대한조선학회논문집
Journal of the Society of Naval Architects of Korea
pISSN:1225-1143, Vol. 53, No. 6, pp. 521-528, December 2016
eISSN:2287-7355, http://dx.doi.org/10.3744/SNAK.2016.53.6.521

# 해양환경에 따른 해수냉각의 적외선 신호 저감 효과도 분석

정호석[1]·조용진[2,†]
동의대학교 함정적외선신호연구소[1]
동의대학교 조선해양공학과[2]

# An Effectiveness Analysis of the Infrared Signature Reduction with Sea Water Cooling according to the Meteorological Environment

Ho-Seok Jung[1]·Yong-Jin, Cho[2,†]
Ship Infrared Signature Research Center, Dong-Eui University, Busan, Korea[1]
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Dong-Eui University, Busan, Korea[2]

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

The surface of a naval ship emits infrared signature because it is mainly heated by the sun. In order to reduce infrared signature, it has been practiced to cool surface of the naval ship by using sea water. In this study, reduction effect of infrared signature was compared according to the parameters which affect emission of infrared signature in order to increase utility of sea water cooling. The analysis results by searching parameters, which can judge operation of sea water cooling, could be utilized as basic data for operation of the naval ship.

**Keywords :** Ship infrared signature(함정 적외선 신호), Sea water cooling(해수냉각), Meteorological environment(해양 환경), Effectiveness Analysis(효과도 분석)

## 1. 서 론

함정의 적외선 스텔스 기술은 적외선 탐지·추적 장비에 의한 적외선 신호탐지를 방지하기 위하여 선체표면에서 방출되는 적외선 신호를 최소화하는 기술이다 (Cho, 2005). 이 기술의 기본 원리는 함정에서 방출되는 적외선 신호를 저감하여 주변 환경(background)과의 대비(contrast)를 줄이는 것이다. 신호의 발생 원인을 살펴보면 함정의 적외선 신호는 크게 함정의 내부와 외부에서 발생된다. 그 중 외부에서 발생된 신호 원인은 운용되고 있는 함정의 주변 환경 즉, 태양, 하늘, 바다와의 열교환에 의한 온도 상승이며, 주로 태양을 통해 선체가 가열되어 적외선 신호를 방출하게 된다. 따라서 선체표면의 온도를 낮추기 위해 해수를 살포하는 해수냉각(seawater cooling) 방법을 이용하여 신호를 저감시키고 있다.

이러한 해수 냉각을 실시하였을 때 신호저감에 전반적으로 좋은 효과를 거둘 수 있지만, 수온이 기온보다 크게 높을 경우 선체해수냉각을 통한 신호저감효과가 큰 폭으로 줄어들거나, 오히려 신호를 증가시키는 역효과도 발생할 수 있다고 선행연구에서 언급한 바 있다 (Kim, 2012). 또한 해수펌프용량 및 운용인력 제약, 해수에 의한 탑재장비 부식, 시스템 작동 후 청수세척 등 함 운용측면에서의 제약이 있다. 따라서 신호저감효과가 우수한 상황에서만 실시하도록 권고하기 위해 운용조건을 제시할 필요가 있다.

본 연구에서는 해수 냉각의 실시유무에 따른 비교분석을 실시하여 연구목적에 맞게 설계된 시나리오별 저감효과를 살펴보고 적외선 신호에 영향을 미치는 인자별로 개별 효과도분석을 실시하고자 한다.

이를 통해 운용자가 해수 냉각의 실시여부를 판단할 수 있는 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## 2. 해석 조건

### 2.1 해석 소프트웨어

함정 적외선 신호와 관련된 연구에서 제약조건은 필요한 실험

Received : 18 February 2016 | Revised : 21 September 2016 | Accepted : 11 November 2016
† Corresponding author : Yong-Jin, Cho, cyjdeu@deu.ac.kr

조건을 생성할 수 없고, 군사보안, 비용과 시간 · 공간적 제약으로 인해 실선에 의한 실험적 연구는 현실적으로 불가능하다는 것이다 (Cho, 2005). 따라서 시뮬레이션을 이용한 해석적 연구가 주로 수행되고 있으며, 본 연구에서도 이러한 해석코드를 이용하여 해석적 연구를 수행하였다.

이번 해석적 연구를 위해 도입된 소프트웨어는 캐나다 Davis사의 ShipIR/NTCS(v3.6)로 현재 함정 적외선 분야의 모델링과 시뮬레이션 소프트웨어 중 국방 선진국인 NATO국가와 미해군에서 지속적인 검증 시험을 거쳐 표준코드로 사용하는 신뢰성이 높은 해석 코드이다 (Vaitekunas, 2005).

ShipIR/NTCS의 기본적인 구성 모델은 배경 모델(background model), 표적 모델(target model), 폐기 모델(plume model), 운용 시나리오 모델(scenario model), 관측자 모델(observer model)로 이루어진다.

배경 모델은 대상 함정이 놓여있는 주변 환경 정보를 입력하여 대상 함정과 주변 환경과의 열적평형이 가능하도록 구성하였으며, 표적 모델은 대상 함정의 형상정보를 입력하여 다른 모델과 연동이 가능토록 되어있다. 폐기모델은 대상 함정의 엔진 데이터를 바탕으로 폐기가스의 확산정도 및 가스조성 정보를 입력하여 폐기와 관련된 복사량을 계산한다. 관측자 모델은 탐지하는 센서의 대역, 탐지거리 및 고도 등을 사용자가 설정하여 시나리오 분석 시 해당 관측위치에서의 적외선 복사량 계산이 가능하도록 한다. 운용 시나리오 모델은 적외선 신호 예측 시나리오의 구성과 앞서 모델들에 대한 종합적인 영상 분석을 통해 대상의 적외선 복사량을 구하거나 시뮬레이션이 가능한 정교하고 복잡한 S/W이다.

### 2.2 대상함정

현재 국내 건조 운용 및 설계중인 함정의 경우 군사기밀자료로 취급되어 연구 활용이 불가능하다. 따라서 본 연구를 위해서 해외에서 건조된 최신 함정을 선정하였다. 선정된 함정은 영국의 데어링급 구축함(Type-45)으로 최신 스텔스기술이 적용된 방공 구축함이다. 함정의 규모는 경하중량 = 약 7,200톤, 전장(LOA) = 152.4 m, 선폭(B) = 21.2 m, 흘수(Td) = 5.0 m이며 함속은 순항 20 kts와 최대 30 kts로 조사되었다 (Wikipedia, 2015). 본 함정을 해석에 적용시키기 위해 Rhino Cad(v4.0)를 이용하여 3차원 형상모델을 생성하였으며, 적정한 열전달 해석을 위해 격자생성 소프트웨어인 Gridgen(v15)를 이용하여 약 7,500개의 표면격자를 생성하였다.

생성된 3차원 형상모델과 격자모델은 Fig. 1에 나타내었다.

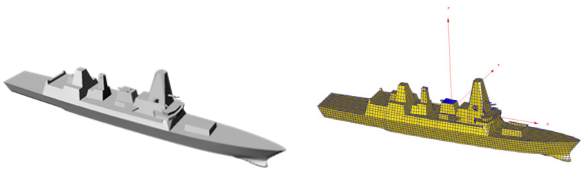

Fig. 1 Geometry model(left) and meshed model(right)

### 2.3 해석 조건

앞서 살펴본 해석 소프트웨어의 구성되는 모델(배경모델, 표적모델, 폐기모델, 시나리오모델, 관측모델)을 이용하여 연구의 목적을 달성할 수 있는 적절한 해석 조건의 설정이 매우 중요하다. ShipIR/NTCS는 배경모델 해석을 위해 MODTRAN(v4)와 연계하여 대기 및 태양복사 등의 해석결과를 활용하고 자체적인 대류/전도 열전도 현상을 해석할 수 있는 기능을 포함하고 있다. 따라서 해석조건은 설정된 시나리오를 기준으로 생성하여 정상상태(steady state)의 열전달 해석을 수행하게 된다(Kim, 2012). 표면의 물성치로 ShipIR/NTCS에서 제공되는 일반적인 표면자료(soot, waterwash 등)와 대한민국 해군의 도료를 적용하였다.

해수냉각의 효과를 살펴보려면 해수냉각 적용구역의 설정이 중요하다. 하지만 본 함의 경우, 군사보안문제로 해수냉각 적용구역에 관한 정확한 데이터를 확보할 수 없기 때문에, 실제로 노즐 설치가 힘든 구역 및 한정된 펌프압력으로 인한 해수냉각의 효율이 낮은 상부 구조물의 마스트(mast) 및 레이더 구조물 등을 제외하여 해수냉각 적용구역을 지정하였다. 최근 설계된 함정 및 본 함의 해수냉각 적용면적률은 아래의 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Applying seawater cooling area for Type-45

| Classification | "A" ship | "B" ship | "C" ship | Type-45 |
|---|---|---|---|---|
| Total area | 6532㎡ | 20596㎡ | 7437㎡ | 9953㎡ |
| Washdown area | 5797㎡ | 19052㎡ | 7037㎡ | 9170㎡ |
| Washdown ratio | 88.74% | 92.50% | 94.63% | 92.13% |

해수냉각의 효과를 살펴보기 위해서는 함정 적외선의 외부신호인 선체신호에 관심을 가져야 한다. 선체신호의 극적인(dramatic) 변화를 살펴보기 위해 내부신호인 고온의 폐기가스는 배재하였으며 관측거리와 관측고각은 통상적인 함정의 적외선신호 측정조건을 이용하여 모델에 적용하였다.

## 3. 연구 설계

### 3.1 실험목표

유의미한 해석결과를 얻기 위해서는 본 연구의 목적에 부합하는 실험 목표를 설정하는 것이 무엇보다 중요하다.

해수냉각의 효용성을 증대시키기 위해 시나리오별 저감효과를 파악하여 신호저감효과가 우수할 때에 해수냉각을 실시해야 한다고 연구의 목적에서 언급하였다. 따라서 시나리오별 저감효과를 살펴보는 것이 중요하다.

이를 위해 실험 목표를 서로 같은 해양시나리오에 놓여있는 함정을 해수 냉각의 실시여부에 따라 비교분석을 수행하는 것으로 설정하였다. 그 결과를 토대로 전체적인 적외선 신호 저감효과도와 적외선 신호에 영향을 미치는 인자의 개별 저감효과도를 파악하였다.

### 3.2 특성치의 선택

본 연구에서 해석 결과값으로 제시되는 특성치는 주변환경과 대비되는 대상 함정의 대비복사강도(Contrast Radiance Intensity; CRI)이다. 개념적으로 대비복사강도를 정리해보면 아래의 Fig. 2와 같이 표현할 수 있다.

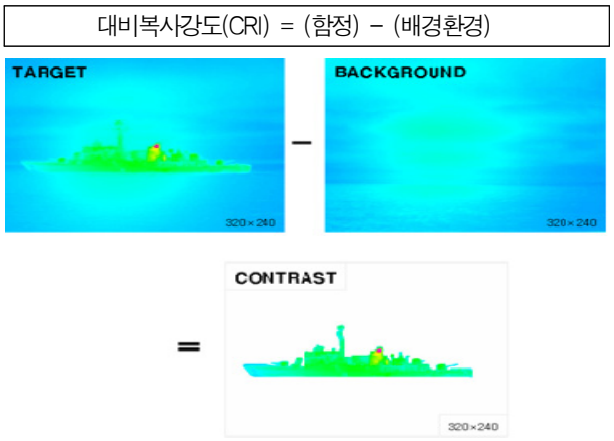


Fig. 2 Concept of contrast radiance intensity for naval ship

적외선 신호 대역은 선체신호의 극적인 변화를 살펴보기 위해 선체신호를 주로 탐지하는 대역인 원적외선(8~12㎛)만을 선택하였다. 이 대역의 대비복사강도의 값은 전체 방위각(360°)중 측정간격(°)에 따라 값이 계산된다. 해석된 전체 방위각 신호값 중에 최대값을 특성치로 선택하였다. 자세한 특성치는 Table 2와 같다.

Table 2 Determination of characteristic values

| Item | Characteristic values |
|---|---|
| Result value | Contrast radiance intensity(W/sr) |
| IR range | Lwir(8~12㎛) |
| Representative value | Max. value per 360° |

### 3.3 인자와 수준의 선택

#### 3.3.1 인자의 선택

함정 외부의 해양환경 요소 중 적외선신호에 영향을 미치는 주요요소로는 태양 및 구름, 기온, 수온, 습도, 풍향, 풍속을 들 수 있다 (Vaitekunas, 2010). 따라서 앞서 살펴본 선행연구를 통해 탐색된 인자인 태양방위각, 기온, 수온, 습도를 본 연구의 주요 인자로 선택하였으며 구름은 주간의 맑은날로 설정하였다. 또한 침로각과 운용모드에 따라 기동하는 함정의 특성상 절대풍조건이 아닌 상대풍조건이 성립되기 때문에 상대풍속 및 상대풍향도 본 연구의 인자에 포함시켰다.

#### 3.3.2 인자의 수준

해석에 활용될 해양환경요소 인자의 수준을 선택하기 위해서는 우리나라 전 해역의 실측 해양기상 환경자료를 활용하여 각 인자별 변동범위에 따라 적정한 수준을 선택하였다. 전 해역을 탐색하여 다양한 환경에 따른 영향을 살펴보아야 하나, 해석 케이스 수가 기하급수적으로 증가하기 때문에 최근 함정 적외선 신호 연구에 활용 가능하도록 연구된 해양기상 환경자료의 표본추출 방법론에 의한 우리나라 동해안 해양기상자료를 토대로 인자의 수준을 선택하였다 (Han, 2014). 기본적으로 확률밀도함수(PDF)상의 표준편차(σ)와 평균값을 이용한 3개의 수준으로 선택하였다.

(1) 기온과 수온의 경우 두 변수의 차이를 나타내는 ASTD(air sea temperature difference)데이터를 활용하였다.
(2) 태양방위각의 경우 좌우 대칭적 구조를 가지는 함정의 특성상 좌현과 우현의 신호차이가 나지 않으며, 함수와 함미 또한 표면적의 큰 차이가 없다. 따라서 서로 중복되지 않는 270도,315도,360도로 설정하였다.
(3) 풍향 및 풍속의 경우 절대풍속, 절대풍향, 함속과 침로각 간의 벡터의 합으로 표현되는 상대풍 조건으로 계산하였다.

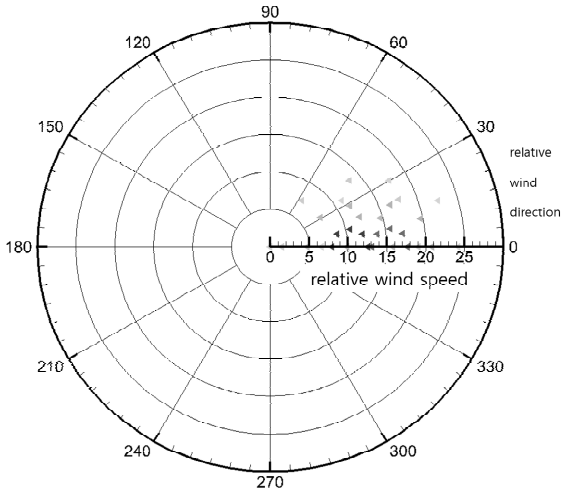


Fig. 3 Scatter plot according to the calculated relative wind

Table 3 Summary of factor levels

| Item | Factor levels |
|---|---|
| ASTD | -6.7℃/-3.1℃/0.5℃ |
| RH | 56%/72%/88% |
| Solar Azimuth | 270°/315°/360° |
| Relative wind speed | 6m/s / 13m/s / 20m/s |
| Relative wind direction | 0°/15°/30° |
| Sea water cooling | on/off |
| Total | 486 scenario |

계산된 상대풍속을 확률밀도함수를 이용하여 평균 및 표준편차값을 6/13/20 m/s로 설정하였다. Fig. 3에서와 같이 계산된 상대풍향은 데이터 분포를 감안하여 360도 기준으로 15도 간격으로 0/15/30도로 설정하였다. 자세한 인자들의 수준은 Table 3과 같다.

# 4. 해석결과

## 4.1 분석방법

선택된 인자 및 수준을 입력한 해석시나리오에 대한 대상함정의 적외선 신호해석(infrared signature analysis)결과를 바탕으로 분석을 수행하기 위해 다음의 분석방법을 이용하였다. 먼저 결과 데이터의 특성 및 확률적 분포를 파악하기 위하여 누적분포함수(Cumulative Distribution Function ; CDF)를 이용하여 그래프로 표현하였다. 비교집단(해수냉각 실시 전-후)의 분포와 인자 수준별 효과를 쉽게 파악하기 위하여 상자그림 그래프(box plot)로 표현하였다. 또한 비교집단의 데이터 간 평균 차이를 검증하여 함정적외선 신호 저감효과를 살펴보기 위하여 동일한 표본을 대상으로 한 대응표본 t-검정(paired sample t-test)을 실시하였다.

## 4.2 해수냉각의 적외선신호 저감률

본 연구에서 설계한 해석시나리오에 대하여 해수냉각을 실시 전과 후로 나누어 적외선 신호가 어떻게 변화했는지 저감률로 나타내었다. 해석시나리오에 대한 해수냉각의 적용에 따른 저감률의 빈도표는 아래의 Table 4와 같다.

Table 4 IR Reduction ratio of applied sea water cooling

| Reduction ratio (%) | Frequency | Ratio (%) | Accumulation ratio(%) |
|---|---|---|---|
| (-) ~ 0 | 37 | 15.2 | 15.2 |
| 0 ~ 10 | 19 | 7.8 | 23.0 |
| 10 ~ 20 | 17 | 7.0 | 30.0 |
| 20 ~ 30 | 18 | 7.4 | 37.4 |
| 30 ~ 40 | 19 | 7.8 | 45.3 |
| 40 ~ 50 | 22 | 9.1 | 54.3 |
| 50 ~ 60 | 21 | 8.6 | 63.0 |
| 60 ~ 70 | 39 | 16.0 | 79.0 |
| 70 ~ 80 | 27 | 11.1 | 90.1 |
| 80 ~ 90 | 24 | 9.9 | 100.0 |
| 90 ~ 100 | 0 | 0.0 | 100.0 |
| Total | 243 | 100.0 | - |

해수냉각의 적용에 따른 빈도표를 살펴보면 저감률이 0%보다 작은 경우 즉, 적외선 신호의 저감을 위해 해수냉각을 실시함에도 불구하고 오히려 적외선신호가 증가한 시나리오가 전체 시나리오 중 15.2%를 차지하고 있다. 이는 적외선 저감을 위해 해수냉각을 무조건적으로 실시해서는 안 된다는 사실을 나타내고 있다. 본 연구의 목적에 맞게 해석시나리오를 설계하였기 때문에 해양환경에 따른 해수냉각의 전체적인 저감률을 대표하기에는 무리가 있지만 해양환경에 따라 저감효과가 큰 폭으로 변화한다는 사실을 나타내기에는 충분할 것으로 판단된다.

전체적으로 살펴보면 해수냉각에 의한 적외선 신호의 저감효과가 있다는 것을 알 수 있으나, 상대적으로 효과가 미미한 경우도 존재하기 때문에 다양한 요소(특히, 해양 기상환경)를 고려 후 실시한다면 그 효용성이 증대될 것으로 판단된다.

## 4.3 인자별 저감효과도 분석

### 4.3.1 ASTD에 따른 적외선 신호 저감효과

해수냉각 실시여부에 따라 ASTD가 적외선 신호에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보았다.

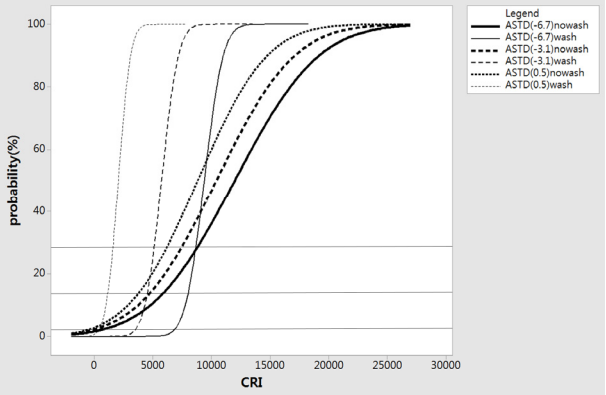


Fig. 4 CDF of contrast radiation intensity(ASTD per level)

해수냉각의 실시여부에 따른 Fig. 4의 ASTD 수준별 누적분포함수 그래프에서도 나타나듯이 해수냉각 실시 후의 데이터 분포가 명확하게 구별됨을 알 수 있다. 즉, 해수냉각의 실시 전 보다 실시 후의 ASTD 수준에 따른 대비복사강도의 영향이 크다는 것을 나타내고 있다. 그래프에서 살펴보면 ASTD -6.7℃일때 실시 전후의 두 그래프에서 교차되는 점의 경우 저감효과를 보지 못하는 확률로 나타낼 수 있으며 약 27%에 이르는 것으로 확인하였다. 더불어 ASTD -3.1℃일때는 약 13%, 0.5℃일때는 약 4%로 수준이 감소함에 따라 그 확률도 점차 낮아짐을 알 수 있었다.

ASTD 수준별 효과를 보다 명확하게 파악하기 위해 상자그림 그래프로 나타내어 보았다.

Fig. 5의 ASTD 수준에 따른 상자그림 그래프를 살펴보면 해수냉각 실시 전후의 모든 수준에 따라 대비복사강도가 낮아지는 경향을 보이고 있다. 해수냉각을 실시한 경우 주변 해수를 펌프

를 이용하여 함정표면에 분사하면 함정표면온도가 주변 해수온도와의 열평형과정을 거쳐 점차 해수온도와 비슷해지기 때문에 결국 적외선신호의 대비복사강도가 낮아지는 결과를 가지게 된다. 수준별로 비교하였을 때 ASTD 차이가 작아질수록 해수냉각 효과가 우수한 것으로 나타났다.

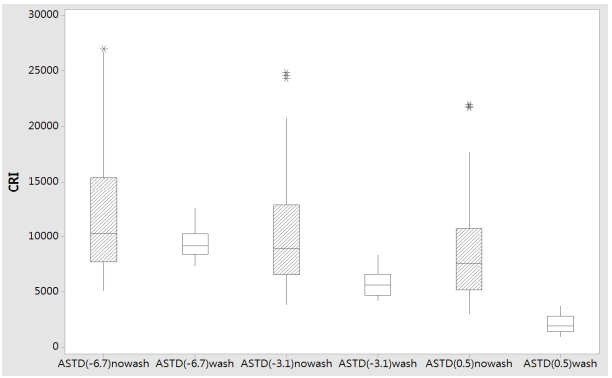


Fig. 5 Box plot of contrast radiation intensity(ASTD per level)

마지막으로 해수냉각 미실시한 집단과 해수냉각을 실시한 집단의 비교를 정량적으로 파악하기 위하여 Table 5와 같이 대응표본 t-검정을 실시하였다.

Table 5 Result of paired sample t-test(ASTD per level)

* Unit : W/sr

| Classification | Paired sample t-test | | t | P-value |
|---|---|---|---|---|
| | Mean | Standard deviation | | |
| ASTD -6.7℃ nowash & wash | 2606.29 | 4807.58 | 4.879 | .000 |
| ASTD -3.1℃ nowash & wash | 4674.41 | 4516.98 | 9.314 | .000 |
| ASTD 0.5℃ nowash & wash | 6773.84 | 4143.40 | 14.714 | .000 |

대응표본 검정결과 유의수준(양쪽검정)이 모두 P < .001 이므로 ASTD에 따라 해수냉각의 효과가 없다는 귀무가설을 기각하며, 대립가설을 채택하여 해수냉각의 효과가 있음을 알 수 있다. 각 집단별 평균을 비교하였을때 ASTD -6.7℃일때 2606.29 W/sr, ASTD -3.1℃일때 4674.41 W/sr과 ASTD 0.5℃일때 6773.84 W/sr으로 ASTD가 낮을수록 저감효과가 증가함을 알 수 있다.

### 4.3.2 상대습도에 따른 적외선 신호 저감효과

해수냉각 실시여부에 따라 상대습도가 적외선 신호에 어떠한 영향을 미치는지 파악하였다. Fig. 6에서의 해수냉각의 실시여부에 따른 상대습도 수준별 누적분포함수 그래프에서 교차되는 점의 경우 저감효과를 보지 못하는 확률로 나타낼 수 있으며 상대습도의 모든 수준에서 교차점이 없는 것으로 나타났다.

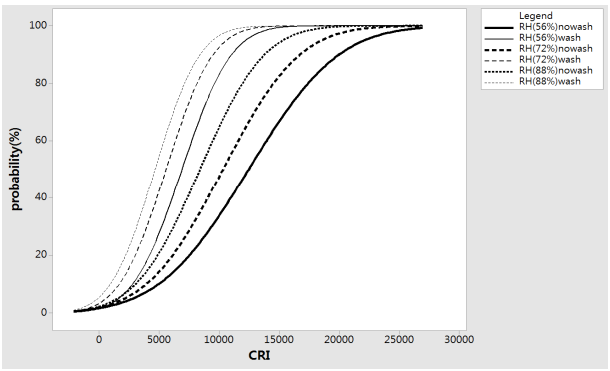


Fig. 6 CDF of contrast radiation intensity(RH per level)

Fig. 7의 상대습도 수준에 따른 상자그림 그래프를 살펴보면 해수냉각을 실시하지 않았을 때 수준에 따라 대비복사강도가 낮아지는 경향을 명확하게 보이나 해수냉각을 실시할 경우 수준에 따라 대비복사강도가 낮아지긴 하지만 그 효과가 미미한 것으로 나타났다.

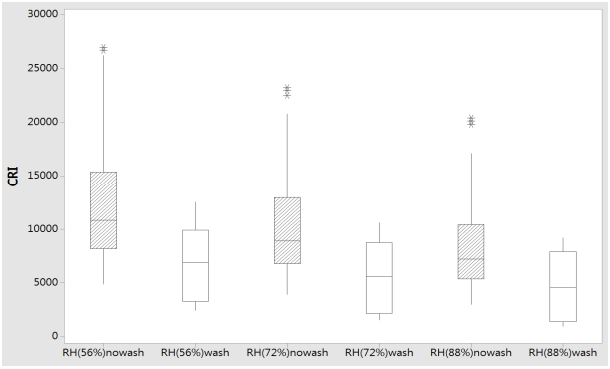


Fig. 7 Box plot of contrast radiation intensity(RH per level)

수준별로 비교하였을 때 상대습도가 56%일때 해수냉각 효과가 우수한 것으로 나타났으며 상대습도가 88%일때는 효과가 미미한 것으로 나타났다. 이는 해수냉각을 실시하지 않은 경우 상대습도가 높으면 대비복사강도가 낮아지기 때문에 상대적인 저감효과가 낮기 때문이다.

마지막으로 해수냉각 미실시한 집단과 해수냉각을 실시한 집단의 비교를 정량적으로 파악하기 위하여 대응표본 t-검정을 실시하였다. 대응표본 t-검정 결과는 다음의 Table 6과 같다.

대응표본 검정결과 유의수준(양쪽검정)이 모두 P < .001 이므로 습도에 따라 해수냉각의 효과가 없다는 귀무가설을 기각하며 대립가설을 채택하여 해수냉각의 효과가 있음을 알 수 있다. 각 집단별 평균을 비교하였을 때 상대습도가 56%일때 5561.34 W/sr, 상대습도가 72%일때 4745.54 W/sr과 상대습도가 88%일

때 3747.66 W/sr으로 습도가 낮을수록 저감효과가 증가함을 알 수 있다.

Table 6 Result of paired sample t-test(RH per level)

* Unit : W/sr

| Classification | Paired sample t-test | | t | P-value |
|---|---|---|---|---|
| | Mean | Standard deviation | | |
| RH 56% nowash & wash | 5561.34 | 5564.41 | 8.995 | .000 |
| RH 72% nowash & wash | 4745.54 | 4786.69 | 8.923 | .000 |
| RH 88% nowash & wash | 3747.66 | 3732.38 | 9.037 | .000 |

### 4.3.3 태양방위각에 따른 적외선 신호 저감효과

태양방위각의 경우 방위각에 따라 태양열에 의한 선체 가열면적이 변하기 때문에 적외선신호에 영향을 미치게 된다. Fig. 8의 누적분포함수 그래프에서도 나타나듯이 해수 냉각을 실시 전 태양방위각 수준에 따라 분포가 명확하게 구별됨을 알 수 있으나 실시 후 태양방위각 수준에 따라 분포가 구별되지 않음을 알 수 있다. 즉, 해수냉각을 미실시한 경우가 태양방위각에 따른 대비복사강도의 영향이 크며 해수냉각을 실시한 경우는 영향이 거의 없다는 것을 나타내고 있다.

태양방위각이 360도 일때 실시 전후의 두 그래프에서 교차되는 점의 경우 저감효과를 보지 못하는 확률로 나타낼 수 있으며 약 85%에 이르는 것으로 확인되어 태양방위각과 침로각이 일치 및 차이가 작은 상황에서는 해수냉각의 실시여부 결정함에 있어 많은 주의가 요구된다. 다른 수준의 경우 교차점이 없는 것으로 확인된다.

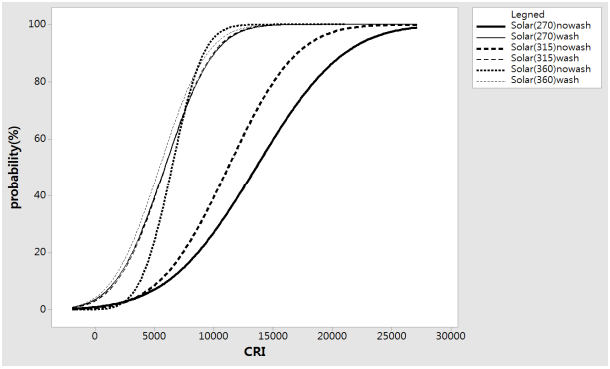


Fig. 8 PDF of contrast radiation intensity(solar azimuth per level)

Fig. 9의 태양방위각 수준에 따른 상자그림 그래프를 살펴보면 해수냉각을 실시하지 않았을 때 수준에 따라 대비복사강도가 낮아지는 경향을 보이고 있다. 하지만 해수냉각을 실시할 경우는 수준에 따른 대비복사강도 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

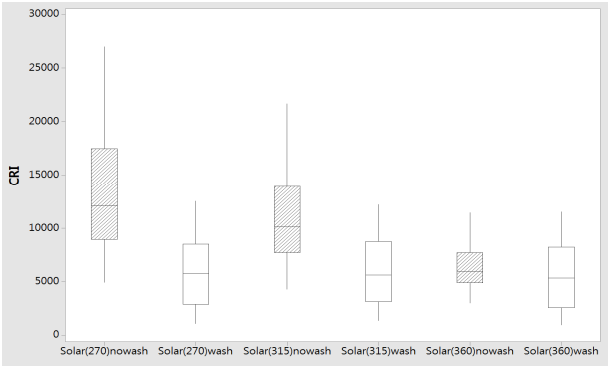


Fig. 9 Box plot of contrast radiation intensity(solar azimuth per level)

수준별로 비교하였을 때 태양방위각이 270도 일때 해수냉각 효과가 우수한 것으로 나타났으며 태양방위각이 360도에 근접할수록 해수냉각효과가 미미하거나 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 실시 전 집단에서 태양방위각이 360도에 근접하면 선체 가열면적이 최소가 되기 때문에 대비복사신호가 다른 태양방위각에 비해 매우 낮아진다. 하지만 실시 후 집단의 경우 선체 대부분 면적에 해수냉각을 실시하기 때문에 선체가열면적과 무관하며, 태양방위각에 따른 대비복사강도 영향도 동일하게 된다. 따라서 이러한 두 집단간 특성에 의해 효과가 낮아지는 것으로 확인되었다.

마지막으로 해수냉각 미실시한 집단과 해수냉각을 실시한 집단의 비교를 정량적으로 파악하기 위하여 Table 7과 같이 대응표본 t-검정을 실시하였다. 유의수준(양쪽검정)이 모두 $P < .001$ 이므로 태양방위각에 따라 해수냉각의 효과가 없다는 귀무가설을 기각하며 대립가설을 채택한다. 각 집단별 평균을 태양방위각이 270도 일때 7684.70 W/sr, 태양방위각이 315도 일때 5323.44 W/sr와 태양방위각이 360도 일때 1046.40 W/sr으로 태양방위각이 측면방향으로 향할수록 저감효과가 증가함을 알 수 있다.

Table 7 Result of paired sample t-test(solar azimuth per level)

* Unit : W/sr

| Classification | Paired sample t-test | | t | P-value |
|---|---|---|---|---|
| | Mean | Standard deviation | | |
| Solar azi. 270° nowash & wash | 7684.70 | 4987.33 | 13.868 | .000 |
| Solar azi. 315° nowash & wash | 5323.44 | 3976.92 | 12.047 | .000 |
| Solar azi. 360° nowash & wash | 1046.40 | 2420.51 | 3.891 | .000 |

### 4.3.4 상대풍속에 따른 적외선 신호 저감효과

절대풍속과 함속에 의한 대류열전달 효과의 합을 의미하는 상대풍속에 따라서도 영향이 클 것으로 판단되어 저감효과를 분석하였다.

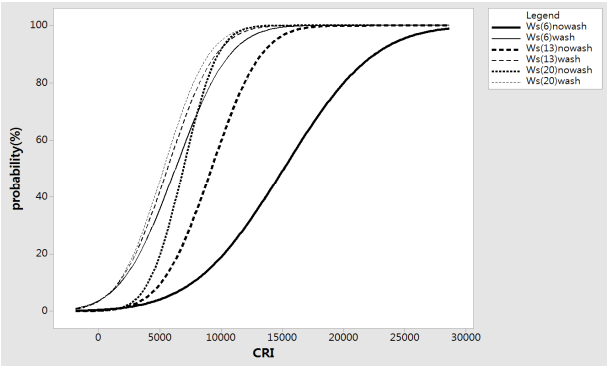


Fig. 10 CDF of contrast radiation intensity(relative Ws per level)

Fig. 10의 해수냉각의 실시여부에 따른 상대풍속 수준별 누적분포함수 그래프에서도 나타나듯이 해수 냉각을 실시 전 상대풍속 수준에 따라 분포가 명확하게 구별됨을 알 수 있으나 실시 후 상대풍속 수준에 따라 분포가 구별되지 않음을 알 수 있다. 즉, 해수 냉각을 실시 전의 상대풍속에 따른 대비복사강도의 영향이 크며, 실시 후의 영향이 미미하다는 것을 나타내고 있다.

Fig. 11의 상대풍속 수준에 따른 상자그림 그래프를 살펴보면 해수냉각을 실시하지 않았을 때 수준에 따라 대비복사강도가 급격히 낮아지는 경향을 보이고 있다. 하지만 해수냉각을 실시하였을 때 수준에 따라 대비복사강도의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 대류열전달 현상에 의한 신호저감효과가 상대풍속의 세기에 비례하여 증가한다는 것을 나타내며, 이미 충분한 저감효과를 보였기 때문에 상대풍속이 최대가 되는 구간에서는 신호 저감효과가 거의 없는 것으로 보인다. 수준별로 비교하였을 때 상대풍속이 낮을 경우 해수냉각 효과가 우수한 것으로 나타났다.

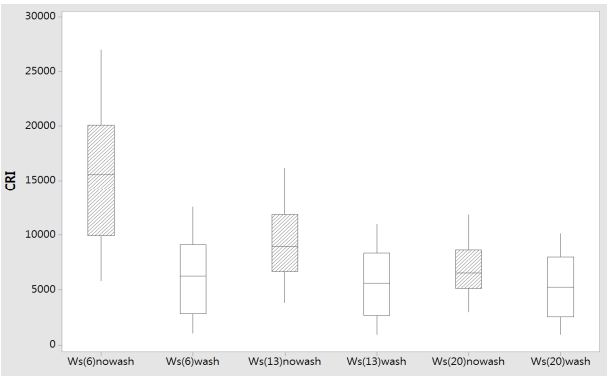


Fig. 11 Box plot of contrast radiation intensity(relative Ws per level)

마지막으로 해수냉각 미실시한 집단과 해수냉각을 실시한 집단의 비교를 정량적으로 파악하기 위하여 Table 8과 같이 대응표본 t-검정을 실시하였다. 대응표본 검정결과 유의수준(양쪽검정)이 모두 P < .001 이므로 상대풍속 에 따라 해수냉각의 효과가 없다는 귀무가설을 기각하며 대립가설을 채택한다. 각 집단별 평균을 비교하였을 때 상대풍속이 6m/s 일때 8849.85 W/sr, 상대풍속이 13 m/s 일때 3594.05 W/sr와 상대풍속이 20m/s 일때 1610.64 W/sr으로 상대풍속이 증가할수록 저감효과가 낮아짐을 알 수 있다.

Table 8 Result of paired sample t-test(Relative Ws per level)

* Unit : W/sr

| Classification | Paired sample t-test | | t | P-value |
|---|---|---|---|---|
| | Mean | Standard deviation | | |
| Relative Ws 6m/s nowash & wash | 8849.85 | 5016.97 | 15.876 | .000 |
| Relative Ws 13m/s nowash & wash | 3594.05 | 3083.44 | 10.490 | .000 |
| Relative Ws 20m/s nowash & wash | 1610.64 | 2541.91 | 5.703 | .000 |

### 4.3.5 상대풍향에 따른 적외선 신호 저감효과

본 연구에서는 해수냉각 실시여부에 따라 상대풍향이 적외선 신호에 어떠한 영향을 미치는지 파악하였다. 두 집단에 대한 확률적 분포를 살펴보기 위해 누적분포함수 그래프로 표현하였다.

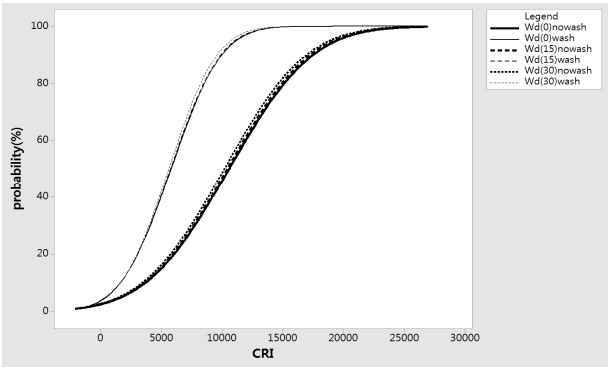


Fig. 12 CDF of contrast radiation intensity(relative Wd per level)

Fig. 12의 해수냉각의 실시여부에 따른 상대풍향 수준별 누적분포함수 그래프에서도 나타나듯이 해수냉각의 실시 전후 분포의 변화가 모든 수준에서 거의 없는 것으로 나타났다.

상대풍향 수준별 효과를 보다 명확하게 파악하기 위해 상자그림 그래프로 나타내어 보았다.

Fig. 13의 상대풍향 수준에 따른 상자그림 그래프를 살펴보면 해수냉각의 실시 전후를 각 수준별로 비교해보면 저감효과가 발생하였으며, 수준에 따른 영향은 동일한 것으로 나타났다.

마지막으로 Table 9와 같이 해수냉각 미실시한 집단과 해수냉각을 실시한 집단의 비교를 정량적으로 파악하기 위하여 대응표본 t-검정을 실시하였다.

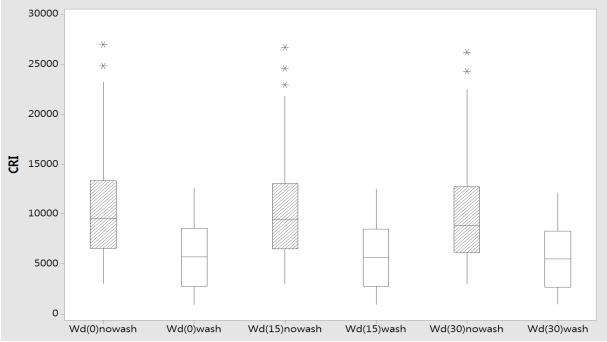


Fig. 13 Box plot of contrast radiation intensity(relative Wd per level)

Table 9 Result of paired sample t-test(Relative Wd per level)

* Unit : W/sr

| Classification | Paired sample t-test | | t | P-value |
|---|---|---|---|---|
| | Mean | Standard deviation | | |
| Relative Wd 0° nowash & wash | 4788.92 | 4857.16 | 8.874 | .000 |
| Relative Wd 15° nowash & wash | 4681.34 | 4807.89 | 8.763 | .000 |
| Relative Wd 30° nowash & wash | 4584.27 | 4769.43 | 8.651 | .000 |

대응표본 검정결과 유의수준(양쪽검정)이 모두 $P < 0.001$ 이므로 상대풍향에 따라 해수냉각의 효과가 없다는 귀무가설을 기각하며 대립가설을 채택한다. 각 집단별 평균을 비교하였을 때 상대풍향이 0도 일때 4788.92 W/sr, 상대풍향이 15도 일때 4681.34 W/sr와 상대풍향이 30도 일때 4584.27 W/sr으로 상대풍향의 수준에 영향이 거의 동일한 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 해수 냉각의 실시유무에 따른 비교분석을 실시한 후 적외선 신호에 영향을 미치는 인자별 개별 적외선신호 저감효과도를 분석하였다.

본 연구를 통한 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 해수냉각을 적용할 경우 적외선 신호가 증가한 시나리오는 전체 중 15.2%를 차지하고 있어 무조건적인 적외선신호의 저감효과가 발생하지 않으며 해양환경에 따라 저감효과가 큰 폭으로 변화한다.

(2) ASTD(Air Sea Temperature Difference)가 낮은 0.5℃의 경우 -6.7℃일때 대비 약 62% 저감효과를 가지게 되어 ASTD가 낮을 경우 상대적으로 우수한 저감 효과를 가진다.

(3) 상대습도의 집단별 평균을 살펴본 결과 56%일때 5561.34 W/sr, 72%일때 4745.54 W/sr과 88%일때 3747.66 W/sr으로 상대습도가 높을수록 저감효과가 감소한다.

(4) 태양방위각이 함 측면(좌현 또는 우현)에 위치하고 있을 때, 상대적으로 우수한 저감효과를 가진다.

(5) 태양방위각과 침로각 차이가 작은 상황($\theta<45°$)에서는 효과가 미미하거나 오히려 신호가 역전되는 현상을 보인다.

(6) 상대풍속이 낮을 때 상대적으로 우수한 저감효과를 가진다.

앞서 정리한 내용을 바탕으로 해수 냉각의 실시여부를 판단할 수 있는 인자의 영향를 탐색함으로써 해수냉각의 효용성을 증대시킬 수 있으며, 함운용측면에서의 기초자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 하지만 본 연구의 경우 함정의 규모가 큰 구축함을 대상으로 해석하였기 때문에 이러한 경향은 함정의 규모에 따라 달라질 가능성이 있어, 향후 다양한 함급(class)에 따른 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

## References

Cho, Y.J. & Lew, J.M., 2005. A Study on the Sensitivity of IR Signature of a Ship according to the Meteorological Environment of Korean Seas. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 42(6), pp.673-685.

Han, S.I. & Cho, Y.J., 2014. Feasibility Study on Sampling Ocean Meteorological Data using Stratified Method. *Journal of the Ocean Engineering and Technology*, 28(3), pp.254-259.

Kim, Y.S., 2012. A Study on the Infrared Signature of a Naval Ship under the Marine Climate. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 49(3), pp.264-272.

Vaitekunas, D.A., 2005. Validation of shipIR (v3.2): methodology and results. *Paper presented at the SPIE Defense and Security Symposium,* Orlando, Florida, USA, 17-21 April 2006, pp.1-12

Vaitekunas, D.A., 2010. IR susceptibility of naval ships using ShipIR/NTCS. *Proceeding of the SPIE Defence, Security and Sensing Conference and Exhibitions*, Orlando, Florida, USA, 5-9 April 2010, pp.1-8.

Wikipedia, 2015. *Type-45 destroyer*. [Online] Availabl e at: http://en.wikipedia.org/wiki/Type_45_destroyer [Accessed 3 March 2015].

정 호 석 조 용 진