

군사위성의 정보 수집에 대응한 함정의 시각신호 감소 방안에 대한 연구

강희진, 이동곤 (한국해양연구원 해양시스템안전연구소), 신종계(서울대학교 해양시스템공학연구소)

1. 서론

최근 획득되는 함정은 적으로부터의 피격성(Susceptibility)을 낮추고 교전 상황에서 함의 생존성(Survivability)을 향상시키기 위해 다양한

신호 감소화 기법의 적용을 통한 스텔스(Stealth)화에 노력하고 있다. 그 중 대표적인 것이 레이더 반사면적(Radar Cross Section), 적외선신호(Infra Red), 수중방사소음(Underwater Radiated Noise) 감소를 통한 함정의 스텔스화로, 함정의 피탐율을 낮추고 적의 공격에 대한 기만체계의 활용 효과를 높이는 것이 주요 목적이다.

그러나 이러한 스텔스화 기법은 적의 육상, 항공 레이더 및 수중 소나로부터의 피탐율을 낮추는데 초점이 맞추어져 있어 위성에 탑재된 광학, 전파 탐지 장비에는 거의 효과가 없다는 문제점이 있다. 이에 본 논문에서는 위성에 탑재된 탐지 장비에 의한 함정 정보 유출을 막고 작전 수행의 성공을 보장하기 위한 방법으로 함정의 시각신호 감소 필요성을 연구하였다.

2. 함정의 시각신호 감소 필요성

2.1 위성의 탐지 능력

근래에 서비스를 시작한 상용 위성 영상의 경우 군사목적의 위성보다 낮은 해상도의 영상을 제공하고 있음에도 불구하고 주요 국가의 군사시설과 장비의

모습을 충분히 확인 가능한 수준으로 제공하고 있다.

Fig. 1은 상용 위성 영상 서비스에서 제공하는 미국 하와이의 진주만 함대 영상으로 함대의 규모와 주요 시설, 정박 함정의 함급(Class), 주요 무장체계의 구성을 쉽게 확인할 수 있다. 이러한 정보들은 주요 군사 시설, 장비의 위치와 구조에 대한 상세한 정보를 제공한다는 점에서 함대 전력을 적의 공격과 테러위협에 직접적으로 노출시킨다는 문제가 있으며 국내 상황도 예외가 아니다.

상용 위성 영상 서비스로 제공되는 위성 영상의 경우 제공되는 영상의 해상도는 수미터급에서 수십미터급까지 다양하며, 실시간 영상 보다는 몇 일에서 몇 개월 전의 촬영 영상이 제공된다는 점에서 함정과 같이 이동하는 물체의 경우 큰 위협이 되지 않

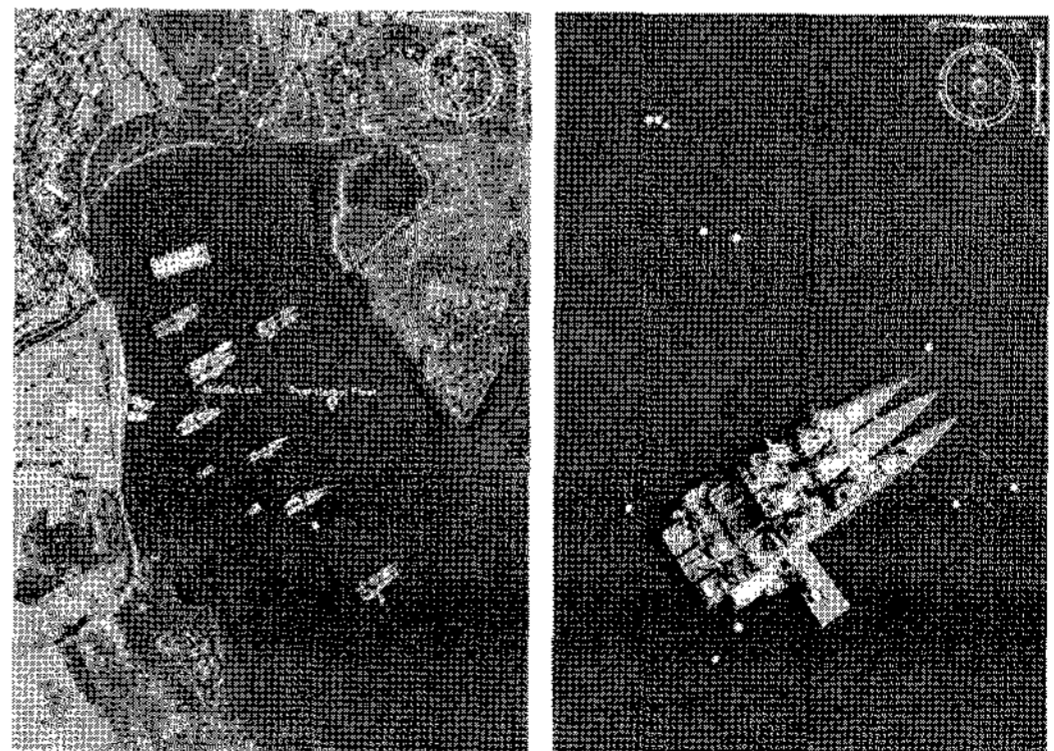


Fig. 1 상용 위성 영상 서비스에서 제공하는 하와이 진주만 함대 영상(Google Earth, 2007)

을 수도 있다.

그러나 군사 목적 위성의 경우 1m급 이상의 해상도로 일 1회 이상 특정지역을 촬영 할 수 있기도 하며, 합성개구레이다(Synthetic Aperture Radar) 탑재 위성의 경우 주야간이나 기상 상태에 관계없이 지상 목표물을 촬영할 수 있다는 점에서 부두와 같이 노출된 구조물과 정박되거나 항해중인 함정의 작전, 운용 상황이 고스란히 노출될 수 있다는 심각한 문제가 있다.

현대의 위성에는 지상 목표물에 대한 정보 수집을 위해 크게 6가지 종류의 탐지체계가 탑재되며 주요 탐지체계 및 기능은 Table 1과 같다.

Table 1 위성 탑재 주요 탐지체계 종류

탐지체계	기능
Optical	지형지물 정보 수집
Infrared	열화상에 의한 특정 표적 검출
Radar	야간·우천시 지형지물 정보 수집
Combo	Optical, Infrared, Radar 신호의 동시 활용을 통한 정보 수집
Signals	전파신호 수집을 통한 정보 수집
Ocean	해상 선박의 항해목적 판별

2.2 한반도 상공의 위성 현황

Table 2 한반도 상공 위성 보유국 현황

구분	보유위성수
일본	21
중국	18
러시아	15
미국	13
인도네시아	5
인도	4
호주	4
국제공동·말레이시아·태국	각 2
독일·카자흐스탄·필리핀·UAE·네덜란드·싱가포르-타이완 공동	각 1
계	93

Table 2는 한국천문연구원의 2007년 국회제출 자료로서 한반도 상공에 외국 위성 93개가 활동 중에 있으며, 이 중 국내 안보에 직접적인 영향을 줄 수 있는 주변국의 경우 운용 목적에 따라 하루 수회에 수십 회에 달하여 국내 주요 함대 및 함정의 운용 상황에 대한 정보를 수집할 수 있다.

2.3 시각신호 감소 필요성

Table 3은 미 해군의 OPNAVINST 9070.2 ‘Signature Control Policy for Ships and Craft of the U.S Navy’(1996. 10.)가 제시한 통제가 필요한 함정의 주요 신호 목록으로, 전자광학기기나 육안에 의해 함정이 식별되는 것을 통제하기 위한 시각신호(Visual Signature) 관련 사항이 명시되어 있다. 미

Table 3 미 해군 OPNAVINST 9070.2의 통제 대상 함정 신호

통제대상 신호
레이다반사면적 (RCS Signature)
소음 (Acoustic Signature)
적외선신호 (IR Signature)
자기신호 (Magnetic Signature)
전자기신호 (Electro-magnetic Signature)
전기신호 (Electric Signature)
시각신호 (Visual Signature)
압력신호 (Pressure Signature)
기타 (Bioluminescence, Radioactivity 등)

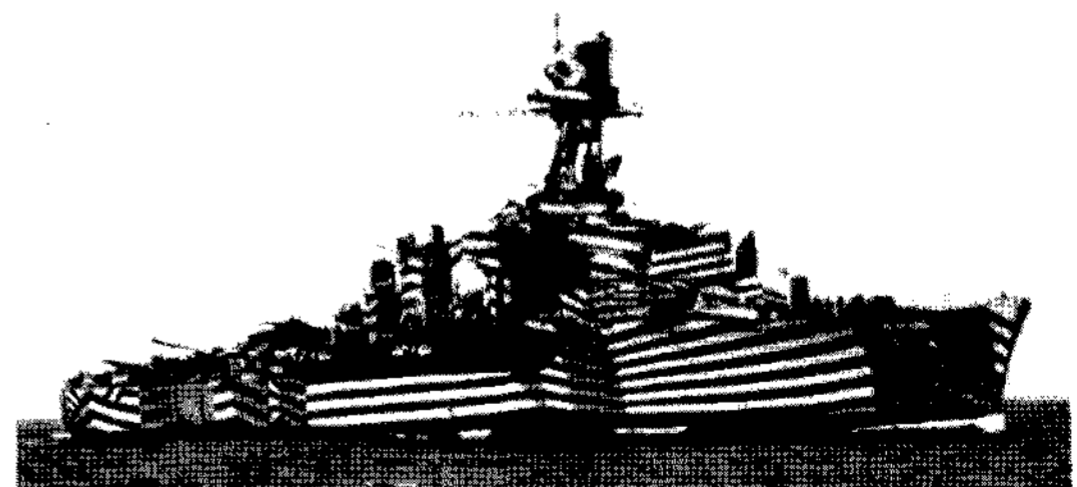


Fig. 2 시각 신호 교란을 위한 함정 위장색 (Camouflage) 적용 사례 (Daniel Berwick, 2001)

국방성 역시 2004년 발표한 핵심군사기술목록(Military Critical Technologies List)에서 시각신호 감소기술을 핵심군사기술로 분류하고, 주요 군사시설 및 장비를 주변 배경과 조화(Match)시키거나 혼합(Blend)하여 은폐하는 기술을 핵심 군사 기술로 분류하여 필요성을 강조하고 있다.

Fig. 2과 같이 함 측면 위장색(Camouflage)에 의한 함정의 시각 신호 교란은 적의 광학 관측장비로부터 함대의 전력을 숨기는데 효과가 있어 많이 사용되었으나 레이더를 비롯한 각종 탐지체계의 발달로 효용성이 낮아 2차 세계대전 이후 거의 사라졌으며, 위성의 탐지 위협에 대응하기 위해서는 연직 방향의 함정 형상 및 장비 구성에 대한 신호 감소 방안 강구가 필요하다.

함정의 경우 전차나 미사일, 항공기와 같이 완전한 수준의 은폐가 어려운 대형 구조물로 현재와 같이 위성 노출될 경우 지속적으로 정보가 노출되어 함정의 주요 운항 일수, 경로 및 작전 내용, 정박 함대, 군수 보급 상황 등이 유출되어 유사시 주요 함정 전력이 출항 전 함대에서 공격을 당하거나 적 레이더, 소나에 포착되기 전에 위성 촬영을 통해 드러난 위치와 경로를 통해 공격받을 수 있는 위험이 있다.

3. 전자광학(Electro-Optics) 영상 대응

함정은 전차나 항공기와 달리 은폐 및 은닉이 어려운 대형 구조물로, 정박 또는 항해 중 위성으로부터 탐지되는 것을 완전히 막기 어렵다. 하지만, 주요 탑재 무장 및 탐지 대상이 되는 수평면 상의 구조물을 위장함으로써 피탐시 함종(Class)과 주요 탑재 무장 식별을 어렵게 할 수 있으며 함정과 같은 대형 구조물의 은닉 또는 은폐를 위해서는 먼저 위성의 대표적인 Optical, Radar 탐지체계인 전자광학(Electro-Optical Camera) 및 합성개구면레이더(Synthetic Aperture Radar) 영상의 특성을 알고 대응해야 한다.

3.1 평면 시각 신호의 감소

전자광학(EO) 영상은 광학망원경에 의해 획득된 영상으로 가시광선(0.4 ~ 0.7 μm)과 근적외선(0.4 ~ 0.7 μm) 파장을 이용하여 영상 관독이 용이하나 구름, 연무 등 기상상태에 영향을 많이 받고 야간에는 영상을 획득 할 수 없는 단점이 있어 군사용 목적으로 사용은 제한적이다.

Fig. 3은 하와이 진주만 함대에 정박중인 함정에 대한 전자광학(EO) 위성 사진에 대한 8bit RGB 히스토그램(Histogram) 분석을 수행한 결과로, 주변색과 대비되는 함정색상이 히스토그램 상에 두드러지게 나타나는 현상을 보여준다.

넓은 해역에서 함정의 존재 여부를 확인하기 위해

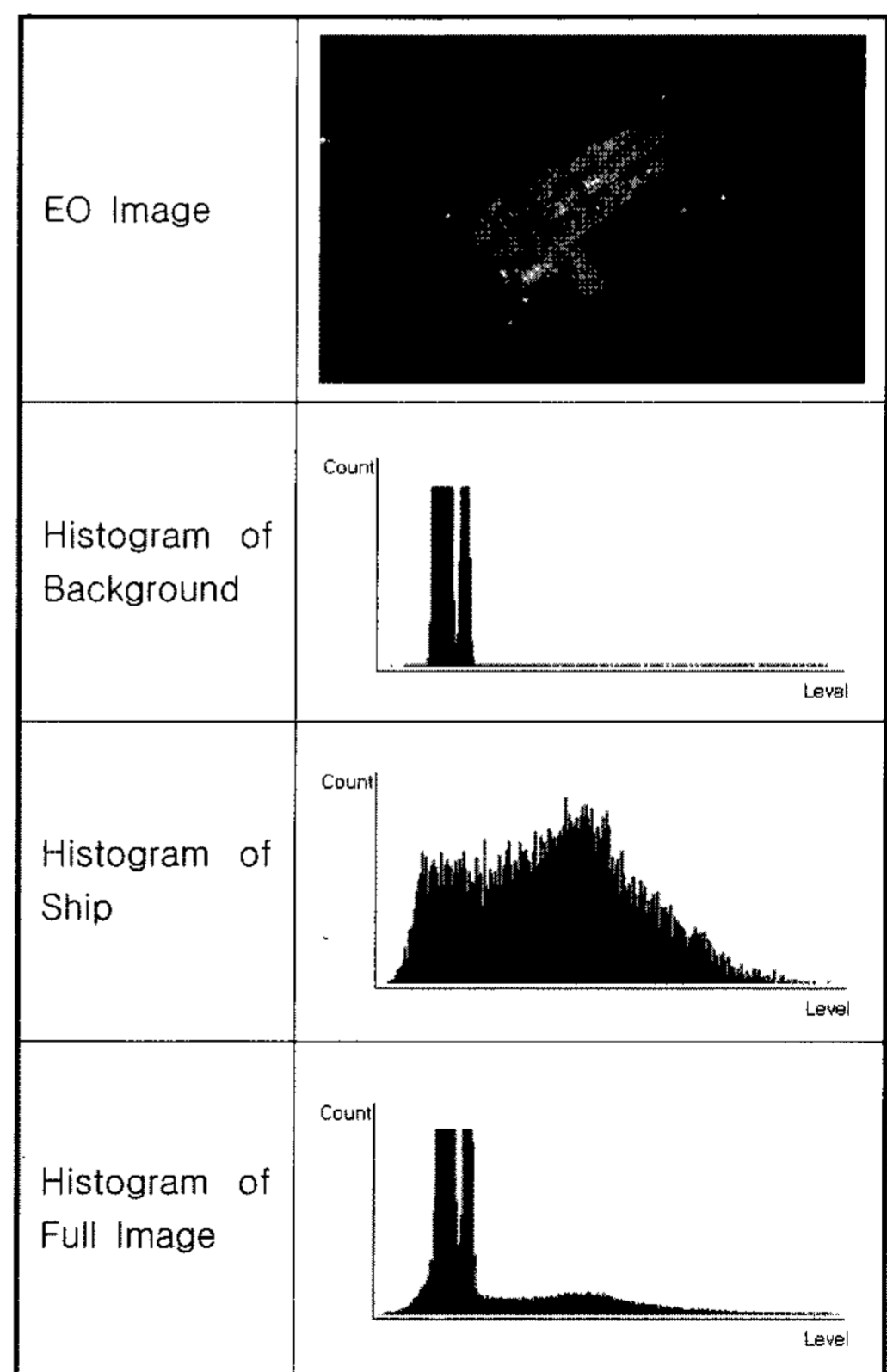


Fig. 3 함정 및 배경의 히스토그램 분석 결과

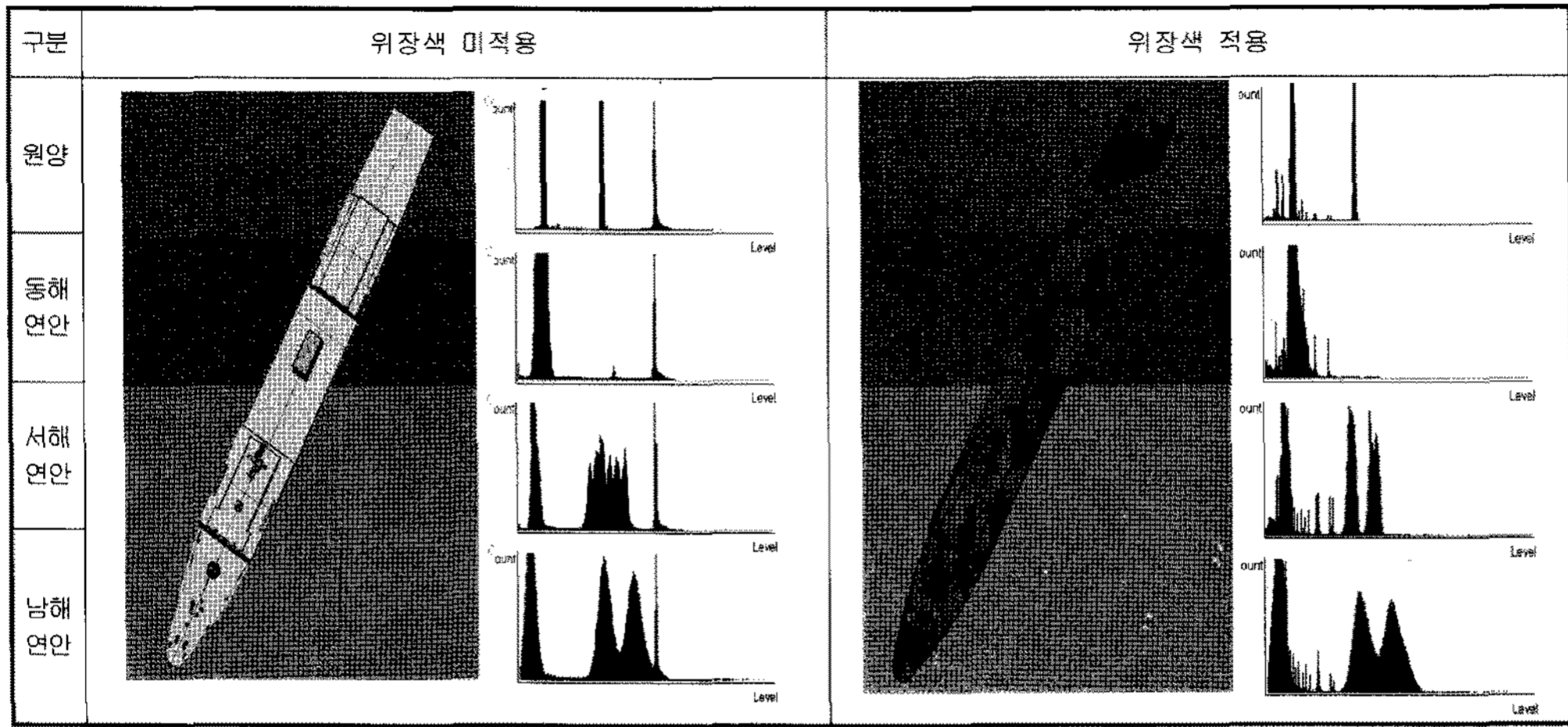


Fig. 4 위장색 적용을 통한 특정 톤 성분 제거 결과

배경색에 속하는 특정 해역의 RGB 코드로부터 함정 및 함정으로부터 유발되는 그림자 색에 속하는 RGB 코드를 분리해내는 일은 간단한 수식 또는 방법론의 적용을 통해 손쉽게 가능하다. 이는 위성영상 사진에서 헤지그레이 같은 함정의 색상이 배경색이나 다른 선박의 색상과 확연히 달라 함정의 존재 및 활동 여부를 손쉽게 확인할 수 있음을 의미한다.

결국 위성의 전자광학(EO) 체계로부터 함정을 은닉하기 위해서는 함정 색상을 배경 색상에 맞추거나 혼합하여 탑재장비나 함정의 함급을 숨길 필요가 있다.

Fig. 4는 는 한반도 주변 해역을 운항 중인 가상 함정을 설정하여 Table 4의 전자광학(EO) 사진으로부터 분석한 한반도 주변 해수면 색상으로 구성된 위장색 적용 후 히스토그램을 분석한 결과로서 특정 레벨의 검출 수준을 배경색으로부터 분리해내기 어려운 수준으로 줄이거나 배경색의 범주안에 포함시킬 수 있음을 보여준다.

3.2 수직 시각 신호의 감소

위성사진에 의해 노출되는 함정 정보 중 함 측면

Table 4 한반도 주변 해역의 전자광학(EO) 사진 표본 색상

구분	표본 색상(RGB)
원해	R:31±4 G:32±5 B:89±7
동해 연안	R:44±4 G:66±8 B:54±7
서해 연안	R:16±3 G:86±5 B:111±5
남해 연안	R:24±5 G:22±5 B:33±6

형상은 함정의 제원 확인에 중요한 의미를 갖는다. 시간차를 두고 촬영된 스테레오 위성사진으로부터 위성의 센서 좌표와 지상 좌표의 불일치 문제를 해결하는 과정을 통해 함정의 측면 형상과 높이가 노출되게 되는데 흔히 (2)의 DLT(Direct Linear Transformation) 또는 (3)의 RPCM(Rational Polynomial Camera Model) 등의 일반화된 센서 모델링 방법론이 활용될 수 있다.

$$x_t = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} + L_{12} X_t Y_t \quad (1)$$

$$y_t = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}$$

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4XY + a_5XZ + a_6YZ + a_7XYZ + a_8X^2 + \dots + a_{19}Z^3}{1 + b_1X + b_2Y + b_3Z + b_4XY + b_5XZ + b_6YZ + b_7XYZ + b_8X^2 + \dots + b_{19}Z^3} \\
 y &= \frac{c_0 + c_1X + c_2Y + c_3Z + c_4XY + c_5XZ + c_6YZ + c_7XYZ + c_8X^2 + \dots + c_{19}Z^3}{1 + c_1X + c_2Y + c_3Z + c_4XY + c_5XZ + c_6YZ + c_7XYZ + c_8X^2 + \dots + c_{19}Z^3}
 \end{aligned} \tag{2}$$

$x, y =$ image coordinates
 $X, Y, Z =$ object coordinates
 (coordinates typically offset & scaled)

(1)의 경우, Gupta가 제안한 LP 행렬 MLP를 활용하여 (4)와 같이 표현될 수 있으며, $(x, y)^T, (x', y')^T$ 와 $(X, Y, Z)^T, (X', Y', Z')^T$ 가 각각 시간차를 두고 촬영된 스테레오 영상과 이에 대응하는 지상 좌표라 하면, (3)를 (4)의 식으로 단일화하여, 스테레오 영상의 좌우 영상에 대한 동일 점을 이용해 기하학적 물체의 지상좌표를 및 높이를 구할 수 있다.(김성채, 2002)

$$(y, wx, w)^T = M_{LP}(X, Y, Z, 1)^T \tag{3}$$

$$(y', w'x', w')^T = M_{LP}'(X, Y, Z, 1)^T$$

$$\begin{pmatrix} m_{11} & m_{11} & m_{11} & m_{11}-y & 0 & 0 \\ m_{11} & m_{11} & m_{11} & m_{11} & x & 0 \\ m_{11} & m_{11} & m_{11} & m_{11} & 1 & 0 \\ m'_{11} & m'_{11} & m'_{11} & m'_{11}-y' & 0 & 0 \\ m'_{11} & m'_{11} & m'_{11} & m'_{11} & 0 & x' \\ m'_{11} & m'_{11} & m'_{11} & m'_{11} & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \\ -w \\ -w' \end{pmatrix} = 0 \tag{4}$$

이와 같은 방법으로 합정 측면의 높이나 형상을 추정하기 위해서는 스테레오 영상의 동일점을 찾거나 윤곽선 정보를 얻어야 하며 Fig. 5 (a)와 (a') 같이 합정의 측면 형상에 생긴 그림자를 이용하는 방법이 일반적으로 사용된다. 따라서 그림자를 이용한 윤곽선 획득이 어렵도록 그림자를 숨기거나 왜곡할 경우 위성영상으로부터 합정 측면 형상에 대한 구체적인 정보 획득이 곤란해지며 Fig. 5 (c)와

(d)에서 보는 바와 같이 위장색의 적용은 그림자로부터 얻어지는 윤곽선 정보를 교란하여 합정 측면

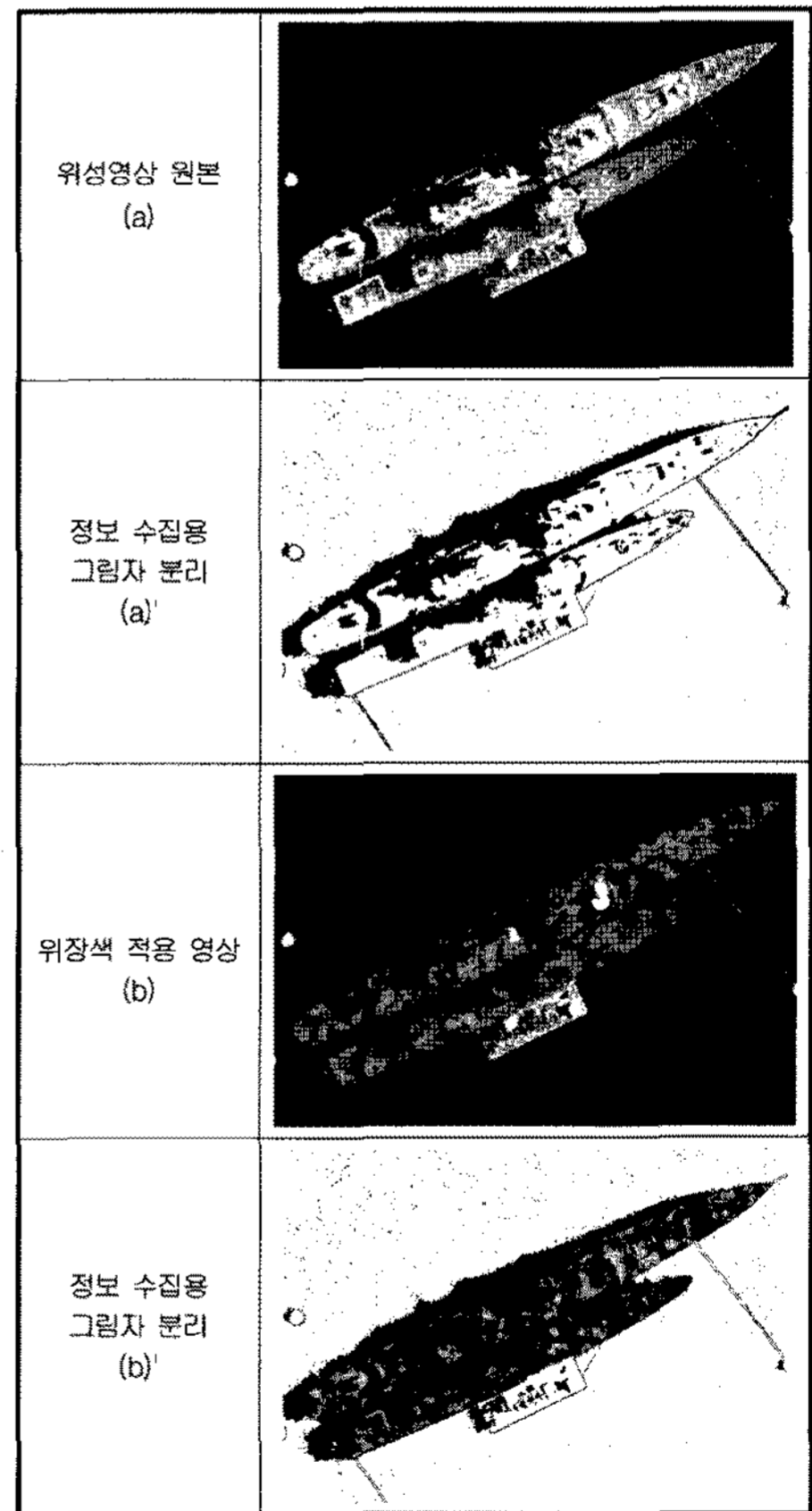


Fig. 5 위장색을 이용한 합정 상부구조물의 윤곽정보 교란 결과

형상의 노출을 막는데 효과가 있다.

3.2 합성개구레이다(Synthetic Aperture Radar) 영상 대응

합성개구레이다(SAR)는 마이크로파를 이용하여 영상을 획득하며 전자광학체계에 비해 기상상태나 주야간에 관계없이 영상 수집이 가능한 장점이 있으며 전자광학 영상과 병행하여 활용시 정보 수집 능력이 배가된다. Fig. 6은 위성이 궤도를 따라 지속적으로 이동하며 순차적으로 획득한 영상을 합성하여 전체 영상을 만들어 내는 원리를 설명하기 위한 기하모델이다.

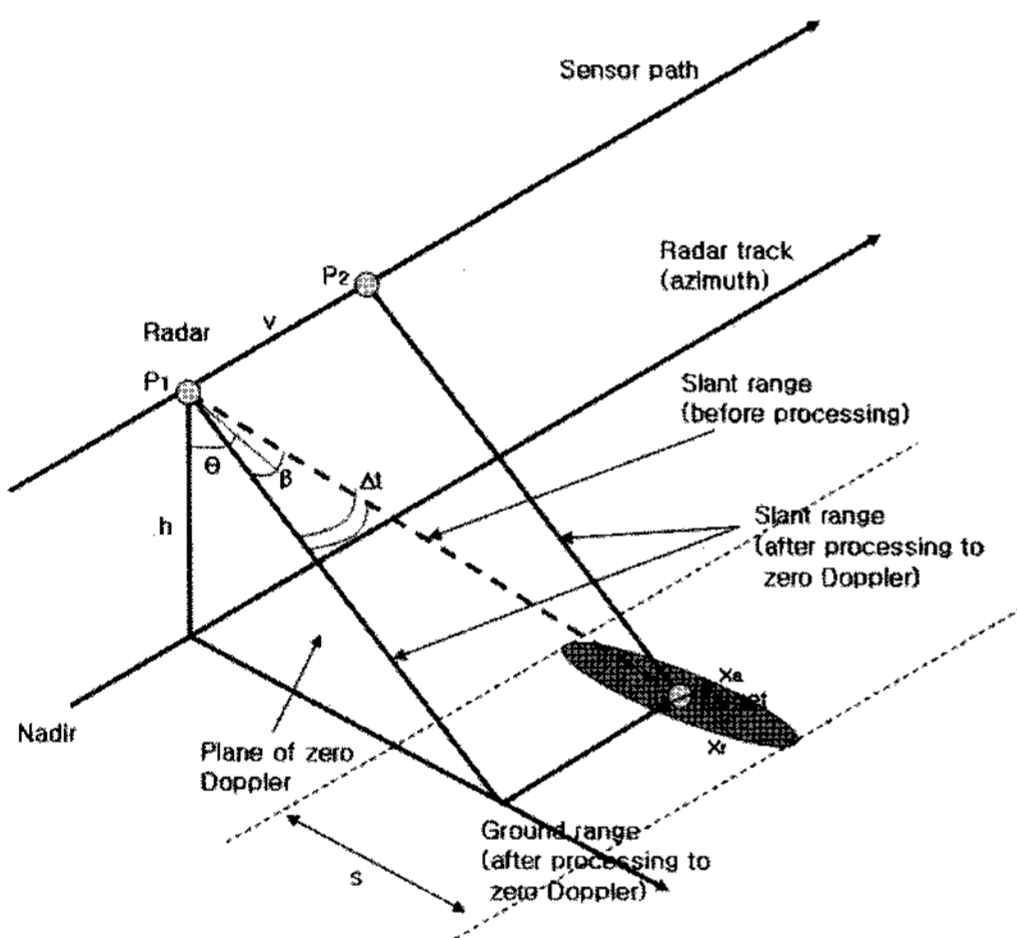


Fig. 6 합성개구레이다(SAR) 기하모델

획득된 영상의 신호처리 후 두 표적을 구분할 수 있는 최소 근접거리를 영상의 해상도라 할 때 지구 곡률을 무시하면 Fig. 8로부터 합성개구레이다(SAR)의 거리방향(Range) 해상도 X_r 은 (5)과 같다.

$$X_r = \frac{c}{2\beta \sin\theta} \quad (5)$$

여기서 β 는 안테나 빔폭, θ 는 관측각이며, c 는 전파속도이다. 합성개구레이다(SAR)는 이동하는 위성에 의해 획득된 영상을 합성함으로써 방위방향에

대한 영상을 획득하게 되며 일반적으로 도플러 합성방법이 사용되는데 이 때 최대 해상도 X_a 는 (6)으로 표현된다.

$$X_a = R_s \frac{\lambda}{2L_{syn}} = R_s \frac{\lambda}{2} \frac{L}{R_s \lambda} = \frac{L}{2} \quad (6)$$

여기서 λ 는 전자파 파장이고, L_{syn} 은 합성안테나 길이, R_s 는 경사거리, L 은 안테나 유효길이이다. 최근 해상도 1m급 이상의 합성개구레이다(SAR)가 개발 운용 중이며, 위성 운용의 특성상 상대 위치에 따라 다양한 관측각 θ 를 얻을 수 있음을 고려하면, 레이다파가 해수면에 수평하게 입사하는 것을 가정한 현재의 합 측면 경사화 설계 기법은 수십에서 수백미터에 이르는 대형 구조물인 함정의 형상 정보 누출을 막고 의도한 스텔스 성능을 얻는데 한계가 있다.

합성개구레이다(SAR)의 경우 기하모델의 특성상 위상차에 의한 오차가 발생하게 되며, 이론적인 레이다파의 반사량을 $e^{j2\pi\phi(t)}$ 라 하고, 2π 라디안 단위의 위상차를 $\phi(t)$ 라 하면 목표물이 되는 함정과 위성의 거리는 Fig. 6에서 (7)과 같으며, 위상차 $\phi(t)$ 는 (8)와 같이 표현된다.

$$R(t) = \sqrt{R_0^2 + v^2 t^2} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \phi(t) &= \frac{2R(t)}{\lambda} \\ &\approx \frac{2}{\lambda} \sqrt{R_0^2 + v^2 t^2} \\ &= \frac{2R_0}{\lambda} + \frac{v^2 t^2}{\lambda R_0} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 R_0 는 위성과 목표물인 함정의 최단 거리이며, v 는 위성의 이동속도, t 는 이동시간, λ 는 전자파 파장이다. Fig. 7은 위상차에 의한 레이다반사면적의 왜곡현상을 보여주는 예로, 실선으로 표시된

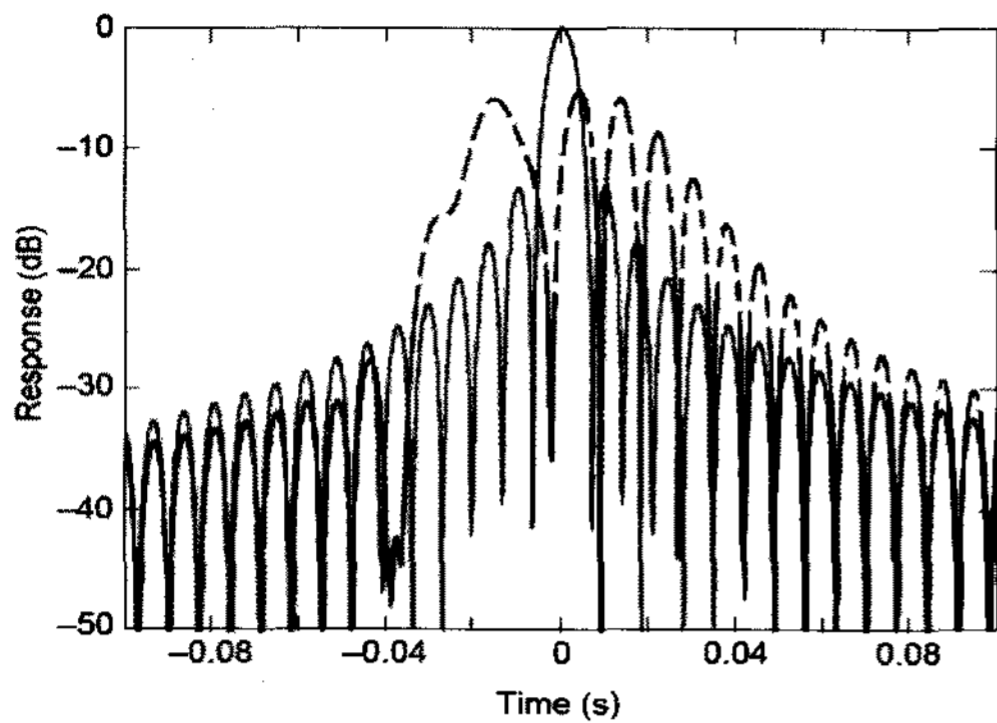


Fig. 7 위상차에 의한 RCS 값 왜곡 예 (Dale C. Griffith, 1997)

부분은 이론에 의한 레이다반사면적이고 점선은 위상차에 의해 왜곡된 레이다반사면적을 나타낸다.

합성개구레이다(SAR)의 위상차에 의해 왜곡된 영상정보는 전자광학(EO) 사진과의 비교 검토를 통해 보정하는 것이 일반적이고 쉬운 방법이나 앞서 검토한 바와 같이 위장색을 합정에 적용할 경우 전자광학 사진에 의한 합성개구레이다(SAR) 영상 보정은 그림자에 대한 윤곽 확보가 어려워 일정 수준 이상의 정밀도를 확보하기 어렵게 되므로 위장색의 적용은 합성개구레이다(SAR) 영상에 의한 정보수집에 대응하는데 있어서도 효과적인 수단이 된다.

또한 합성개구레이다(SAR)는 일반적인 실개구면 레이다(Real Aperture Radar)와 동일 범주의 주파수를 사용하여 반사되어 돌아오는 레이다 산란파에 의해 영상을 획득하므로, 주요 정보수집 대상 합정 및 상부 구조물의 레이다반사면적(Radar Cross Section)에 대한 모델링 및 시뮬레이션, 실험 값을 활용해 특정 구조물 또는 돌출 무기체계 보다 큰 레이다반사면적을 갖는 다중반사(Multi-hedral)체 레이다반사기(Radar Reflector)를 배치하거나 레이다 흡수물질(Radar Absorbing Material)을 활용함으로써 위성으로부터의 형상 정보 수집을 방해 또는 지연시키는 방법도 고려할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 합정의 스텔스 기술이 수상, 항공 레이다 및 수중의 소나에 대한 피탐율을 줄이고 적의 공격시 기만체계의 효용을 높이는 것에 집중되어 있는 것에 대해 위성에 의한 합정 정보수집과 그로부터 유발될 수 있는 적의 공격, 테러에 의한 합정 전력 손실 위험성을 제기하였다. 또한 이의 대책으로서 시각 신호 감소 필요성을 주장하고 세부적인 방안으로서 위장색의 적용 방안과 효과에 대해 기초적인 검토를 수행하였으며, 추후 레이다반사기와 레이다흡수물질을 활용할 것을 제안하였다. 본 연구는 시각신호 감소를 주요 스텔스 기술로서 재 인식하는 계기를 마련하고 활발한 연구 및 기술 발전을 위한 기술적 단초를 제공하였다는데 있어 학술적, 군사적 가치를 지닌다.

그러나 본 연구 내용은 측면에서 촬영되는 위성 영상에 대한 대응 방안이 포함되지 않고, 실제 합정에 적용을 통한 효과 검증이 이루어지지 않는 등 향후 추가적인 연구를 통한 보완과 검증이 필요하다.


본 연구 내용이 추가적인 연구의 수행을 통해 다양한 합정 구조 및 위장색에 대한 모델링 및 시뮬레이션을 수행하고 실제 합정에 적용 가능한 수준의 위장색 및 상부 구조물 형상을 구성함으로써 주요 해군 전력을 전, 평시 적의 공격 및 테러의 위협으로부터 보호하는데 기여할 수 있기를 기대한다.

참고문헌

- 김국현, 김진형, 조대승, 2005, "Object Precision 방법을 이용한 복합구조물의 RCS 해석", 대한조선학회 논문집, 제42권, 제2호, pp. 159-164.
- 김국현, 조대승, 김진형, 이정관, 2006, "장파봉파가 해상표적의 RCS에 미치는 영향에 대한 수치해석", 대한조선학회 논문집, 제43권, 제3호, pp.384-391.
- 김성채, 2003, "고해상도 위성 영상을 이용한 자동 건물 복원"
- 박철수, 조용진, 박동훈, 안종우, 2006, "다구치 방법을 이용한 합정 RCS 형상최적화에 관한 연구", 대한조선학회 논문

집, 제43권, 제6호, pp.693-699.

- 최삼욱, 부성윤, 2000, “물리 광학법을 이용한 함정구조물의 레이더 반사면적 계산”, 대한조선학회 논문집, 제37권, 제4호, pp.82-91.
- Daniel Berwick, 2001, “A Framework for Color Image Indexing and Object Recognition: Spectral and Spectral Spatial Gradients”
- Department of Defense(DoD), 2004, “Military Critical Technologies List Section 18 Signature Control Technologies”

- Department of the Navy, 1996, “OPNAVINST 9070.2 Signature Control Policy for Ships and Craft of the U.S. Navy”
- Dale C. Griffith, 1997, “Phase Error Compensation Technique for Improved Synthetic Aperture Radar Performance”
- Kawaguchi, T., Baba, T., Nagata, R., 1997, “3-D object recognition using a genetic algorithm based search scheme”
- Zhang L., Gruen, A., 2003, “Automatic DSM Generation from StarImager(SI) Data”
- <http://www.earth.google.com> 

강희진 | 한국해양연구원 연구원



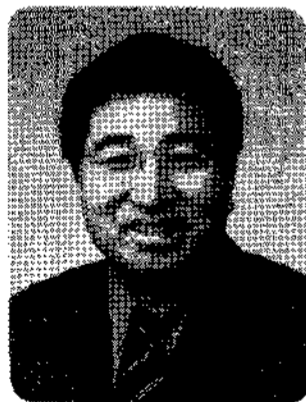
- 1976년생
- 2005년 서울대학교 박사수료
- 관심분야: 시스템엔지니어링의 선박 설계, 생산 적용
- 연락처: 042-869-0420
- E-mail: ray5117@moeri.re.kr

이동곤 | 한국해양연구원 책임연구원



- 1959년생
- 1995년 부산대학교 박사
- 관심분야: 해양안전, 안전설계, 선박 및 해양시스템 설계 기술 연구개발
- 연락처: 042-868-7222
- E-mail: dklee@moeri.re.kr

신종계 | 서울대학교 조선해양공학과 교수



- 1955년생
- 1988년 미 MIT 박사
- 관심분야: PLM기반 시뮬레이션생산시스템
- 연락처: 02-880-7129
- E-mail: jgshin@snu.ac.kr