출되는 값이므로 요소 간 오차요인에 의하여 값이 상쇄되거나 커질 수 있다. 또한, 해석과정에서 이상적으로 파장대역에 대하여 복사휘도가 산출되지만 적외선 센서는 검출기의 응답특성으로 인하여 파장대역 주변의 적외선 신호도 입력되어 출력 결과에 영향을 줄 수 있다. 즉, 적외선 검출기의 파장대역에 따른 응답 특성은 재료, 생산 공정에 따른 차이가 크다. 예를 들면 장파장 대역의 QWIP (Quantum Well Infrared Photodetector) 검출기는 응답특성의 대역의 경계에서 매우 급격하게 낮아지지만 MCT(Mercury Cadmium Telluride) 검출기는 완만한 형태의 응답특성을 가진다. 이것은 검출기가 갖는 응답특성이 최종적인 분석에 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 프로그램에 의한 적외선 예측은 수학적 적분을 통하여 대역의 경계에서 신호는 전혀 입력되지 않는 조건에서 최종적인 복사휘도를 계산한다. 본 연구에서 수행한 세 차례 측정 및 해석을 통한 CRI 비교결과를 Table 4에 정리하였다. 원적외선 대역은 해석 결과가 측정결과에 비해 낮게 예측하는 반면 중적외선 대역은 대체로 높게 예측하는 경향을 보이며 그 편차도 매우 큰 것을 확인할 수 있다.

Table 4 Comparison of ship CRI (analysis / measurement, %)

| Band (µm)  | 1st                 | 2nd                 | 3rd                 |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1.5 ~ 5.1  | 550 %<br>(20 knots) | 230 %<br>(17 knots) | 150 %<br>(15 knots) |
|            | 240 %<br>(30 knots) | 130 %<br>(30 knots) | 75 %<br>(30 knots)  |
|            | 80 %<br>(20 knots)  | 70 %<br>(17 knots)  | 135 %<br>(15 knots) |
| 7.7 ~ 11.5 | 60 %<br>(30 knots)  | 70 %<br>(30 knots)  | 50 %<br>(30 knots)  |

### 4. 결론

함정 적외선 신호 시험평가를 위한 초기연구로서 국내 실적 함에 대한 적외선 신호 측정 및 동일 환경조건에 대한 해석을 수행하였으며 그 결과를 비교분석하였다.

현재의 측정결과와 해석결과는 다소 차이를 보임을 확인하였으며 정확한 원인분석을 위해서는 추가적인 연구가 지속적으로 필요할 것으로 판단된다. 현재까지 수행한 연구를 통해 두 결과의 차이에 기여한 것으로 추정되는 부분은 대략 다음과 같이 요약된다.

- 실제 조건과 입력 기상조건과의 차이
- 계측과정의 태양 및 기상변화의 효과
- 해석 S/W와 측정상의 정확도

선진국에서는 적외선 감소, 해석 및 측정을 통한 비교 검증을 통한 연구가 10년 이상 지속되어 왔으나 국내에서는 최초로 수행되었다. 본 연구와 추가적으로 수행예정인 일련의 연구결과를 토대로 함정 적외선 시험평가를 위한 합리적이고 실질적인 방안을 모색하고 기존의 설계단계에서 추가로 고려되거나 측정단계에서 간과하였던 요소들을 식별하여 추후 반영할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- Berk, A. Bernsten, L.S. & Robertson, D.C., 1989. MODTRAN: A Moderate Resolution Model for LOWTRAN7. *Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom AFB, MA, GL-TR-89-0122*.
- Choi, J.H. et al., 2008. Infrared Signature Analysis of a Ship for Different Atmosphere Temperature and Wind Velocity. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 11(5), pp.84-91.
- Choi, J.H. Shin, J.M. Kim, J.H. & Kim, T.K., 2010. Study on Infrared Image Generation for Different Surface Conditions with Different Sensor Resolutions. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 47(3), pp.342-349.
- Davis, W.R., 2000. User Manual for the Naval Threat Countermeasures Simulator(NTCS). *Davis Engineering Ltd*.
- Espen, S. Trygve, H.L. & Kjell, W., 2002. SIMVEX 2001 TRIAL-RADIANT INTENSITY CONTRAST. *FFI Report -2002/02568*.
- Hudson, R.D., 2006. Infrared System Engineering. *Wiley Interscience: New York*.
- Jacobs, P.A., 1996. *Thermal Infrared Characterization of Ground Targets and Backgrounds*. Physics and Electronics Laboratory TNO The Netherlands SPIE Optical Engineering Press.
- Kil, T.J. Choi, J.H. Choi, Y.J. & Kim, T.K., 2007. Study on Prediction of Surface Temperature and Reduction of Infrared Emission from a Naval Ship by considering Emissivity of Funnel in the Mid-Latitude Meteorological Conditions. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 44(1), pp.40-47.
- Kim, J.H. & Jung, I.W., 2009. Quantitative Measurement and Analysis of Ship Infrared Radiation Characteristic to Infrared Sensor. *1th ISR symposium*, pp.13.
- Sanders, J.S., 2000. Ground Target Infrared Signature Modeling with the Multi-Service Electro-optic Signature(MuSES) Code. *Proc. of SPIE, Targets and Backgrounds VI*.
- Vaitekunas, D.A., 2005. Validation of ShipIR(v3.2): *Methodology and Results*, 1st Int. IR Target and Background Modeling Workshop.



김정호



김윤식