

능동 표면온도 제어 기반 적외선 스텔스 기술의 전파 스텔스 설계 조건 내 통합 적용성 분석

Analysis of the Integration Applicability of Active Infrared Stealth Technology under Radar Stealth Design Constraints

김동건¹⁾ . 김 정²⁾ . 박명훈²⁾ . 현 철^{*2)}

Donggeon Kim¹⁾ . Jung Kim²⁾ . Myunghoon Park²⁾ . Chul Hyun^{*2)}

[초 록]

적외선(IR) 및 전파(RF) 스텔스 기술의 통합 적용 가능성을 검토하기 위해, 전파흡수재(RAM)와 금속 재질 표면을 대상으로 열응답 및 적외선 대비 특성을 MuSES 기반 시뮬레이션으로 분석하였다. RAM은 낮은 열전도율과 높은 비열로 인해 표면 고온부 형성 및 온도 불균일성이 나타났으며, 금속은 열 분포가 상대적으로 균일하였다. 이러한 열물리적 차이는 능동 열제어 기반 IR 스텔스 적용에 구조적 제약 요인으로 작용할 수 있다. 본 연구는 복합 센서 대응을 위한 통합 스텔스 설계의 열응답 특성 분석과 설계 고려 사항을 제시하였다.

[ABSTRACT]

To address the requirements of multispectral stealth, this study examines the applicability of infrared (IR) stealth techniques based on surface temperature control under radar stealth design constraints, including radar-absorbing materials (RAM) and low-RCS structures. Thermal simulations and infrared image analyses show that RAM induces delayed thermal response and uneven surface temperatures, which increase IR detectability. These effects are mainly due to the inferior thermal properties of RAM compared to metals. Based on these findings, the study proposes design directions for integrated IR-RF stealth systems, focusing on multilayer surface structures and adaptive thermal control strategies.

Key Words : Infrared Stealth(적외선 스텔스), Radar Stealth(전파 스텔스), Surface Thermal Control(표면 열제어), Radar Absorbing Material(전파 흡수재료)

1. 서 론

현대 전장 환경에서는 표적 탐지 기술의 고도화와 함께 스텔스 기술의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 스텔스 기술은 작전 수행 플랫폼이 다양한 센서 체계에 노출되지 않도록 설계하는 기술로, 일반적으로 전파(Radio Frequency, RF), 적외

선(Infrared, IR), 음향 및 시각 대역에 이르기까지 다양한 영역에서의 신호 노출 저감 기법으로 구성된다. 이 중 RF 스텔스 기술은 항공기나 함정 등 주요 전력 자산에 광범위하게 적용되어 왔으며, 레이더 반사 단면(Radar Cross Section, RCS)을 줄이기 위한 형상 설계와 전파 흡수 재료의 적용이 대표적인 방법이다^[1, 2].

반면 IR 스텔스 기술은 상대적으로 기술 개발 역사가 짧고 적용 사례도 제한적이지만, 열영상 기반 탐지 기술이 고도화됨에 따라 그 필요성이 점차 증가하고 있다. IR 스텔스는 플랫폼이 방출하는 복사 에너지를 제어하여 배경 환경과의 열 대비를 줄이는 데 초점을 둔다. 이를 위해 표면 재질의 선택, 위치 코팅, 열적 구조 설계, 그리고 최근에는 능동 열제어 방식 까지 다양한 접근이 시도되고 있다. 특히 능동형 IR 스텔스는 표면 온도를 실시간으로 제어하여 열영상에서의 대비를 최소

1) LIG넥스원 해외사업연구소. 유도무기개발단. 체계종합2팀
(Global PGM System Integration, LIG Nex1 Co. Ltd., Korea)
2) LIG넥스원 해양연구소. 2팀

(Maritime R&D Center, LIG Nex1 Co. Ltd., Korea)

* Corresponding author, E-mail: chul.hyun@gmail.com

Copyright © The Korean Institute of Defense Technology

Received : June 23, 2025 Revised : September 29, 2025

Accepted : September 30, 2025

화하는 전략으로, 정적 위장 중심의 기존 기술을 보완하고 있다^[3, 4].

그러나 RF 스텔스 기술과 IR 스텔스 기술은 서로 다른 물리 기반과 기술 특성을 가지므로, 이를 하나의 플랫폼에 통합 적용할 경우 기술 간 충돌이 발생할 수 있다. 예를 들어, RF 스텔스를 위한 전파 흡수 재료(Radar Absorbing Material, RAM)는 일반적으로 낮은 열전도율과 높은 열용량을 가지며, 이는 IR 스텔스에 요구되는 빠른 열확산과 정밀한 온도 제어에 불리한 조건이다. 또한 RAM은 통상적으로 구조물 외피에 부착되는 방식으로 적용되며, 하부 금속 구조체와의 열전달 비일관성 문제도 존재한다. 이로 인해 RAM을 적용한 플랫폼은 일정 시간 이후 표면 고온부가 형성되고, IR 센서에서 탐지될 위험이 증가할 수 있다.

이러한 기술적 충돌은 단순히 RAM과 IR 제어 기술의 성능 차이에서 비롯되는 것이 아니라, 두 스텔스 기술이 요구하는 열물리적 특성 간의 근본적 비대칭성에서 기인한다. 그럼에도 불구하고 미래 복합 센서 환경에서는 RF와 IR을 동시에 회피 할 수 있는 스텔스 통합 기술의 수요가 더욱 커질 것으로 예상된다. 따라서 RAM 기반 구조물에서의 열응답 특성을 정량적으로 분석하고, 이를 IR 대비 관점에서 평가하는 작업은 복합 스텔스 설계를 위한 기술적 기반이 될 수 있다.

본 논문은 RAM과 금속 재질 표면에 대해 열적 응답 특성과 적외선 영상에서의 대비 특성을 시뮬레이션 기반으로 비교하고, 이로부터 복합 스텔스 적용 시의 기술적 제약을 도출하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 2장에서는 IR 스텔스 기술의 개요와 제약 요인을 정리하고, 3장에서는 해석 조건과 재료 특성을 정의한다. 4장에서는 RAM과 금속 표면의 열응답과 적외선 대비 결과를 비교 분석하고, 5장에서는 복합 스텔스 설계를 위한 구조적 고려사항을 제안한다. 마지막으로 6장에서는 본 연구의 결론을 정리하고 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 적외선 스텔스 기술 개요 및 적용 제약 요인

IR 스텔스 기술은 열영상 기반 탐지 체계에 노출되는 복사 신호를 저감함으로써 피탐지성을 줄이는 기술로, 표적이 방출하거나 반사하는 열복사 에너지를 제어하는 데 초점을 둔다. 탐지 체계는 주로 3~5μm(MWIR) 또는 8~12μm(LWIR) 대역의 파장 영역을 활용하며, 대상의 절대 온도뿐 아니라 주변 배경과의 대비 차이에 민감하게 반응한다. 따라서 IR 스텔스는 단순한 표면 온도 저감이 아니라, 배경과의 열적 일관성 확보, 즉 "온도 동기화"를 실현하는 것이 핵심 과제가 된다.

IR 스텔스 기술은 적용 방식에 따라 크게 수동형(pассив)과 능동형(актив)으로 구분된다. 수동형 방식은 적외선 반사율이 낮고 열전도 특성이 우수한 재료를 선택하거나, 적외선 위장 패턴을 적용해 탐지 가능성을 줄이는 방식이다. 반면 능동형 방식은 외부 환경 변화나 작동 조건에 따라 표면 온도를 실시간으로 조절하여, 배경과의 열 대비를 적극적으로 제어한다. 이는 표면 아래에 열원 또는 냉각 시스템을 배치하거나, 복사율이 조절 가능한 스마트 재료를 적용함으로써 구현된다^[5].

최근의 IR 센서는 고분해능 열영상 제공과 신속한 스캔 기능을 동시에 갖추고 있어, 단순한 온도 저감만으로는 탐지 회피가 어려운 상황이다. 특히 이동 플랫폼이나 비정형 표적의 경우, 배경과의 열 대비가 특정 조건에서 급격히 증가할 수 있기 때문에 능동형 IR 스텔스 기술의 필요성이 더욱 강조되고 있다. 그러나 실제 적용에 있어서는 열전달 제어의 정밀도, 응답 속도, 에너지 소비, 구조 내 공간 확보 등 다양한 현실적 제약이 수반된다.

이러한 IR 스텔스 기술을 RF 스텔스 기술과 통합하여 적용하려 할 경우, 가장 큰 기술적 장애물은 두 기술이 요구하는 열물리적 특성이 상충된다는 점이다. 전파 흡수 재료(RAM)는 전자파 손실을 유도하기 위해 다공성 구조, 고유전율·고투자율 성분이 포함되며, 이로 인해 일반적으로 열전도율이 낮고, 비열과 밀도가 높다. 이러한 특성은 열 확산을 지연시키고, 열에너지가 표면에 잔류하게 만들어 IR 스텔스 관점에서는 오히려 불리한 조건이 된다. 특히 RAM은 열적 관성(thermal inertia)이 커서 빠른 온도 변화가 어려우며, 내부 축적된 열이 표면을 통해 방출되면서 중심 고온 영역이 형성되는 문제를 야기할 수 있다^[6].

또한 RAM은 대부분 플랫폼의 외부 표면에 부착되는 형태로 적용되기 때문에, 하부 구조체와의 열적 불일치도 문제를 심화 시킨다. 하부가 금속일 경우 높은 열전도율로 인해 내부 열이 빠르게 이동하지만, RAM 표면은 느리게 반응하므로 제어 입력과 표면 응답 간의 시차가 발생하게 된다. 이로 인해 표면 온도를 배경과 실시간으로 동기화하려는 능동 제어 시스템의 예측 오차가 커지고, 비선형적 온도 분포가 발생하게 된다.

요약하자면, IR 스텔스 기술 자체도 구현 난이도가 높은 편이지만, 이를 기존의 RAM 기반 RF 스텔스 구조와 통합하려는 경우에는 재질, 구조, 제어 응답 면에서 복합적인 제약 요인이 발생한다. 따라서 이러한 제약 조건을 정량적으로 분석하고, 시뮬레이션 기반으로 비교함으로써 복합 스텔스 설계의 기술적 기반을 확보할 필요가 있다. 다음 장에서는 이러한 목적을 달성하기 위해 설정한 시편 조건, 재료 물성, 경계 조건 및 해석 방법에 대해 구체적으로 설명한다.

3. 해석 조건 및 분석 대상 정의

본 장에서는 RAM과 금속 재질 구조물의 열응답 및 적외선 대비 특성을 비교 분석하기 위한 해석 조건을 정의한다. 시뮬레이션은 ThermoAnalytics 사의 MuSES를 활용하였으며, 열전달과 복사 해석을 통합 수행할 수 있는 역량을 바탕으로 실제 IR 대비 해석에 적합하도록 설정하였다.

3.1 시편 형상 및 경계 조건

해석 대상은 가로 300mm, 세로 300mm, 두께 5mm의 정사각형 평판 시편으로 설정하였다. 상부 표면에는 $200\text{W}/\text{m}^2$ 의 균일한 열유속이 10초 동안 인가되며, 하부는 대류 계수 $10\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ 및 외기온도 25°C 조건으로 설정하였다. 측면은 단열 조건을 적용하였으며, 표면에서의 열 손실은 복사 조건 없

이 대류만 고려하였다. 이러한 설정은 단순화된 형상 내에서 재질 간의 열전달 특성 차이를 명확히 드러내기 위한 조건으로 구성되었다.

3.2 재료 물성 정의

비교 대상 재료는 RAM과 알루미늄으로 구성하였다. RAM은 열전도율을 $0.5\text{W/m}\cdot\text{K}$, 비열 $1,200\text{J/kg}\cdot\text{K}$, 밀도 $1,700\text{kg/m}^3$ 의 특성을 갖는 복합재로 모델링하였으며, 알루미늄은 각각 $205\text{W/m}\cdot\text{K}$, $900\text{J/kg}\cdot\text{K}$, $2,700\text{kg/m}^3$ 로 설정하였다. 이 두 재료는 열용량과 열확산 계수의 차이가 뚜렷하기 때문에 동일한 조건 하에서의 응답 특성을 비교하기에 적절하다. 특히 RAM의 높은 비열과 낮은 열전도율은 중심부 고온 축적 및 표면 온도 불균일을 유도하는 요인이며, 금속 재질은 빠른 열확산으로 인해 균일한 열분포를 형성한다는 가정을 바탕으로 한다.

3.3 해석 방법 및 평가 항목

해석은 0.1초 간격의 시간 분해능을 기준으로 총 10초간 수행되었으며, 시편 전체에 대한 평균 표면 온도 변화 곡선, 단면 온도 분포 시각화, 적외선 영상 시뮬레이션, 픽셀 밝기 분포 히스토그램 등을 주요 결과 항목으로 설정하였다. 평균 온도 변화 곡선은 응답 속도 및 안정화 경향 비교에 활용되며, 열영상 및 밝기 분포는 IR 센서에서 인식되는 대비 특성의 정성적·정량적 비교를 가능하게 한다. 해석 결과는 RAM과 금속 간의 열적 응답 차이가 IR 대비에 미치는 영향을 설명하기 위한 기초 데이터로 활용된다.

4. 열응답 및 적외선 대비 시뮬레이션 분석

본 장에서는 3장에서 정의한 조건에 따라 시뮬레이션을 수행하고, RAM과 금속 재질 시편의 열응답 특성과 IR 대비 특성을 비교 분석한다. 분석은 시간에 따른 평균 표면 온도 변화, 적외선 영상 시뮬레이션, 픽셀 밝기 분포 정량화의 세 단계로 구성되며, 각 결과는 Fig. 1~3과 Table 1을 통해 제시된다.

4.1 평균 표면 온도 응답 분석

Fig. 1은 열속 인가 후 10초 동안 RAM과 금속 시편의 평균 표면 온도 변화를 나타낸다. RAM은 약 3.5초 이내에 목표 온도인 39.25°C 에 도달한 뒤 점진적으로 포화되는 형태를 보이며, 전체 시뮬레이션 기간 동안 높은 온도를 유지하는 경향이 있다. 반면 금속은 약 1.5초 내에 빠르게 34°C 수준으로 안정화되며, 이후 큰 변동 없이 일정한 온도를 유지한다. 이러한 차이는 두 재료의 열전도율과 비열 차이에 기인하며, RAM은 열적 관성이 크고 내부 열 축적이 심화되면서 열포화 시간이 길어지는 특성을 보인다.

Table 1은 RAM과 금속 재질 각각의 최대 온도, 평균 온도, 표면 온도 표준편차 및 안정화 시간을 정리한 것이다. RAM은 최대 40.19°C , 평균 33.81°C , 표준편차 3.47°C 를 나타냈으며, 금속은 각각 34.05°C , 32.14°C , 0.88°C 수준으로 분석되었다.

이 결과는 RAM이 중심 고온 영역을 형성하며 열 불균일성이 크다는 것을 정량적으로 보여준다. 특히 표면 온도 분산이 클 수록 IR 센서에서의 열 대비가 커질 가능성이 있으며, 이는 탐지 위험성과 직접적으로 연결된다.

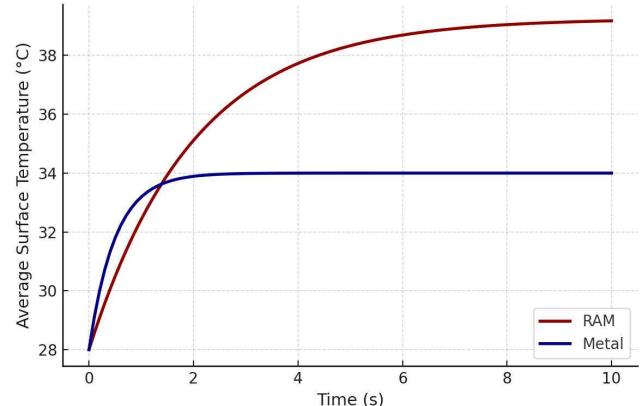


Fig. 1. RAM과 금속 재질 시편에 대한 시간에 따른 평균 표면 온도 변화

Table 1. RAM과 금속 재질 시편의 열응답 특성

Surface Type	Metal	RAM
Max Temp.(°C)	34.05	40.19
Mean Temp.(°C)	32.14	33.81
Std. Dev.(σ)	0.88	3.47
Stabilization Time(sec)	1.5	3.5

4.2 적외선 시뮬레이션 영상 분석

Fig. 2는 RAM과 금속 시편의 표면 온도 분포에 대한 적외선 시뮬레이션 결과를 나타낸다. (a)는 RAM 시편, (b)는 금속 시편에 대한 시뮬레이션 영상으로, 동일한 열속 조건에서 두 재질이 형성하는 온도 분포의 차이를 직관적으로 확인할 수 있다.

Fig. 2(a)에서 RAM은 중심부에 고온 영역이 뚜렷하게 형성되며, 주변과의 온도 구배가 급격하게 나타난다. 이는 낮은 열전도율과 높은 열용량으로 인해 외부 열이 빠르게 확산되지 않고, 표면 중심부에 축적되기 때문이다. 이러한 온도 분포는 IR 센서 시야 내에서 고대비 시그널로 표현될 수 있어 탐지 위험을 높이는 요인으로 작용한다. 반면 Fig. 2(b)의 금속 시편은 전반적으로 균일한 온도 분포를 형성하며, 중심과 주변 간의 온도 편차가 작다. 이는 높은 열전도율로 인해 열이 시편 전반에 걸쳐 빠르게 확산되기 때문이다. 결과적으로 열영상 상에서는 저대비 시그널로 나타나 탐지 회피에 유리한 특성을 보인다.

이러한 시각적 차이는 IR 센서의 대비 감응 특성과 직접적으로 연관된다. RAM 표면처럼 중심 고온 영역이 명확히 구분되는 경우, 센서의 공간 분해능에 따라 해당 영역이 쉽게 추출

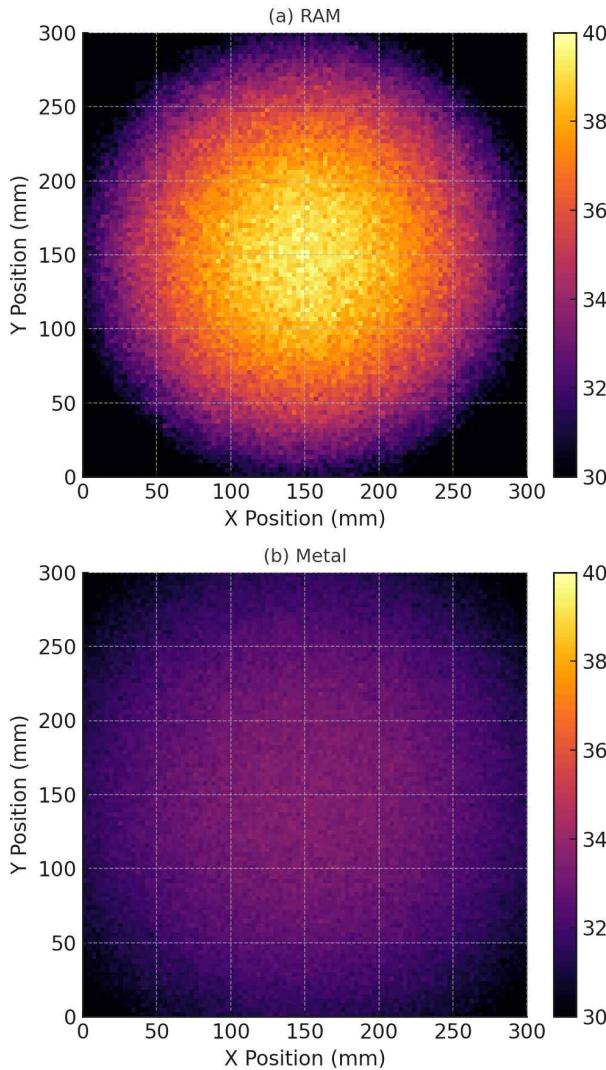


Fig. 2. 적외선 시뮬레이션 결과: (a) RAM 재질 시편, (b) 금속 재질 시편

되며, 자동 탐지 알고리즘 상에서 피탐지 가능성이 높아질 수 있다. 반면 금속처럼 열 분포가 균일하고 온도 구배가 완만한 경우, 센서에 포착되는 온도 대비가 작아지므로 탐지자에 의한 인식 가능성도 상대적으로 낮아진다.

4.3 밝기 분포 히스토그램 분석

Fig. 3은 Fig. 2에서 생성된 열영상 데이터를 픽셀 온도 기준으로 히스토그램화한 결과이다. RAM은 온도 분포가 넓게 펴져 있고, 고온 영역에서도 픽셀 밀도가 유지된다. 특히 밝기 범위가 30~40°C에 걸쳐 넓게 분포되어 있으며, 고온 영역의 픽셀이 전체 이미지 내에서 높은 비중을 차지한다. 이는 탐지자가 단순한 온도 변화뿐 아니라 고온 시그널의 지속적 존재 여부를 기준으로 탐지를 수행한다는 점에서 위험 요소가 된다.

금속은 중간 온도 영역에 픽셀이 집중되며, 상대적으로 정규 분포에 가까운 형태를 보인다. 이는 열영상 내에서 배경과의 대비가 작고 탐지자 입장에서의 시각적 구분이 어렵다는 장점으로 작용한다. 히스토그램 상에서의 분산은 RAM 대비 약 4

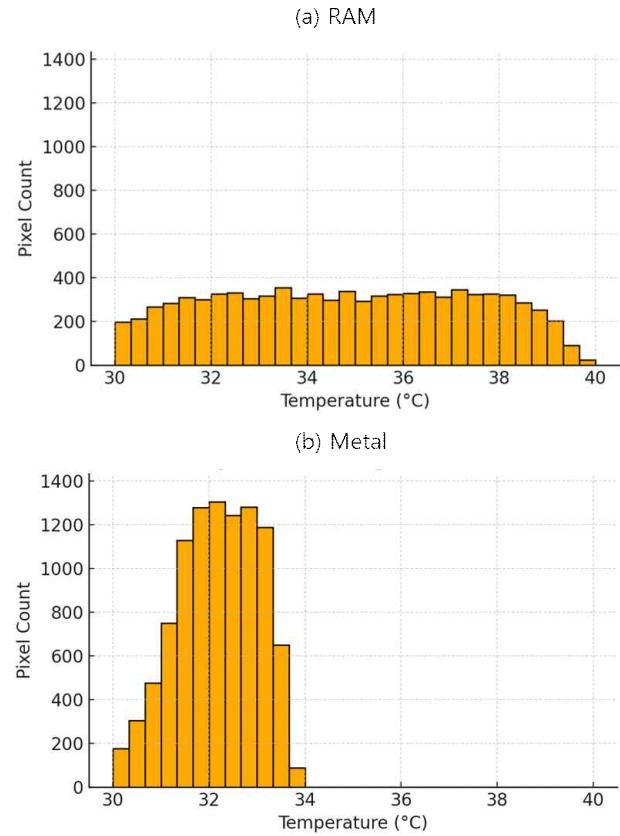


Fig. 3. RAM과 금속 재질 표면의 적외선 신호 분포 히스토그램

배 이상 작게 나타났으며, IR 대비 특성이 정량적으로 차별화 됨을 입증한다.

5. 복합 스텔스 설계를 위한 통합 적용 고려사항

앞서 제시된 RAM과 금속 구조물 간의 열응답 및 적외선 대비 특성 차이는, 전파 흡수 성능과 적외선 피탐지성 간의 기술적 충돌이 존재함을 시사한다. 특히 RAM은 전파 흡수 목적으로는 유리하지만, 낮은 열전도율과 높은 열용량으로 인해 중심 고온 영역이 형성되며 IR 대비 측면에서는 오히려 탐지 위험이 증가할 수 있다. 이러한 기술적 상충관계를 해소하기 위해서는 RAM 기반 플랫폼에서도 적외선 대비 제어가 가능한 구조 및 제어 기법이 설계 단계에서 함께 고려되어야 한다. 본 장에서는 이를 위한 3가지 설계 전략을 제안한다.

5.1 국부 열제어 보정 전략

RAM 표면에서 발생하는 중심 고온 영역을 완화하기 위해, 열제어가 필요한 구간에 국부적인 냉각 또는 가열 요소를 내장하는 전략이 유효하다. 예를 들어 열전소자(Peltier element)나 정밀 유체 순환 모듈을 표면 하부에 삽입함으로써 표면 온도를 실시간으로 조절하고, 배경 온도와의 동기화를 유지할 수 있다. 이러한 방식은 에너지 소모가 동반되지만, 탐지 가능성이 높은 고온 시그널을 효과적으로 억제할 수 있다. 또

한 비정상 조건 발생 시 자동적으로 제어 입력을 조절하는 열 제어 알고리즘과 연계될 수 있다”⁷⁾.

5.2 계층 구조 기반 설계

RAM과 하부 금속 구조 사이에 열확산 특성이 우수한 계층을 삽입함으로써, 열전달 경로를 중재하는 방식의 설계도 고려될 수 있다. 이는 고전도성 탄소 복합재 또는 메탈 폼 구조체를 중간 계층으로 활용하는 방식으로 구현할 수 있으며, RAM 표면에서 발생하는 열 집중 현상을 완화하여 보다 평탄한 온도 분포를 유도할 수 있다. 최근 연구에서도 다층 금속-세라믹 복합 폼의 열확산 성능이 확인된 바 있으며 이러한 계층 구조는 전파 흡수 성능을 저하시키지 않으면서도 IR 스텔스 성능을 향상시킬 수 있는 다기능 구조로서의 가능성을 가진다^[8].

5.3 열관성 분포 최적화

RAM의 열적 특성을 일정하게 유지하는 대신, 시편 내에서 두께 또는 밀도를 영역별로 다르게 설계함으로써 열관성 분포를 제어하는 방식도 유효하다. 예를 들어 텁지자 시야 방향에서는 상대적으로 얇은 RAM을 적용하고, 음영 영역이나 비탐지 구간에는 두꺼운 RAM을 유지함으로써 전체적인 RCS 저감 효과는 유지하면서도, 열응답의 공간적 불균일성을 최소화할 수 있다. 이러한 접근 방법은 정적인 구조 조정만으로도 IR 대비 저감 효과를 기대할 수 있다는 점에서 실현 가능성성이 높다^[9].

이러한 전략들은 각각 독립적으로 적용될 수도 있지만, 설계 초기 단계에서부터 복합 기능을 갖춘 구조로 통합 고려된다면 더욱 높은 스텔스 성능을 확보할 수 있다. Fig. 4는 이러한 설계 개념을 시각화한 구조 개요로, RAM 표면, 열확산 계층, 금속 기반체, 그리고 실시간 제어 모듈이 통합된 다층 구조 형태를 나타낸다. 복합 센서 대응을 위한 차세대 스텔스 구조물 설계를 위해서는 이러한 기능 통합적 접근이 필수적이다.

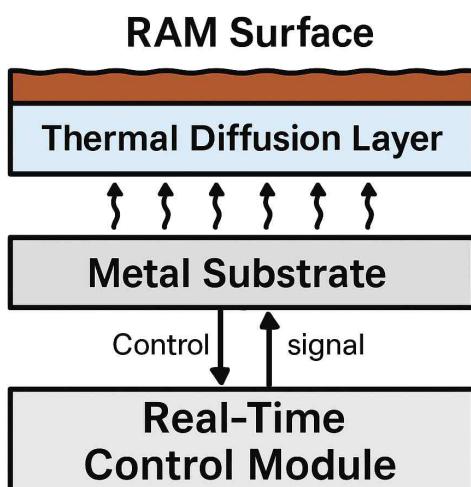


Fig. 4. 다층 구조 통합 스텔스 설계 개념

6. 결 론

본 연구에서는 RAM과 금속 재질 구조물의 열응답 특성과 IR 대비 신호 특성을 시뮬레이션 기반으로 비교 분석하고, RAM 기반 플랫폼에서 발생하는 적외선 스텔스 적용의 제약 요인을 도출하였다. 동일한 열속 조건 하에서 RAM은 낮은 열전도율과 높은 열용량에 의해 중심 고온 영역이 형성되었고, 시간에 따라 포화된 온도 분포가 유지되며 표면 온도 편차가 크게 나타났다. 반면 금속은 빠르게 열을 확산시켜 균일한 온도 분포와 낮은 IR 대비 특성을 보였다.

적외선 영상 시뮬레이션 결과는 RAM 표면이 텁지자 시야 내에서 고온 신호를 형성할 가능성이 높고, 열영상 히스토그램 상에서도 밝기 분포가 넓고 고온 픽셀 비중이 높아 텁지 위험성이 상대적으로 높다는 점을 정량적으로 확인하였다. 이러한 결과는 RAM이 RF 스텔스를 위한 핵심 재료로서의 기능을 수행함과 동시에, IR 스텔스 측면에서는 일정 수준 이상의 보완 또는 능동 제어 기법이 반드시 요구된다는 점을 시사한다.

이에 따라 본 논문에서는 RAM 기반 플랫폼에서의 IR 대비 저감을 위한 세 가지 통합 설계 전략—국부 열제어 보정, 계층 구조 기반 열확산, 열관성 분포 최적화—을 제안하였으며, 이 전략들은 RAM의 전파 흡수 성능을 저해하지 않으면서도 IR 스텔스 기능을 향상시킬 수 있는 현실적인 대안으로 판단된다. 제안된 구조는 열 제어 기능을 내재화함으로써 복합 센서 기반 전장 환경에서의 생존성을 향상시킬 수 있으며, 다양한 작전 환경에 대응 가능한 다기능 스텔스 플랫폼의 기반 기술로 활용될 수 있다.

본 연구는 열전달 물성에 따른 IR 대비 특성의 정량적 비교를 통해, 전파 및 적외선 스텔스 기술의 통합 적용에 있어 발생할 수 있는 기술 간 충돌 요소를 가시화하고 설계적 대응 가능성을 제시했다는 점에서 의의를 가진다. 향후에는 시뮬레이션 기반 결과를 실환경 실험 결과와 연계하거나, 다양한 작전 시나리오 및 복합 표적 형상에 대한 확장 해석을 수행함으로써 통합 스텔스 기술의 적용성을 더욱 정밀하게 확보할 수 있을 것이다.

References

- [1] B. Pattanaik and A. Chauhan, “A Study of Stealth Technology,” Materials Today : Proceedings, 2023.
- [2] A. P. Hemant, A. S. Maheshwari and A. P. Dhanashree, “Stealth Technology and Evolution of Stealth,” International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 10, No. 8, pp. 7427-7436, 2021.
- [3] J. Kim, K. Han and J. Hahn, “Selective dual-band metamaterial perfect absorber for infrared stealth technology,” Scientific Reports, Vol. 7, 2017.
- [4] G. Kim, “Review on Stealth Technologies and Radar Absorbing Materials,” Journal of The Korean Institute of Metals and Materials, Vol. 19, No. 4, pp.

47-54, 2006.

- [5] D. Kim, "Study on Active IR Stealth Technology through Object Surface Temperature Control." Ph.D. Dissertation, Chung-Ang University, 2016.
- [6] C. P. R. Malere, B. Donati, N. Eras, V. A. Silva and L. F. Lona, "Electromagnetic Evaluation of Radar Absorbing Materials based on Conducting Polypyrrole and Organic-Inorganic Nanocomposite of Polypyrrole/Kaolinite," Journal of Applied Polymer Science, Vol. 139, Issue 17, 2022.
- [7] BAE Systems, "ADAPTIV - Active Thermal Camouflage System," Wikipedia, 2023.
- [8] T. Yu, M. Cao, F. Jiang, C. Guo, P. Sun and R. Hao, "Effect of Volume Fraction of Double-layered Metal-ceramic Hollow Spheres on Compressive and Thermal Insulation Properties of Aluminium Matrix Composite Foams," Advances in Materials and Processing Technologies, 1-17, 2025.
- [9] M. Qian, Q. Shi, L. Qui, J. Huang, C. Guo, Y. Liu and K. Yu, "Fabrication of Selective Thermal Emitter with Multilayer Films for Mid-/Low-Temperature Infrared Stealth with Radiative Cooling," Photonics, Vol. 10, No. 6, 2023.