

석사학위논문

현대 전장 환경을 고려한 모듈형  
기만체계 설계 및 운용 방안 연구  
3D프린팅 기술활용을 중심으로

2026년

한성대학교 국방과학대학원

국 방 전 력 학 과

국 방 사 업 관 리 전 공

정 용 찬



석사학위논문  
지도교수 김형석

# 현대 전장 환경을 고려한 모듈형 기만체계 설계 및 운용 방안 연구

3D프린팅 기술활용을 중심으로

A Study on the Design and Operational  
Application of Modular Deception Systems for  
the Modern Battlefield Environment

Focusing on the Application of 3D Printing  
Technologies

2025년 12월 일

한성대학교 국방과학대학원

국 방 전 력 학 과

국 방 사 업 관 리 전 공

정 용 찬

석사학위논문  
지도교수 김형석

# 현대 전장 환경을 고려한 모듈형 기만체계 설계 및 운용 방안 연구

3D프린팅 기술활용을 중심으로

A Study on the Design and Operational  
Application of Modular Deception Systems for  
the Modern Battlefield Environment

Focusing on the Application of 3D Printing  
Technologies

위 논문을 국방전력학 석사학위 논문으로 제출함

2025년 12월 일

한성대학교 국방과학대학원

국 방 전 력 학 과

국 방 사 업 관 리 전 공

정 용 찬

정용찬의 국방전력학 석사학위 논문을 인준함

2025년 12월 일

심사위원장 김 흥 빈 (인)

심 사 위 원 김 두 형 (인)

심 사 위 원 김 형 석 (인)

# 국 문 초 록

## 현대 전장 환경을 고려한 모듈형 기만체계 설계 및 운용 방안 연구

3D프린팅 기술활용을 중심으로

한성대학교 국방과학대학원

국 방 전 력 학 과

국 방 사 업 관 리 전 공

정 용 찬

현대전에서는 정찰·감시 기술의 발전과 다중센서 기반 표적 식별 능력의 고도화로 인해, 단순한 형태의 더미나 단일 스펙트럼 기반의 기만 체계는 효과가 급격히 감소하고 있다. 본 연구는 이러한 전장 환경 변화에 대응하기 위해, 구조·기능·시그니처를 모듈화한 모듈형 기만체계 (Modular Deception System)의 설계 원리와 운용방안을 체계적으로 제시한다. 연구는 먼저 기존 기만체계가 가진 단점—일체형 구조, 단일 신호 중심의 기만 방식, 전장 적응성의 부족, 유지보수의 비효율성—을 분석한 뒤, 이를 극복할 수 있는 모듈화 설계의 필요성을 제기하였다.

본 연구는 3D프린팅 기반의 현장 제작·수정 기술을 적용하여 물리 구조체, 레이더·적외선·음향 시그니처 모듈, 전자제어 모듈을 계층적으로 설계하였다. 이를 통해 기만체계는 임무 요구에 따라 조합·분해가 가능한 구조적 유연성을 확보하고, 손상 모듈만 교체하는 유지보수 최적화

를 달성하며, 복합 시그니처 기반의 다중센서 기만 능력을 제공한다. 특히 RCS 조절, 복합 IR 방출, 음향 패턴 재현 등 멀티스펙트럼 기만 구현 사례를 제시하고, UAV 기반 실시간 정찰 자산과 연계하여 기만효과를 동적으로 조절할 수 있는 운용개념을 제안하였다.

연구 결과, 모듈형 기만체계는 전개 속도·운용 유연성·확장성·경제성에서 기존 일체형 체계 대비 크게 향상된 성능을 보이며, 국방혁신 4.0의 핵심 방향인 모듈화·개방형 설계·현장 민첩성 확보 요구와 부합한다. 본 연구는 향후 한국군의 기만체계 개발, 방산 모듈화 표준(K-MOSA), 야전 3D프린팅 기반 군수지원 체계 발전 등 산업·정책적 측면에서도 중요한 시사점을 제공한다.

**【주요어】** 모듈형 기만체계, 복합 시그니처 기만, 3D프린팅 기반 현장 제작, 모듈화 설계, 멀티스펙트럼 탐지 대응, K-MOSA, 군사 기만 운용개념, 국방혁신 4.0

# 목 차

<b>제 1 장 서 론</b> .....	1
제 1 절 연구 배경 및 필요성 .....	1
제 2 절 연구 목적 및 범위 .....	2
<b>제 2 장 이론적 배경 및 선행연구 검토</b> .....	4
제 1 절 군사적 기만전술의 역사와 발전 .....	4
제 2 절 모듈형 시스템의 개념과 군사적 적용사례 .....	10
제 3 절 3D 프린팅 기술의 군사적 활용 가능성 .....	14
제 4 절 선행연구 검토 .....	19
<b>제 3 장 모듈형 기만체계 설계</b> .....	24
제 1 절 모듈형 기만체계의 개념 및 구성요소 .....	24
제 2 절 현장 제작 가능 모듈과 사전 제작 필수 모듈 분류 .....	26
제 3 절 3D프린팅 적용 가능 부품 및 소재 분석 .....	35
제 4 절 기만체 유형별 모듈 구성 방안 .....	43
<b>제 4 장 모듈형 기만체계 운용방안</b> .....	49
제 1 절 기존 기만체계의 한계와 모듈형 접근의 필요성 .....	49
제 2 절 기존 기만체계와 비교분석 .....	51
제 3 절 모듈 구성 요소별 역할 및 기여 효과 분석 .....	52
제 4 절 작전 적용 시나리오 분석 .....	53
제 5 절 기술적 과제 및 단계별 발전 전략 .....	56
제 6 절 운용방안 요약 및 시사점 .....	59

<b>제 5 장</b>	<b>모듈형 기만체계의 구조적 장점 및 개념적 효과 분석</b>	<b>61</b>
제 1 절	모듈화 설계의 구조적 장점	61
제 2 절	운용 단계에서의 유연성 및 적응성	63
제 3 절	개념적 효과 검토	66
<b>제 6 장</b>	<b>기술적 도전과제 및 극복 방안</b>	<b>72</b>
제 1 절	현장 3D 프린팅의 기술적 한계	72
제 2 절	모듈 간 호환성 및 연결 문제	80
제 3 절	기만체 신뢰성 및 내구성 확보 방안	85
제 4 절	적의 식별 기술 발전에 따른 대응 전략	90
<b>제 7 장</b>	<b>결 론</b>	<b>95</b>
제 1 절	연구의 요약 및 의의	96
제 2 절	정책적 제언	98
제 3 절	연구의 한계 및 후속 연구 방향	101
<b>참 고 문 헌</b>		<b>102</b>
<b>ABSTRACT</b>		<b>110</b>

## 표 목 차

[표 2-1] 선행연구의 공통한계 .....	22
[표 2-2] 본 연구의 차별성 .....	22
[표 2-3] 선행연구 주요 내용 및 시사점 .....	23
[표 3-1] 현장 제작 가능 모듈과 사전 제작 필수 모듈 분류 기준 .....	35
[표 3-2] 플라스틱(폴리머) 소재 분류 .....	40
[표 3-3] 금속 소재 분류 .....	40
[표 3-4] 복합재 및 특수 소재 분류 .....	41
[표 3-5] 기만체계 3D프린팅 부품 및 소재선정 기준 .....	42
[표 4-1] 기만체계 연구 비교 .....	51
[표 4-2] 모듈별 역할 및 효과 .....	52
[표 4-3] 단계별 접근 전략 .....	58
[표 5-1] 모듈화 설계의 구조적 비교 및 개선 효과 .....	62
[표 5-2] 모듈화 설계의 구조적 연구확장 .....	63
[표 5-3] 작전 시나리오별 모듈 구성 및 기대효과 .....	64
[표 6-1] 3D프린팅 재료의 내구성 및 환경적 취약 요인 비교 .....	73
[표 6-2] 현장형 3D프린터 운용 환경 요소 및 출력 안정성 영향도 .....	76
[표 6-3] 식별 요소 기만 개념 .....	93

## 그림 목 차

[그림 1-1] 연구 구성 .....	3
[그림 2-1] 더미 전차 제작 및 조립 형상 .....	4
[그림 2-2] M4 셔먼 기반 팽창식 풍선형 더미 전차 .....	5
[그림 2-3] M8 장갑차 기반 팽창식 풍선형 더미 장갑차 .....	5
[그림 2-4] 사막 배치용 M1A4 전차 모형 .....	6
[그림 2-5] 세르비아군이 사용한 모형 전차 .....	7
[그림 2-6] 러시아 T-72 기반 공기 주입형 더미 전차 .....	8
[그림 2-7] 북한군 길리슈트 착용 .....	8
[그림 2-8] SEAWOLF사의 K1A1 DECOY .....	9
[그림 2-9] 독일 육군 최초 중보병 무기 운반 장갑차. BOXER .....	11
[그림 2-10] 영국 육군 추적식, 디지털 지원 장갑 전투 차량. AJAX ..	12
[그림 2-11] 이스라엘 육군 무인 지상차량 Guardium .....	13
[그림 2-12] 지상 유무인 복합체계 운용 개념도 .....	14
[그림 2-13] 영국 NATO 연합훈련 Steadfast Defender 간 부품제작 ..	15
[그림 2-14] 미국 공군 F-22 랩터에 최초 적용한 금속 3D 프린팅 부품	16
[그림 2-15] 미국 공군 24H 이내 배치 완료한 3D 프린팅 드론 .....	17
[그림 2-16] 미국 육군 텍사스 Fort Bliss 기지 3D 프린팅 활용 병영시설	18
[그림 3-1] 입출적층(FDM)방식 개념 .....	27
[그림 3-2] 광경화(SLA)방식 개념 .....	28
[그림 3-3] 분말소결(SLS) 방식 개념 .....	29
[그림 3-4] 멀티 제트 퓨전 방식(MJF) 방식 개념 .....	30
[그림 3-5] 미국 일리노이 아일랜드 병기창에서 시제품 부품 인쇄 .....	31
[그림 3-6] 복합소재 기만체계 구조·역할 개념도 .....	34
[그림 3-7] 산업 및 다목적 작업을 위한 모듈식 3D 프린팅 드론 .....	36
[그림 3-8] 핸드가드에 3D 프린팅 KeyMod 슬롯이 있는 Z-15 소총·	37
[그림 3-9] Decoy RCS 수준에 따른 산란 중심 위치 변화 .....	38
[그림 3-10] 레오파드 2A4 우크라이나 기만전차 .....	44
[그림 3-11] LEONARDO사의 브라이트 스톱 .....	45

[그림 3-12] 호주 해군의 능동형 기만 로켓 .....	46
[그림 5-1] 복합 시그니처 기만의 개념적 구조 .....	67
[그림 6-1] THALES사의 SAR + GMTI 기능을 통합 운영도 .....	91

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구 배경 및 필요성

최근 전쟁사를 보듯 정보는 전투의 승패와 작전 성과를 결정하는 핵심 요소이다. 정보는 지휘관과 참모에게 적시적이고 예측 가능한 상황인식을 제공하여 의사결정을 지원하며, 정확한 정보는 작전환경의 가시화와 유·불리한 기회의 식별에 결정적 역할을 한다. 따라서 정보의 생산·분석·활용을 위한 체계적 노력이 필수적이다.

정보작전은 첩보 자산을 통해 작전에 영향을 미치는 요인을 분석하고, 이를 바탕으로 적 지휘관의 오판을 유도하는 기만전술(deception)을 포함한다. 기만전술은 정보전과 심리전의 핵심 수단으로서 지속적으로 발전해 왔으며, 전장 환경과 적 탐지기술의 발전에 따라 전술적·전략적 차원에서 다양하게 적용되고 있다.

전통적 기만 방식은 특정 신호의 차단·변조에 의존하는 경우가 많았으나, 탐지·판단 기술의 고도화로 인해 단일 기법의 효용이 약화되고 있다. 이에 따라 다양한 전술 환경에 신속히 적응하고 반복적으로 재구성할 수 있는 모듈형 기만체계의 필요성이 커졌다. 모듈형 체계는 외형·신호·전자적 요소를 모듈화하여 환경·임무에 따라 유연하게 혼합·배치할 수 있다는 장점을 가진다.

동시에 3D 프린팅 기술의 발전은 기만체계의 설계·제작·현장 보급 방식에 변화를 가져왔다. 적층제조를 활용하면 맞춤형 하우징·결합부·시그니처 조정용 구조물을 신속하게 생산할 수 있어, 기만체계의 생산 속도와 현장 대응력이 향상된다. 이러한 기술 융합은 기만체계의 실효성을 높이고 적의 탐지·정찰 능력을 교란하는 데 유의미한 기여를 할 것으로 기대된다.

북한의 대량·정밀 화력 운용 가능성과 같은 한반도 안보 환경을 고려

할 때, 한국군은 정보작전과 기만전술 역량을 체계적으로 강화할 필요가 있다. 본 연구는 모듈형 기만체계와 3D 프린팅 기술의 접목을 통해 기만 효과를 극대화하고, 실전적 운용 방안 제시하는 데 목적을 둔다.

## 제 2 절 연구 목적 및 범위

기존의 전통적 기만체계는 특정 신호를 차단 혹은 변조하는 방식으로 운용되었으나, 적의 탐지 기술이 정교해지면서 그 효과가 점차 감소하였다. 이에 따라, 다양한 전술 환경에 신속히 대응하고 유연하게 운용 가능한 모듈형 기만체계의 개발이 중요한 과제로 부상하였다. 이러한 체계는 환경과 전술적 요구에 따라 구조와 기능을 조정할 수 있으며, 신속한 배치와 재활용이 가능하다는 장점을 가진다.

한편, 3D 프린팅 기술의 발전은 기만체계의 제작 및 운용 방식을 혁신적으로 변화시키고 있다. 이 기술은 기존 방식보다 빠르고 효율적인 제작이 가능하며, 맞춤형 설계를 통해 특정 작전 환경에 최적화된 형태로 구현할 수 있다. 또한 다양한 소재 적용을 통해 기만체계의 물리적 특성과 시그니처 특성을 조정할 수 있어, 전술적 적응성과 경제성을 동시에 확보할 수 있다.

본 연구는 단순한 기만체계 기술의 개념 제시를 넘어, 실제 전장 환경에서의 적용 가능성과 구조적 우수성을 학문적으로 규명하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 다음과 같은 핵심 연구 질문을 설정한다.

- 1) 모듈형 기만체계는 기존의 일체형 기만체계에 비해 어떤 구조적·운용적 장점을 제공하는가?
- 2) 3D 프린팅 기술의 접목은 기만체계의 설계·제작·현장 운용 방식에 어떤 변화를 가져오는가?
- 3) 복합 시그니처 기만 개념은 다양한 탐지 센서가 복합적으로 작동하는 현대 전장에서 어떠한 전략적 의미를 가지는가?

이러한 연구 질문에 대한 체계적인 분석을 통해 본 논문은 향후 다영역 작전(MDO) 환경에서 요구되는 기만체계의 설계 원칙과 운용 개념을 [그림 1-1]과 같이 연구구성을 정립하고, 실질적인 적용 방안을 제시하고자 한다.



[그림 1-1] 연구 구성

## 제 2 장 이론적 배경 및 선행연구 검토

### 제 1 절 군사적 기만전술의 역사와 발전

군사적 기만전술은 적의 의사결정에 혼란을 주고 작전 수행을 방해하기 위해 작전의 규모와 목적에 따라 전략적, 전술적 기만으로 구분한다. 기만전술은 전쟁의 역사에서 오랫동안 활용됐으며, 적의 오판을 유도하고 아군의 전술적 이점을 극대화하는 데 중요한 역할을 해왔다. 기만전술의 역사적 사례를 보면 다음과 같다.

#### 1) 근대전쟁의 기만전술

근대전쟁의 기만전술은 정보 비대칭을 활용해 적의 판단 및 작전 주도권을 확보한 전략으로, 실제 목표를 은폐한 대표적 사례는 다음과 같다.

버트럼 작전(Operations Bertram)은 제2차 세계대전 중, 1942년 북아프리카 전선의 엘 알라메인 전투에서 영국군이 수행한 기만작전이다. 이 작전에서는 모형 전차, 가짜 보급품, 위장된 차량 이동 등을 다음 [그림 2-1]과 같이 독일군을 기만하고, 실제 공격 지점을 숨기는 데 성공했다.



[그림 2-1] 기만 전차 제작 및 조립 형상<sup>1)</sup>

포티튜드 작전(Operations Fortitude)은 1944년 제2차 세계대전 중, 연합군이 노르망디 상륙작전을 앞두고 독일군을 혼란에 빠뜨리기 위해 수행한 작전이다. 이 작전은 풍선형 전차, 모형 항공기 등을 활용하여 독일군이 파드칼레 지역에 상륙할 것이라고 다음 [그림 2-2]와 같이 오인하도록 유도함으로써 노르망디 상륙작전의 성공에 큰 기여를 하였다.



[그림 2-2] M4 셔먼 기반 팽창식 풍선형 기만 전차<sup>2)</sup>

고스트 아미 작전(Operations Ghost Army)은 미군 제 23특수부대가 1944년 유럽 전선에서 풍선형 전차, 모형 장비, 허위 허위 통신 등을 활용하여 독일군을 기만하는 작전을 수행했다. 이는 실제보다 큰 병력이 존재하는 것처럼 다음 [그림 2-3]과 같이 위장하여 판단에 혼란을 주었다.



[그림 2-3] M8 장갑차 기반 팽창식 풍선형 기만 장갑차<sup>3)</sup>

1) Ministry of Defence, UK. (1942). Imperial War Museums. London: Ministry of Defence.

2) Ministry of Defence, UK. (1944). Imperial War Museums. London: Ministry of Defence.

## 2) 현대전쟁의 기만전술

현대전의 기만전술은 정보 우위 확보를 위해 전자전·사이버전·심리전이 결합된 복합 형태로 발전했으며, 걸프전·코소보전·러시아-우크라이나 전쟁은 이를 활용해 적의 판단을 교란한 대표적 사례이다.

걸프전 기만작전(Deception Operations Gulf War)은 1991년 당시 미국을 중심으로 한 연합군이 이라크군을 혼란시키기 위해 실시한 전략적 기만작전이다. 이들은 해상 상륙 위장, 가짜 장비 배치, 전자전, 허위 통신 및 심리전을 종합적으로 다음 [그림 2-4]와 같이 활용하여 실제 공격 방향과 병력 규모를 숨기고, 이라크군의 전략적 판단을 흐리게 만들었다. 그 결과, 이라크군은 병력을 잘못된 위치에 배치하게 되었고, 연합군은 최소한의 피해로 전쟁을 신속하게 종결지을 수 있었다.



[그림 2-4] 사막 배치용 M1A4 기만 전차<sup>4)</sup>

코소보 전쟁 기만작전(Deception Operations Kosovo War)은 1999년 나토(NATO)가 세르비아군을 상대로 공중 작전을 수행하는 동안, 세르비아군이 다양한 기만전술을 활용해 나토의 전략적 판단을 혼란시키기 위한

3) United States Army. (1944). Ghost Army Legacy Project. Washington, D.C.: United States Army.

4) Ministry of Defence, UK. (1991). Imperial War Museums. London: Ministry of Defence.

노력을 펼친 사례다. 세르비아군은 모형 전차, 가짜 방공포, 위장된 차량, 레이더 반사기 등을 배치해 나토군이 잘못된 목표를 공격하도록 유도했다. 이러한 기만 덕분에 나토군은 실제보다 훨씬 많은 목표물을 제거했다고 판단했으나, 다음 [그림 2-5]와 같이 전쟁 후 조사에서는 상당수가 가짜였음이 드러났다.

세르비아의 기만전술은 제한된 군사력으로 강대국의 공세를 견디기 위한 비대칭 전략의 대표적인 사례로 평가된다.



[그림 2-5] 세르비아군이 사용한 기만 전차<sup>5)</sup>

러시아-우크라이나 전쟁 기만작전(Deception Operations Russia-Ukraine War)은 2022년 러시아의 침공 이후 양측이 정보전과 기만전술을 적극적으로 활용한 현대전의 사례다. 러시아는 초기 침공 단계에서 벨라루스 국경 인근에 병력을 집중시켜 키이우를 주공으로 위장했고, 그 사이 동부 전선을 강화했다. 또한, 위장된 군 장비, 가짜 영상, 통신 혼선 등을 통해 우크라이나군을 혼란시키려 했다.

반대로 우크라이나도 반격 작전 시 가짜 부대 이동, 허위 정보 유포, 드론을 통한 심리전 등을 통해 러시아군의 예측을 벗어나는 전술을 구사했다. 이 전쟁은 기만전이 실시간 정보전, 사이버전, 드론전과 결합된 현

---

5) Tank Encyclopedia. (2021). 『Modern Serbian Fake Tanks - Inflatable Decoys Used in the Kosovo War (1999)』 .

대 하이브리드 전쟁의 전형으로 평가된다. 다음 [그림 2-6]은 러시아 T-72 기반 공기주입형 기만 전차이다.



[그림 2-6] 러시아 T-72 기반 공기 주입형 기만 전차<sup>6)</sup>

북한군 특수부대의 최신 훈련 영상에서는 일부 병력이 수풀형 위장복, 즉 ‘길리 슈트(Ghillie Suit)’를 착용한 모습이 포착되었다. 북한은 이를 “현대전의 발전 양상에 맞춘 우리식 새로운 전법”으로 규정하며, 러시아-우크라이나 전쟁을 통해 드러난 드론 정찰과 전장 투명성(Battlefield Transparency)의 위협에 대응하려는 의도를 드러냈다.



[그림 2-7] 북한군 길리슈트 착용<sup>7)</sup>

6) Business Insider. (2023). “The Ghost Army: How Inflatable Tanks and Fake Radio Signals Fooled the Nazis.”

7) 조선일보. (2025). 김정은도 신기한 듯 만져봤다 ... 北 특수부대, 드론 피하는 위장훈

김정은은 최근 군사훈련과 군관학교 방문에서 “현대전에 상응한 지휘 능력”을 강조하며, 기술 변화에 적응한 기만·위장 체계의 현대화를 추진하고 있다. 이러한 시도는 단순한 장비 도입을 넘어, 열 감지·광학탐지 등 다중센서 환경에서의 적응형 위장 기술(adaptive camouflage)로 진화하고 있음을 보여준다. 이는 곧 고전적 은폐술이 첨단 감시·정찰 시대에도 여전히 유효하며, 동시에 기술적 진화와 결합하여 새로운 형태의 복합 기만체계로 [그림 2-7]과 같이 발전하고 있음을 시사한다. 이러한 변화는 전장의 생존개념을 재정의한다.<sup>8)</sup>

국내 기만체계의 산업적 발전 수준은 과거 단일 감응형 위장 장비 중심에서 벗어나, 복합센서 대응형 기만체계로 점진적 전환을 보이고 있다. 특히 최근 Seoul ADEX 2025 전시회를 통해 확인된 바와 같이, 국내 방위산업체들은 레이더·적외선·음향 서명을 통합 제어하는 복합 시그니처 제어 기술과, 야전 상황에서 신속히 배치 가능한 모듈형·경량형 기만체계의 실증에 주력하고 있다.<sup>9)</sup>



[그림 2-8] SEAWOLF사의 K1A1 기만장비

련 포착.

8) 조선일보. (2025). 수풀로 변한 북한 특수부대 - 위장과 현대전의 투명성.

9) 조선일보. (2025). 진화하는 K방산, AI 무기 체계 선보인 역대 최대 규모 'ADEX 2025' 개막.

[그림 2-8]은 SEAWOLF사의 K1A1을 기반으로 한 기만장비이다. 민간 방산기업 중 SEAWOLF Marine은 해상 플랫폼을 대상으로 한 DECOY (더미체계) 제품군을 상용화하며 국내 기술 자립의 기반을 형성하고 있다. 회사는 풍선형 및 부양형 기만체를 통해 함정의 레이더·적외선 서명을 감소시키고, 미사일 및 어뢰 유도체계의 교란을 목표로 한 실증적 기술을 확보하였다.<sup>10)</sup> 이러한 민간의 참여는 그동안 해외 수입 의존도가 높았던 기만장비 분야에서 국산화 전환의 초기 단계로 평가된다. 다만 국내 기술 수준은 아직 복합환경 통합 운용, 자율제어 및 전개 자동화, 모듈 간 상호운용성 표준화 측면에서 선진국 대비 일정한 격차를 보이고 있다.

이상에서 살펴본 역사와 같이 기만전술은 단순한 병력 위장에서부터 SNS와 언론을 통한 허위 정보 유포, 드론을 활용한 가짜 공격 신호, 심지어 AI 이미지 조작 등 디지털 기만 기술까지 활용되고 있다. 이처럼 현대의 기만전술은 정보 도메인에서의 통제와 인식 왜곡을 핵심으로 기술 기반의 실시간 전장 기만으로 진화하고 있다.

## 제 2 절 모듈형 시스템의 개념과 군사적 적용사례

### 1) 모듈형 시스템 개념

모듈형 시스템은 전체 시스템을 기능 단위로 분리된 독립적인 모듈로 구성하고, 이를 표준화된 인터페이스를 통해 상호 연동하여 통합하는 구조를 의미한다. 각 모듈은 고유의 기능을 수행하면서도, 상호 교체 가능성과 조립 편의성을 고려해 설계되므로 운용 목적이나 전장 환경에 따라 신속하게 구성 변경이 가능하다는 점에서 높은 유연성과 확장성을 지닌다. 이러한 구조는 시스템의 개발 기간 단축, 유지보수 용이성, 기술 향상의 용이성 등에서 뚜렷한 장점을 제공한다.

군사 분야에서는 모듈형 시스템 개념이 전력 구조의 유연성 확보 및

---

10) 시울프마린 주식회사. (2021). 고스트 월드: 팽창식 기만체계. 부산: 시울프마린

임무 특화 능력 향상을 위한 핵심요소로 주목받고 있다. 특히 무인전투체계, 유무인 복합운용체계(Manned-Unmanned Teaming, MUM-T), 미래형 지휘통제체계 등에 적용되어, 센서, 통신, 무장, 전력 공급 등 기능별 모듈을 임무에 따라 조합함으로써 다양한 작전 시나리오에 효과적으로 대응할 수 있는 능력을 부여한다. 예를 들어, 무인기의 경우 정찰 임무 시에는 고성능 센서 모듈을, 타격 임무 시에는 유도무장 모듈을 탑재하는 방식으로 전장 요구에 적합한 맞춤형 전력 구성이 가능하다.

또한 전투 중 손상된 일부 모듈을 빠르게 교체하거나 특정 기술발전에 따라 해당 모듈만 향상시킬 수 있는 구조를 제공함으로써, 비용 절감과 운용 지속성을 보장한다. 이러한 특성은 미래 다영역통합전장(Multi-Domain Operations) 및 고속 기동 중심의 작전환경에서 요구되는 민첩성, 생존성을 극대화할 수 있는 방향성과 일치하며, 국방혁신 4.0 추진에 있어 무기체계 및 전력구조의 유연·지능화를 실현하는 데 기반이 된다.

## 2) 모듈형 시스템 군사적 적용사례

독일 육군 BOXER 다기능 장갑차는 독일과 네덜란드가 공동 개발한 모듈형 차륜형 장갑차로 기본 차량(Drive Module)과 임무 모듈(Mission Module)이 분리되어 다양한 역할에 따라 쉽게 교체 가능하다. [그림 2-9]은 BOXER의 외양이다.



[그림 2-9] 독일 육군 최초 중보병 무기 운반 장갑차. BOXER<sup>11)</sup>

주요 특징으로는 병력 수송, 지휘소, 구급차, 정비지원, 대전차, 화력지원 등 컨테이너 방식으로 설계되어 수 시간 내 교체가 가능하다. 이는 상호 운용성을 고려한 NATO 공통 모듈 체계를 기반으로 설계되어 전장 유연성, 전력 배치 효율성 향상과 한정된 플랫폼 수로 다양한 전술 임무 수행 가능하다.<sup>12)</sup>

영국 육군 AJAX 장갑차 및 모듈형 센서 체계는 정찰 및 기갑전력 현대화를 위한 장갑차로, 고급 감시/정찰 임무에 특화된 장비를 모듈형으로 구성했다. 주요 특징으로 센서 모듈, 전자전 시스템, 통신체계 등이 플랫폼과 분리되어 모듈 단위로 업그레이드가 가능하며 미래 전장 환경에 맞춰 소프트웨어 정의 무전기(SDR), 드론 연동, 정찰·지휘 통제 기능 중심의 모듈화로 정보 우위를 보장한다.<sup>13)</sup> [그림 2-10]은 AJAX의 외양이다.



[그림 2-10] 영국 육군 추적식, 디지털 지원 장갑 전투 차량. AJAX<sup>14)</sup>

이스라엘 육군은 국경 감시와 도심 작전 대응을 위해 다양한 무인 지상차량(UGV)을 모듈형 설계 기반으로 운용하고 있다. 이 시스템은 센서·무장·정찰·통신 모듈을 임무에 따라 교체할 수 있으며, 전투지원·경계

11) Haiming, Gerhard. (2024). Modernization Strategy of the German Army Armoured Forces. Berlin: German Federal Ministry of Defence.

12) Bundeswehr. (2020). Boxer Multi Role Armoured Vehicle. Berlin: German Federal Ministry of Defence.

13) Ministry of Defence, UK. (2021). Transforming the British Army's Armoured Capability. London: Ministry of Defence.

14) Rafael Advanced Defense Systems. (2022). RoBattle Unmanned Ground Vehicle Platform Brochure. Tel Aviv: Rafael Ltd.

· 정찰 등 다양한 임무에 실전 투입되고 있다. 또한 AI 기반 경로 탐색과 장애물 회피 기능을 갖추어 복잡한 지형에서도 자율 운용이 가능하고, 병력 부담이 큰 환경에서 유·무인 복합전술(MUM-T)의 핵심 구성요소로 활용되고 있다. [그림 2-11]은 이스라엘 무인 지상차량의 외양이다.



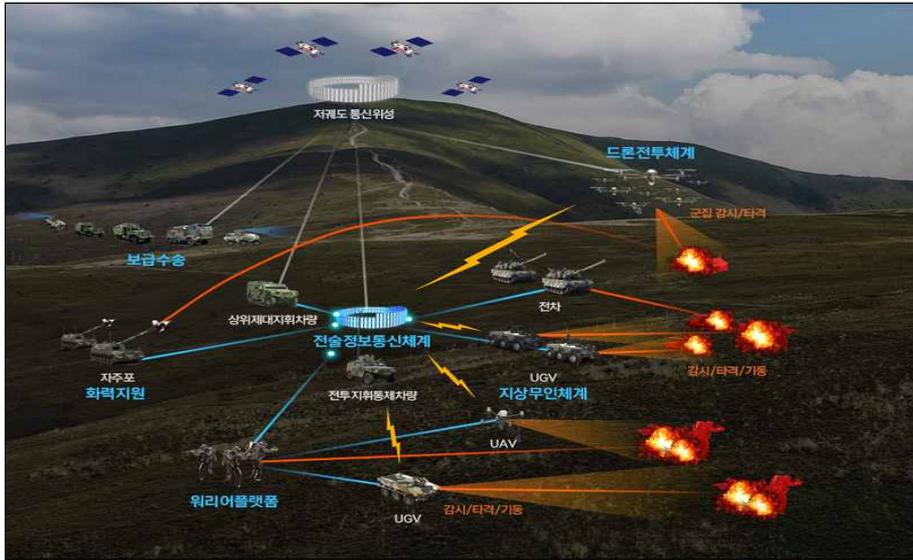
[그림 2-11] 이스라엘 육군 무인 지상차량 Guardium<sup>15)</sup>

한국형 유무인 복합체계 K-MUM-T(Korean Manned-Unmanned Teaming)는 유·무인전력을 통합 운용하여 작전 수행 능력 극대화를 목표로 한국군이 개발 중인 유무인 통합 전투 체계이다. 센서, 통신, 제어, 무장 모듈을 분리·조합하여 다양한 임무에 맞는 전력을 구성할 수 있는 모듈형 구조를 채택하고 있다.

주요 특징으로는 유인 지휘 차량과 무인기/무인차량이 동시 연동 작전 수행이 가능하고, 필요에 따라 정찰 모듈, 전자전 모듈, 무장 모듈을 교체할 수 있다. 이러한 구조는 상황 변화에 따른 즉각적 임무 재편을 가능하게 하여 운용 효율성을 더욱 높여준다. 이는 한국군의 국방혁신 4.0 전략과 연계된 핵심 무인전력 사업이며 다영역 작전(Multi-Domain Operations)에 유연하게 대응 가능하다. 다음 [그림 2-12]는 지상 유무인 복합체

15) Israel Aerospace Industries (IAI). (2014). Guardium Autonomous Security Vehicle. Tel Aviv: Israel Aerospace Industries.

계 운용 개념을 나타낸다.



[그림 2-12] 지상 유무인 복합체계 운용 개념도<sup>16)</sup>

이와 같은 발전방향은 국방혁신 4.0이 지향하는 “지능형 전력체계 및 자율형 전장지원체계”의 목표와 부합하며, 산학연·군 협력체계를 통한 연구개발·시험평가·표준화의 동시 진행이 이뤄질 경우 대한민국은 단순 운용국을 넘어 기만체계의 설계·제조·운용이 가능한 자립형 기술보유국으로 도약할 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 제시한 현장 제작 모듈 및 사전 제작 모듈의 구분, 3D 프린팅을 활용한 즉각 생산 개념은 방위산업체가 생산·정비 프로세스를 효율화하고 다양한 전장 환경에 대응하는 기만체계 제품군을 개발하는 데 실질적 참고자료로 활용될 수 있다.

### 제 3 절 3D 프린팅 기술의 군사적 활용 가능성

3D 프린팅(적층 제조) 기술의 군사적 활용 가능성은 현대 전장 환경에서 군수, 무기, 장비 운용의 패러다임을 근본적으로 변화시키고 있다. 이 기술은 기존 제조 방식이 가진 한계, 특히 부품 조달의 지연, 노후 부

16) 한화시스템. (2024). 미래 전장 환경을 바꿀 차세대 전투체계: 유무인 복합체계\_지상편.

품의 단종, 복잡한 공급망 문제 등을 효과적으로 극복할 수 있는 혁신적 대안으로 부상하고 있다.

### 1) 군사 분야에서 3D 프린팅 기술의 가치

신속한 생산 및 공급망 혁신으로 전통적 군수 시스템은 긴 리드타임과 복잡한 물류망에 의존했으나, 3D 프린팅은 현장(전장, 함정, 기지 등)에서 즉시 필요한 부품을 제작할 수 있게 해준다. 미군, 영국군 등 주요 군대는 이미 3D 프린팅을 통해 노후 장비 부품, 맞춤형 도구, 소모품 등을 현장에서 직접 생산함으로써, 부품 조달 시간을 단축하고 다음 [그림 2-13]과 같이 작전 지속성을 크게 향상시키고 있다.



[그림 2-13] 영국 NATO 연합훈련 Steadfast Defender 간 부품 제작<sup>17)</sup>

플랫폼 운용 유연성 및 임무 맞춤화로써 3D 프린팅은 다양한 플랫폼(항공기, 함정, 차량 등)에 필요한 부품을 맞춤형으로 신속하게 제작할 수 있다. 예를 들어, 미 공군은 3D 프린팅을 활용해 F-22 스텔스 전투기의 부식 문제를 해결한 티타늄 부품을 다음 [그림 2-14]와 같이 제작했고,

17) Ministry of Defence, UK. (2024). Future Force Concept and Modernisation Programme. London: Ministry of Defence.

미 해군은 함정 내에서 직접 부품을 출력해 즉각적인 수리와 보급이 가능하도록 하고 있다.



[그림 2-14] 미국 공군 F-22 랩터에 최초 적용한 금속 3D 프린팅 부품<sup>18)</sup>

구형·단종 부품의 재생산을 통해 노후화로 인해 생산이 중단된 부품을, 3D 스캐닝과 적층 제조 기술을 통해 설계 데이터를 복원하고, 즉시 출력하여 장비의 수명 연장과 운용 효율성을 높이고 있다. 또한 작전 환경 내 자원 재활용으로 미 육군은 현장에 남은 플라스틱 폐기물(물병, 포장재 등)을 3D 프린팅 소재로 재활용하여, 전장 내에서 필요한 부품을 자체적으로 생산하는 방안을 연구 중이다. 이는 지속 가능성과 자원 효율성 측면에서도 큰 의미가 있다.

## 2) 실제 적용 사례

### 가) 무인기(UAV) 및 드론 신속 제작

미 공군은 24시간 이내에 3D 프린팅 드론을 조립·배치하는 데 성공했으며, 이는 정보 수집, 정찰, 보급 등 다양한 임무에 즉각 투입할 수 있

---

18) U.S. Air Force, Hill Air Force Base Public Affairs. (2019). Advanced Manufacturing Initiatives at Hill AFB. Utah: U.S. Air Force.

는 기동성을 제공한다. 미 국방부와 방산업체들은 컨테이너형 이동식 3D 프린팅 공장을 개발해, 전방에서 드론을 대량 생산하는 실증도 다음 [그림 2-15]와 같이 진행 중이다.



[그림 2-15] 미국 공군 24H 이내 배치 완료한 3D 프린팅 드론<sup>19)</sup>

#### 나) 대형 군용 부품 및 구조물 제작

미 육군은 세계 최대 규모의 금속 3D 프린터를 개발하여, 전차·장갑차의 단일 차체(모노코크) 제작에 도전하고 있다. 또한, 미 공군은 3D 프린팅으로 경량화된 활주로 매트, 미 해군은 3D 프린팅 잠수함 선체, 미 육군은 방탄 헬멧 내 충격 흡수 구조체 등 다양한 분야로 적용을 확장하고 있다.

#### 다) 현장 숙소 및 인프라 구축

미국 텍사스 군사 훈련센터에서는 3D 프린팅 건설 기술을 활용해 72명이 거주 가능한 대형 병영을 신속히 건설, 전장 내 숙소·지휘소·방호 시설 등 군사 인프라 구축에도 3D 프린팅이 다음 [그림 2-16]과 같이

---

19) U.S. Air Force. (2024). Photographic Record No. B-70-24-05-09-01. Washington, D.C.: U.S. Air Force Archives.

활용되고 있다.



[그림 2-16] 미국 육군 텍사스 Fort Bliss 기지 3D 프린팅 활용 병영시설<sup>20)</sup>

### 3) 군사적 파급 효과 및 미래 전망

#### 가) 작전 지속성 및 자립성 강화

3D 프린팅은 긴급 상황에서 부품 부족으로 인한 작전 중단을 최소화하고, 현장 자립적 군수 지원 체계를 가능하게 한다. 전장 가까이에서 직접 부품을 생산함으로써, 적의 보급로 차단이나 공급망 공격에도 신속히 대응할 수 있다. 이는 전시 군수지원의 회복탄력성을 높이는 효과도 가진다. 특히 장기 분쟁 상황에서 이러한 생산 자율성은 지속 작전 수행의 핵심 요소가 된다.

#### 나) 비용 절감 및 운용 효율성 증대

대량 생산이 아닌, 필요 시점에 필요한 양만큼 생산하는 방식은 불필요

20) U.S. Army. (2024). Fort Bliss 3D-Printed Barracks (Alyx Riebeling, ed.). Texas: U.S. Army Corps of Engineers.

한 재고와 낭비를 줄이고, 전체 군수 비용을 절감하는 효과가 있다. 또한, 3D 프린팅은 복잡한 부품도 일체형으로 제작 가능해 조립 공정 단순화 및 내구성 향상에도 기여한다.

#### 다) 기술적 도전과제

아직까지는 소재 내구성, 대형 부품의 품질 관리, 사이버 보안(설계 데이터 유출 위험) 등의 한계도 존재한다. 그러나 각국 군은 이러한 문제를 극복하기 위해 전문 연구소 설립, 소재 개발, 표준화 작업 등을 추진하고 있다. 이는 향후 기술적 완성도를 높여 대규모 실전 적용 기반을 마련하는 과정으로 평가된다.

3D 프린팅 기술은 군사적 신속 대응, 유연성, 비용 효율성, 지속 가능성을 동시에 실현할 수 있는 핵심 기술로 자리매김하고 있다. 앞으로 전장 환경 변화에 따라 3D 프린팅의 군사적 적용 범위와 중요성은 더욱 확대될 전망이며, 향후 체계적 운용개념 정립도 필요하다. 이는 미래 전력 구조 변화에도 직접적인 영향을 미칠 수 있다.

### 제 4 절 선행연구 검토

군사적 기만체계는 전통적으로 심리전·정보전·전자전 등 다양한 영역과 결합되어 발전해 왔다. 국내·외 학계와 방위산업계에서는 기만전술의 효과와 설계 체계, 그리고 3D 프린팅 기반의 제작 가능성에 대한 연구가 점진적으로 이루어졌으나, 대부분 개념적 분석에 머물거나 실증적 검증이 부족하다는 한계를 지닌다.

#### 1) 국내 선행연구 동향

기만전술 연구 영역에서 허준 외 1인(2017), 장병수(2019), 황순일

외 1인(2020) 등은 전쟁사 내 주요 기만작전을 기반으로 전략·전술 수준의 개념 분석을 수행하였다. 윤성국 외 3인(2021)은 ISR(정보·감시·정찰) 교란을 통한 작전효과 극대화 모델을 제시하였으며, 최수환 외 2인(2022), 안찬호(2022)는 심리전·정보전과 연계된 통합 기만체계의 필요성을 제기하였다.

김영호(2018)는 「전자전 기반 기만효과 분석」에서 전자파 및 레이더 기만의 전술적 활용 가능성을 시뮬레이션으로 검증하였다고 주장하고 있다. 그러나 그는 실제 전장 환경에서의 정량적 효과 검증은 아직 이루어지지 않았다고 지적하고 있다.

박정훈(2020)은 야전형 위장 및 기만장비의 효율화 방안을 제시하며 현장 운용 절차 개선의 필요성을 강조하고 있다. 그러나 그는 기만체계의 구조적 표준화나 모듈화 개념에 대해서는 언급하지 않고 있다.

이도현(2021)은 모듈화 기반 전력지원체계의 설계 연구를 통해 군수 및 보급 체계의 유연성 확보 가능성을 논의하고 있으며, 이러한 접근이 본 연구에서 제안한 모듈형 기만체계 개념과 연계될 수 있음을 시사한다.

한화시스템(2024)은 기술백서에서 유·무인 복합체계 및 다영역작전(Multi-Domain Operations) 환경에서의 전자기 기만체계 연구 방향을 제시하고 있으며, 복합 시그니처 기만기술의 필요성을 강조하고 있다.

그러나 이러한 국내 연구들은 실전 운용 데이터를 기반으로 한 실증적 접근이 부족하며, 기만체계의 설계·제작·운용을 통합적으로 다룬 사례는 여전히 제한적이라는 한계를 지니고 있다.

## 2) 해외 선행연구 동향

전자전 및 복합 시그니처 기만 영역에서 Chris Cole(2019), Bert van den Broek et al.(2020), Jawad Yousaf et al.(2022), Janusz Dudczyk et al.(2022) 등은 RF 및 IR 복합 시그니처 기반 기만 효과를 분석하여

다영역 감시체계에 대한 대응 가능성을 제시하였으며, AI 기반 전파 인식 기술에 대응하는 신호 변조 및 자율 기만 알고리즘 연구로 확장하였다.

NATO RTO(2019)는 「Multispectral Signature Management」 보고서에서 레이더·적외선·음향 등 복합 시그니처 관리기법을 제시하고 있으며, 이를 통해 다중 스펙트럼 기반 위장·기만의 통합 운용 가능성을 강조하고 있다. 그러나 모듈형 운용체계로의 발전은 아직 미비한 수준에 머물러 있다. 특히 실전 배치를 위한 구조적 표준화 논의가 부족하다는 점이 한계로 지적된다.

MIT Lincoln Laboratory(2021)는 3D 프린팅 기반 전자기 기만체계를 실험적으로 제작하여 전자서명(EM Signature) 기만의 기술적 가능성을 입증하고 있으며, 이러한 연구는 기만체계의 제작 유연성과 적용성을 보여주고 있다. 그러나 환경 적응성·내구성 검증은 제한적으로 수행되었다. 이는 현장 적용 단계와의 간극을 완전히 해소하지 못한 부분이다.

모듈형 체계 설계 및 적응형 기만체계 영역에서 U.S. Department of Defense(2022), U.S. Army DEVCOM(2022, 2023), NATO STO(2024) 등은 개방형 아키텍처 및 모듈형 설계 표준을 제시하고, 다영역 작전(MDO) 환경에서의 상호운용성 및 체계 통합성 향상을 검증하였다. 특히 U.S. Army DEVCOM(2022)은 「Adaptive Deception Systems for Battlefield Mobility」 연구에서 다영역작전 환경을 기반으로 한 전장 기만체계 운용 개념을 제시하고 있으며, 적응형(AI-Driven) 전장기만체계의 필요성을 주장하고 있다. 그러나 연구의 초점이 실증데이터보다는 시스템 아키텍처 설계 개념에 국한되어 있다. 따라서 실전 검증 기반의 적용성 판단에는 한계가 존재한다.

3D 프린팅 군사 응용 영역에서 U.S. Air Force(2019), U.S. Army(2023), Wohlers Associates(2023) 등은 현장형 3D 프린팅을 활용한 전장 부품 생산 및 복원 기술을 실증하고, 경량 복합소재를 이용한 위장 외피 및 모형체 제작 연구를 수행하였으며, 흑서·흑한·진동 등 전장 환경 내

구성 검증의 필요성을 제기하였다.

### 3) 선행연구의 공통 한계

기존 선행연구들은 실증기반 검증의 부족, 단일 시그니처 중심 분석, 환경 적응성 결여, 표준화 부재, 그리고 3D 프린팅 기반 제작의 시간·비용 제약 등 한계를 다음 [표 2-1]과 같이 나타낸다. 이러한 한계는 실제 운용 환경을 반영한 통합적 연구의 부족에서 비롯된 측면도 있다.

[표 2-1] 선행연구의 공통 한계

구 분	한계점
실증기반 부족	• 시뮬레이션, 이론적 분석 수준으로 기만효과 검증 부족
단일 시그니처 중심	• 레이더나 IR등 개별 탐지방식에 한정되어 복합 시그니처 대응 미흡
환경 적응성 결여	• 온도, 습도, 충격, 먼지 등 환경별 내구성 검증 사례 부족
표준화 부재	• 모듈간 연결규칙·신호 인터페이스 설계 표준 미확립으로 상호운용성 제약
시간·비용 제약	• 군사 제작 생산성·경제성 측면의 대규모 적용 한계점

### 4) 본 연구의 차별성

본 연구는 위 선행연구의 공통 한계를 보완하기 위해 다음 [표 2-2]와 같은 차별적 접근을 제시한다.

[표 2-2] 본 연구의 차별성

구 분	내 용
모듈화 설계틀 도입	• 외형, 신호, 전자모듈 계층적 분류 • 전원, 통신 인터페이스 표준 제안
3D프린팅 현장 제작 개념 도입	• 신속배치성, 운용유연성 강화
복합 시그니처 기만 모델 도입	• 레이더, IR, 음향 신호 통합 • 묘사 다층 기만체계 설계
정찰드론 운용 개념도 제시	• 실시간 상황인식 연동 실증 가능성 제시

기존 연구들은 대부분 단일 시그니처(레이더 또는 IR) 기반 기만체계나 전자전 중심 개념 분석에 머물렀으며, 실제 운용 환경에서의 통합 설

계 접근은 미흡하였다. 또한 현장 제작·운용성 측면에서도 3D 프린팅 기술의 응용 가능성을 체계적으로 다룬 연구는 매우 제한적이었다.

이에 반해 본 연구는 모듈화 설계, 복합 시그니처 대응, 현장 적응형 제작 개념을 통합적으로 제시하여, 전장 환경 변화에 대응 가능한 차세대 기만체계의 개념을 제시한다는 점에서 다음 [표 2-3]과 같이 기존 연구와 구별된다. 특히 기만체계 개발의 실효성과 실전 적용 가능성까지 고려한 점에서 연구적 완성도를 더욱 높인다.

[표 2-3] 선행연구 주요 내용 및 시사점

구분	연구자	주요 내용
기만 전술 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>허준 외 1인(2017)</li> <li>장병수(2019)</li> <li>황순일 외 1인(2020)</li> <li>윤성국 외 3인(2021)</li> <li>최수환 외 2인(2022)</li> <li>안찬호(2022)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전쟁사 내 주요 기만작전 기반 전략·전술 수준의 개념 분석</li> <li>ISR 교란을 통한 효과 극대화 모델 제시</li> <li>심리전·정보전과 연계된 통합</li> <li>기만체계 필요성 제기</li> </ul>
전자전 / 사이버 기만	<ul style="list-style-type: none"> <li>김영호(2018)</li> <li>Bert van den Broek et al. (2020)</li> <li>박정훈(2020)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>RF 및 IR 복합 시그니처 기반 기만 효과를 분석하여 다영역 감시체계에 대한 대응 가능성을 제시</li> <li>AI 기반 전파 인식 기술에 대응하는 신호 변조 및 자율 기만 알고리즘 연구로 확장</li> </ul>
모듈형 체계 설계 (MOSA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>U.S. Department of Defense (2022)</li> <li>U.S. Army DEVCOM(2023)</li> <li>방위사업청(2024)</li> <li>한화시스템(2024)</li> <li>NATO STO(2024)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>개방형 아키텍처 및 모듈형 설계 표준을 제시</li> <li>다영역 작전 환경 상호운용성 및 체계 통합성 향상 검증</li> <li>수명주기 관리, 유지보수 효율화, 기술 독립성 확보 제안</li> </ul>
3D 프린팅 군사 응용	<ul style="list-style-type: none"> <li>U.S. Air Force(2019)</li> <li>국방과학연구소(2022)</li> <li>U.S. Army(2023)</li> <li>국방기술품질원(2023)</li> <li>Wohlers Associates(2023)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>현장형 3D 프린팅을 활용한 전장 부품 생산 및 복원 기술 실증</li> <li>경량 복합소재를 이용한 위장 외피 및 모형체 제작 연구 수행</li> <li>혹서·혹한·진동 등 전장 환경 내구성 검증 필요성 제기</li> </ul>

## 제 3 장 모듈형 기만체계 설계

### 제 1 절 모듈형 기만체계의 개념 및 구성요소

현대 전장 환경에서 기만체계는 적의 탐지 및 유도무기를 교란하여 야군의 생존성을 높이는 핵심적인 방호 수단으로 자리 잡고 있다. 기존의 기만체계는 주로 일체형 구조로 설계되어, 특정 임무나 플랫폼에 맞춰 한정적으로 운용되는 경우가 많았다. 그러나 최근 다양한 위협과 복합적인 작전 환경에 대응하기 위해, 모듈형 기만체계의 필요성이 대두되고 있다.

#### 1) 모듈형 기만체계 개념

모듈형 기만체계란 다양한 임무와 위협 유형에 따라 각 기능별 모듈을 조합·분리할 수 있도록 설계된 기만체계로, 신속한 조립과 운용, 유지보수의 용이성을 특징으로 한다. 이러한 체계는 3D프린팅 등 첨단 제조기술과 결합할 때, 설계 변경과 맞춤형 생산이 용이해져 전장 환경 변화에 효과적으로 대응할 수 있다.

#### 2) 모듈형 기만체계 구성요소

##### 가) 신호 생성

이 모듈은 적의 탐지·유도 시스템을 교란하기 위해, 실제 표적과 유사한 레이더 반사 신호, 적외선 신호, 음향 신호, 전자파 신호 등을 생성한다. 예를 들어, 코너 리플렉터 구조의 레이더 반사체는 보호대상 함정과 유사한 레이더 반사면적을 제공하며, 온풍 생성기는 실제 함정의 적외선 신호를 모사한다. 또한, 소음 생성기나 향적 발생기 등은 수중 음향 신호나 향적을 재현하여 적의 센서 시스템을 효과적으로 혼란시킨다.

## 나) 플랫폼 연동

이 모듈은 기만체를 다양한 플랫폼(함정, 차량, 항공기 등)에 신속하게 장착·운용할 수 있도록 하는 인터페이스 및 결합 구조를 제공한다. 예를 들어, 플라스틱백이나 결합패치(벨크로 방식 등)는 기만체의 부피와 형태를 임무에 맞게 조절할 수 있게 해주며, 다양한 플랫폼에 맞는 표준화된 연결부를 통해 운용 유연성을 높인다.

## 다) 발사·전개 모듈

이 모듈은 기만체를 신속하게 전개(발사, 투하, 배치 등)할 수 있는 장치로, 발사기, 투하 장치, 자동 전개 시스템 등이 포함된다. 최근에는 낙하산을 이용해 바다 위에 기만체를 부유시키거나, 공중에서 신속히 전개하는 기술이 도입되고 있다. 이로써 전방위적 신호 교란과 신속한 배치가 가능해진다.

## 라) 에너지·제어 모듈

기만체의 신호 생성, 위치 제어, 작동 시간 조절 등을 위해 전원 공급 장치와 원격 제어 장치가 포함된다. 예를 들어, 온풍 생성기의 온도를 실제 표적의 상태에 맞게 조절하거나, 소음생성기의 작동을 원격으로 제어할 수 있다.

## 마) 조립·확장 모듈

모듈 간 결합·분리 및 확장성을 보장하는 구조로, 표준화된 연결부, 교체형 부품, 확장 슬롯 등이 포함된다. 이러한 설계는 3D프린팅 기술과 결합할 때, 신속한 부품 교체와 현장 맞춤형 조립을 가능하게 하여, 다양한 임무와 위협에 유연하게 대응할 수 있다.

모듈형 기만체계는 실제 전장에서 다양한 형태로 활용되고 있다. 해군의 대유도탄기만체계(MASS)는 레이더, 적외선, 전자광학, 레이저 등 다중 위협에 대응하기 위해 여러 종류의 기만탄을 조합해 운용하며, 최근에는 코너 리플렉터(OCR) 등이 추가되어 더 복잡한 전파 특성과 넓은 기만 범위를 구현하고 있다. 또한 무인체계와 결합된 기만체는 수중·공중 등 다양한 영역에서 신속히 전개되어 항모강습단과 같은 고가치 자산 보호에 활용되고 있다.

소결론으로 모듈형 기만체계는 신호 생성, 플랫폼 연동, 전개·제어 등 기능별 모듈을 조합해 다양한 위협에 신속·유연하게 대응하도록 설계된 첨단 방호 체계이다. 특히 3D프린팅 기술과 결합될 경우 맞춤형 제작과 현장 조립이 용이해져 미래 전장에서 활용도가 더욱 확대될 것으로 전망된다.

## 제 2 절 현장 제작 가능 모듈과 사전 제작 필수 모듈 분류

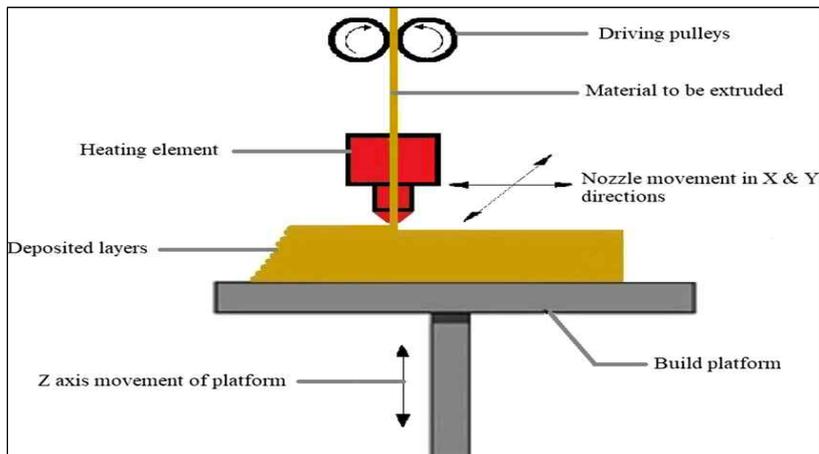
현대 전장에서 모듈형 기만체계의 신속성과 유연성은 전투력 유지와 생존성 확보의 핵심이다. 3D프린팅 기술의 도입으로 일부 모듈은 현장 인근에서 즉시 제작·교체가 가능해졌으며, 반면 고정밀·고신뢰성이 요구되는 모듈은 사전 제작이 필수적이다. 이에 따라 모듈 구성 요소는 현장 제작 가능 모듈과 사전 제작 필수 모듈로 구분된다. 이러한 구분을 위해서는 3D프린팅 소재와 프린터 방식의 특성을 이해하는 것이 중요하며, 적층·경화 방식에 따른 정밀도·내구성·생산 속도 차이는 특정 모듈의 현장 제작 가능성을 판단하는 기준이 된다.

### 1) 3D 프린터 방식별 특성

#### 가) 입출적층(FDM) 방식

FDM 방식은 가장 널리 사용되는 적층 제조(additive manufacturing) 기술로, 열가소성 플라스틱 필라멘트를 노즐에서 가열·용융시키고 이를 층층이 적층하여 형상을 구현하는 방식이다. PLA, ABS, PETG와 같은 필라멘트는 공급이 용이하고 가격이 저렴하며, 장비 구조도 단순하여 공장 환경에서도 비교적 안정적으로 운용할 수 있다는 장점을 가진다. 또한 장비 유지보수와 부품 교체가 용이해 기만체계의 외형 모듈, 형상 프레임, 경량 구조물 등 현장에서 즉시 출력해야 하는 구성요소 제작에 특히 적합하다.

FDM 방식은 재료 선택 폭이 넓고 출력 준비시간이 짧아 야전 기반(Field-level) 제작 체계 구축에 실질적 이점을 제공한다. 그러나 다음 [그림 3-1]과 같이 가열·냉각 과정에서의 수축, 적층면의 결(glue line) 형성 등으로 인해 출력물의 정밀도와 치수 안정성이 SLA, SLS 등 고정밀 공정에 비해 떨어지는 한계가 있다. 또한 내열성과 내충격성이 필요한 핵심 구조물이나 정밀 전자모듈 하우징에는 적합하지 않아, 해당 모듈은 후방 공정에서 별도의 고정밀 장비로 제작해야 한다.



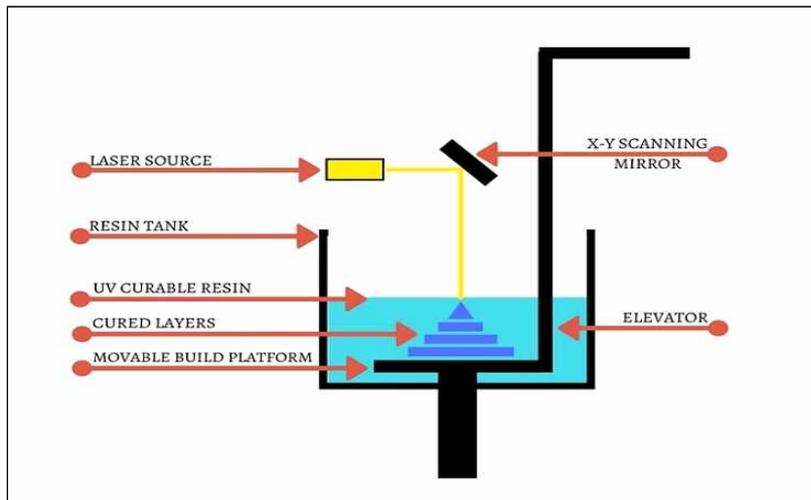
[그림 3-1] 입출적층(FDM)방식 개념<sup>21)</sup>

#### 나) 광경화(SLA) 방식

21) Stratasys. (2023). FDM Technology Overview. Stratasys Technical Guide.

SLA 방식은 액체 상태의 광경화성 레진을 자외선(레이저 또는 UV 광원)으로 선택적으로 조사해 층층이 경화시키는 적층 제조 기술이다. 매우 미세한 층 두께(25~50 μm)를 구현할 수 있어 표면이 매끄럽고, 복잡하고 세밀한 형상을 정밀하게 재현할 수 있다는 장점을 가진다. 이러한 특성은 기판체계의 형상 모듈, 외피 구조물, 시각적 재현성이 중요한 외관 요소 제작에 유리하게 작용한다.

하지만 레진 취급 난이도, 후경화(Post-curing) 필요, 장비 유지관리(광학계 정렬 등)로 인해 전장 환경에서의 운용은 제한적이다. 또한 레진은 온도 변화와 충격에 민감해 내구성이 요구되는 핵심 구조물에는 적합하지 않다. 따라서 SLA 방식은 [그림 3-2]와 같이 고정밀 외형·외피 모듈의 후방 제작에 적합하며, 현장 즉응형보다는 정밀 외관 모듈 생산을 위한 보조적 제작 기술로 활용하는 것이 바람직하다.



[그림 3-2] 광경화(SLA)방식 개념<sup>22)</sup>

#### 다) 분말소결(SLS) 방식

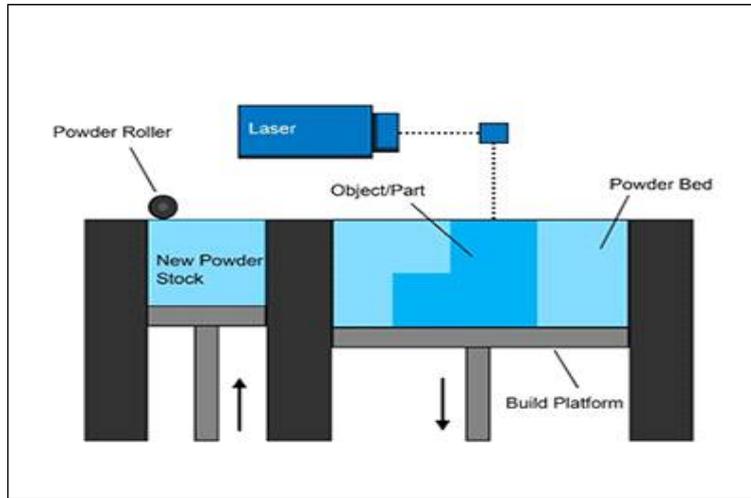
SLS 방식은 나일론, 유리섬유 강화 분말, 금속 분말 등 미세 파우더를

22) 3D Systems. (2023). Stereolithography Process Explanation. Technical Whitepaper.

레이저로 선택적으로 소결해 적층하는 3D 프린팅 기술이다. 분말층 자체가 지지체 역할을 하므로 별도 서포트가 필요 없으며, 일반 방식으로 구현이 어려운 복잡한 내부 구조나 기하학적 형상을 제작할 수 있다.

SLS 출력물은 기계적 강도, 내열성, 내충격성이 우수하여 모듈형 기판 체계의 구조 프레임, 하중 연결 부품, 장갑형·보호형 모듈 제작에 적합하다. 강도 대비 중량비가 뛰어나 경량화가 중요한 전술장비 제작에도 유리하다.

그러나 SLS 장비는 [그림 3-3]과 같이 고출력 레이저, 파우더 재순환 장치, 온도 제어 챔버 등 대형 산업 설비가 필수이며 비용도 높다. 또한 분말 관리와 챔버 유지 환경이 요구되어 전장·야전 운용은 사실상 불가능하다. 이에 SLS 방식은 사전 제작 필수 모듈에 적합하며, 현장 제작보다는 후방 정밀 제조 공정에 활용되는 기술로 분류된다.



[그림 3-3] 분말소결(SLS) 방식 개념<sup>23)</sup>

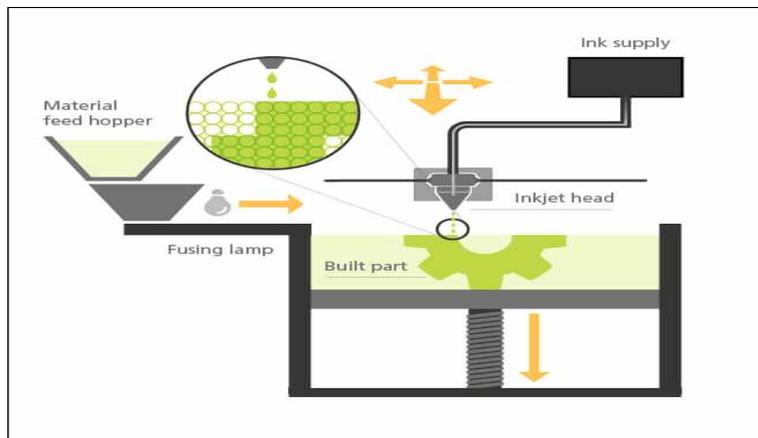
라) 멀티 제트 퓨전 방식(MJF) 방식

23) HP. (2022). Polymer Powder-Based Additive Manufacturing: SLS vs MJF. HP Tech Insights.

MJF 방식은 나일론 기반 미세 파우더층에 결합제와 흡열제를 분사한 뒤 강한 열원(IR Lamp)을 조사해 선택적으로 융합·고화시키는 분말 적층 기술이다. 파우더 베드를 사용한다는 점은 SLS와 동일하지만, 레이저 대신 멀티 제트 방식으로 소결을 수행해 층간 강도 균일성, 출력 속도, 대량 생산 효율에서 높은 성능을 보인다.

[그림 3-4]와 같이 MJF는 구조 강도와 정밀도를 동시에 확보할 수 있어, 복합 시그니처 구조물처럼 내부 패턴과 외형 정밀도가 모두 요구되는 모듈 제작에 적합하다. 기계적 성질의 편차가 적어 모듈형 기판체계의 정밀·고강도 부품 사전 제작 기술로 활용 가치가 높다.

그러나 MJF 장비는 SLS와 마찬가지로 대형 산업용 설비이며, 고가 장비·전문 운영 환경(온도·분말 관리, 후처리 등)을 요구한다. 출력물 후처리 시설 역시 필수이므로 전장·야전 수준 운용은 사실상 불가능하다. 이는 사전 제작 필수 모듈 생산에 적합한 고정밀 제조 방식으로 분류된다.



[그림 3-4] 멀티 제트 퓨전 방식(MJF) 방식 개념<sup>24)</sup>

## 2) 현장 제작 가능 모듈(On-site Manufacturable Modules)

24) Materialise. (2022). MJF Polymer Powder Bed Fusion Process Description. Materialise AM Insight Series.

현장 제작 가능 모듈은 3D프린팅, 프리팹(Pre-fab) 조립, 표준화된 결합구조 등 신속 생산 기술을 활용하여, 야전이나 전방 기지에서 직접 제작·교체할 수 있는 부품들이다. 이들은 일반적으로 다음과 같은 특징을 가진다.

#### 가) 구조체 및 외형 모듈

기만체의 기본 프레임, 셸(shell), 커버 등은 3D프린팅으로 현장에서 신속 제작이 가능하다. 예를 들어, 코너 리플렉터의 반사판, 플라스틱백 기반 부양체, 외부 하우징 등은 설계 데이터만 있으면 다양한 크기와 형태로 즉시 출력할 수 있다. 이는 임무별·플랫폼별 맞춤형 제작을 가능하게 하며, 파손 시 신속한 교체도 용이하다.



[그림 3-5] 미국 일리노이 아일랜드 병기장에서 시제품 부품 인쇄<sup>25)</sup>

#### 나) 조립 및 결합 모듈

모듈형 기만체의 핵심은 현장에서 신속하게 조립·해체가 가능한 구조적 유연성에 있다. 이를 위해 표준화된 연결부(Interlock), 조립 브라켓,

---

25) Defense News. (2024). U.S. Army Inches Closer to 3D-Printing Spare Parts Under Fire. Arlington: Defense News.

확장 슬롯(Expansion Slot) 등의 설계가 적용되며, 이러한 부품은 3D프린팅을 통해 현장에서 손쉽게 제작할 수 있다. 특히 각 모듈은 클릭형 체결 구조로 설계되어 전투 중에도 소수의 인원으로 결합·교체가 가능하며, 전원 및 신호선 연결부는 Plug & Play 방식으로 단시간 내 작동을 보장한다.

미국 국방부의 MOSA(Modular Open Systems Approach) 지침(DoD, 2021)에 따르면, 이러한 표준화 인터페이스는 모듈 간 상호 호환성과 유지보수 효율성을 극대화하는 핵심 요소로 평가된다. 또한, 국방과학연구소(ADD, 2022)는 야전용 3D프린팅을 이용해 교체형 브라켓과 확장 슬롯을 실증함으로써, 현장 조립형 전술체계의 적용 가능성을 입증한 바 있다.<sup>26)</sup>

#### 다) 일부 신호 발생 모듈

일부 신호 발생 모듈은 현장에서 상대적으로 간단하게 구현할 수 있어 모듈형 기만체의 실용성을 크게 높인다. 예컨대 레이더 반사용 금속 코팅 필름(또는 코너 리플렉터), 저가형 적외선 발열체(전기식 히터 패드 등) 및 간이 전자 신호 발생 장치(소형 싱글보드 컴퓨터 기반의 송신기)는 3D프린팅으로 제작한 하우징과 간단한 조립만으로 현장 배치가 가능하다. 이러한 방식은 인플레이터블·경량 더미와 결합하여 시각·레이더·열(멀티스펙트럼) 신호를 신속히 생성·교정하는 데 유용하며, 저비용으로 다수 전개가 가능한 이점이 있다.

이러한 현장 제작 가능 모듈은 전장 상황 변화, 부품 손실, 임무 변경 등에 신속히 대응할 수 있다는 장점이 있다. 특히 3D프린팅 기술은 설계 데이터만 확보된다면, 부품 재고 없이도 필요할 때 즉시 생산이 가능해 군수 효율성을 극대화한다.

### 3) 사전 제작 필수 모듈(Pre-manufactured Essential Modules)

26) 국방과학연구소(ADD). (2022). 『현장형 3D프린팅 기술 적용을 위한 군수체계 실증 연구』. 대전: 국방과학연구소.

사전 제작 필수 모듈은 고신뢰성·고정밀이 요구되거나, 특수 소재·공정이 필요한 모듈은 반드시 사전에 제작·검증되어야 한다. 이러한 사전 제작 필수 모듈은 다음과 같다.

#### 가) 고정밀 신호 생성 모듈

적의 첨단 탐지·유도체계를 효과적으로 교란·모사하기 위해서는 정밀 전자회로, 고출력·정밀 발열체, 정밀 음향 발생기 등 높은 신뢰도와 정밀 가공이 요구되는 모듈이 필요하다. 이러한 장치는 환경·전자기 적합성(EMC)·신뢰성 시험을 포함한 엄격한 품질검증을 전제로 하여야 하므로, 현장 즉석 제작 대신 전문 공장(제조·시험 설비)에서 사전 생산·검증된 형태로 보급하는 것이 바람직하다.

구체적으로는 환경 내구성(온도·습도·진동·먼지 등)에 대한 시험, 전자파 방출·내성(EMC/EMI) 시험, 신뢰성·수명(RAM) 평가 및 품질관리 시스템에 따른 생산관리 및 문서화가 선행되어야 한다. 이와 같은 사전 제작·검증 절차는 현장에서의 설치 편의성과 작전 중 신뢰성 확보 및 안전성을 위해 필수적이다.

#### 나) 에너지·제어 모듈

에너지·제어 모듈(배터리, 전원공급장치, 원격제어·통신장치 등)은 작전 중 안전성과 신뢰성이 무엇보다 중요하므로 현장 임의 제작을 지양하고, 사전 제작·검증된 제품을 전력화하는 것이 필요하다. 특히 리튬 배터리는 폭발·열폭주 위험과 온도·수명 특성에 민감하므로 운송·저장·운용에 대해 국제·군사 표준과 군용 환경·전자파 규격에 따른 시험·인증이 필수적이다.<sup>27)</sup> 따라서 전방에서 사용될 전원·제어 장치는 설계단계의 내환경·충격·진동 시험, 전자파 간섭(EMC/EMI) 적합성 시험, 수명

---

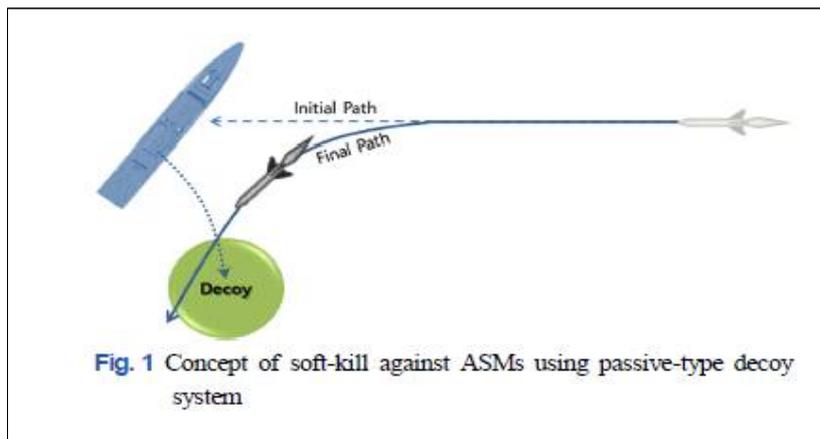
27) United Nations. (2025). Manual of Tests and Criteria and Amendment. New York: United Nations Publications.

· 안전성 검증을 거쳐 공급되어야 하며, 배터리의 경우 충전·보관·폐기 절차와 운송 제한을 포함한 운용지침을 병행해야 한다.

다) 특수 소재·복합 구조 모듈

내열성·내충격성이 요구되거나 카본섬유, 세라믹, 금속복합재 등 고성능 소재가 사용되는 부품은 현장 3D프린팅으로 구현하기 어렵다. 예를 들어, 고온 발열체, 내충격 하우징, 복합 보강 구조체 등은 고온·고압·진공 성형 및 적층 공정, 비파괴 검사(NDI), 품질 인증 절차가 필요하므로 반드시 사전 제작 및 검증 후 현장 공급이 이루어져야 한다.

이러한 고성능 부품은 군수창 및 전문 방산업체에서 일괄 생산·검증 후 보급하는 체계를 통해 품질 신뢰성과 운용 안전성을 확보할 수 있다. 특히, 한국군은 국방규격서(KDS) 및 방위산업 기술보호지침 등 국제 표준을 기반으로 복합소재 군수품의 설계·시험·인증 절차를 정립하고 있다. [그림 3-6]은 복합소재 기만체계 구조·역할 개념 같이 정립하고 있다.



[그림 3-6] 복합소재 기만체계 구조·역할 개념도<sup>28)</sup>

28) Kim, H. et al. (2021). "Engagement-Scenario-Based Decoy-Effect Simulation Against an Anti-Ship Missile Considering Radar Cross Section." Journal of Defense Modeling and Simulation, Vol.18(4), pp.322-334.

#### 4) 분류 기준 및 운용 전략

현장 제작 가능 모듈과 사전 제작 필수 모듈의 분류 기준은 다음 [표 3-1]과 같다.

[표 3-1] 현장 제작 가능 모듈과 사전 제작 필수 모듈 분류 기준

구 분	현장제작	사전제작
제조 난이도 및 품질 요구 수준	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 단순 구조물</li> <li>· 낮은 정밀 부품</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고정밀 센서/전자회로</li> <li>· 고하중 지지구조</li> </ul>
소재 및 공정특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 범용 플라스틱</li> <li>· 알루미늄</li> <li>· 단일재료성형부품</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고열합금, 복합소재</li> <li>· 내열 페인트</li> </ul>
군사표준 및 신뢰성 요건	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 민수용 등급 구성품 (비치명적 파손 허용)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 군수품 적용부품</li> <li>· 고내구성 통신</li> <li>· 센서모듈</li> </ul>
현장운용 환경 및 위험도	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 비전투 접촉 배치 부품</li> <li>· 임시운용 목적 부품</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고온/고습 노출배치용</li> <li>· 장기 운용 기만 모듈</li> </ul>

소결론으로 이러한 분류와 운용 전략은 현장 생산 역량, 3D프린팅 설비 수준, 군수체계의 유연성 등에 따라 유동적으로 조정될 수 있다. 궁극적으로는 현장 제작 가능 모듈의 비중을 점차 확대하여, 전장 내 자립적 군수지원 체계를 구축하는 것이 미래 지향점이다.

### 제 3 절 3D프린팅 적용 가능 부품 및 소재 분석

현대 전장 환경에서 모듈형 기만체계의 신속한 운용과 유지보수, 맞춤형 대응을 위해 3D프린팅 기술의 적용은 점차 필수적인 요소로 자리 잡고 있다. 3D프린팅은 복잡한 형상의 부품을 단기간 내에 제작할 수 있을 뿐 아니라, 소량 다품종 생산에 최적화되어 있어 군사 기만체계의 다양한 요구에 부합한다. 실제로 미군과 한국군 등 선진 군대는 전투장비의 예비 부품, 드론, 함정 부품 등 다양한 분야에 3D프린팅을 적용하여 운용 효율성과 경제성을 크게 향상시키고 있다.

## 1) 3D프린팅 적용 가능 부품의 유형

### 가) 외부 구조체 및 하우징

기만체의 외부 프레임, 보호 쉘이나 커버 등은 3D프린팅을 통해 다양한 형상과 크기로 빠르게 제작할 수 있다. 예컨대 소형 정찰드론의 본체나 감시 장비용 하우징은 이미 3D프린팅 방식으로 생산되어 현장에 공급된 사례가 있으며, 복잡한 곡면, 내부 격벽, 경량화 구조 등 기존 방식으로 구현이 어려운 설계들도 적층제조를 통해 실현되고 있다. 사례로 Tundra-M 드론은 복합소재를 사용한 3D프린팅 프레임을 적용한 [그림 3-7]과 같은 사례가 있다.



[그림 3-7] 산업 및 다목적 작업을 위한 모듈식 3D 프린팅 드론<sup>29)</sup>

### 나) 조립 및 결합 모듈

모듈형 기만체계의 중요한 요소인 표준화된 연결부, 조립 브라켓, 확장 슬롯 등은 3D프린팅의 정밀성과 반복 제작 능력을 활용해 구현되는 경우가 증가하고 있다. 이들 모듈은 특히 현장에서 빠른 조립 및 교체가 가능해야 하므로 내구성 확보와 치수 정확성 유지가 필수적이다. 예를 들어,

---

29) Tundra-M. (2018). Fully-Modular Flight-Ready PBF 3D Printed Professional Drone for Multi-Purpose Tasks. Helsinki: Tundra Technologies.

Ultimaker는 금속 3D프린팅을 활용한 고강도 안테나 브래킷 제작 사례를 소개하였고, 또 미군은 야전에서 브래킷을 즉석 제작하여 부착한 실전 사례도 보도된 바 있다. 이러한 모듈은 MOSA(Modular Open Systems Approach) 설계 원칙 하에서 표준 인터페이스로 설계되어야 하며, 상호 교체성과 호환성을 보장할 수 있어야 한다. 또한, 무기 액세서리 장비 분야에서 사용하는 KeyMod/M-LOK 슬롯 시스템은 조립 슬롯 개념의 상용 사례로, [그림 3-8]과 같이 모듈 연결 시스템 설계에 참고할 실례다.



[그림 3-8] 핸드가드에 3D 프린팅 KeyMod 슬롯이 있는 Z-15 소총<sup>30)</sup>

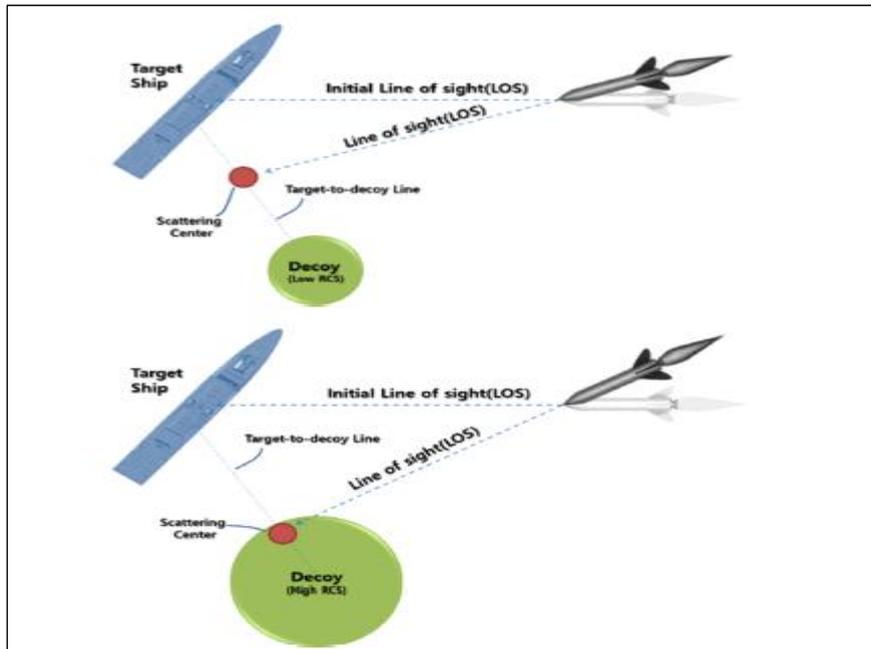
#### 다) 신호 발생 보조체

단순한 레이더 반사체(코너 리플렉터), 적외선(IR) 방출체, 음향 반사판 등은 비교적 단순한 구조를 가지므로 3D프린팅으로 현장 제작이 가능하다. 금속 코팅된 플라스틱 구조체나 내열 플라스틱 기반의 발열체하우징은 대표적인 적용 사례로, 이러한 장치는 전자기적 신호 특성을 조절하여 적의 탐지체계(RCS, IR, 음향 등)를 교란하는 데 활용된다. 실제로 미군은 UH-60 블랙호크 헬기, F-22 전투기 등에서 3D프린팅 부품(금속 브래킷, 전자 장비 하우징, 열 차폐 구조체 등)을 실전 적용하여 경량화

30) VLTOR Weapon Systems. (2012). KeyMod: Modular Weapon Mounting Interface Specification. Tucson: VLTOR Weapon Systems.

및 신속한 현장 교체를 수행한 사례가 보고된 바 있다.<sup>31)</sup> 또한, 해상기반 기만체의 RCS·IR 특성에 대한 시뮬레이션 연구에서도 금속 반사판과 열 방출체를 이용한 복합 시그니처 구현의 중요성이 제시되었다.

기만체의 레이더 반사 특성(RCS) 수준에 따라 ‘산란중심 (scattering center)’이 실제 함정에서 기만체 쪽으로 이동하는 현상을 시각화한 것으로, 금속 반사판이나 열 방출체를 이용한 복합 시그니처 구현 효과를 잘 보여준다. 즉, 고 레이더 반사 특성(RCS) 기만체를 활용할 수록 적 레이더가 기만체를 실제 목표로 오인할 가능성이 커짐을 다음 [그림 3-9]와 같이 보여준다.



[그림 3-9] Decoy RCS 수준에 따른 산란 중심 위치 변화<sup>32)</sup>

라) 프로토타입 및 수리용 부품

31) U.S. Department of Defense. (2021). Additive Manufacturing Strategy. Washington, D.C.: Department of Defense.

32) NASA. (2022). Technology Transfer Report 2022. Washington, D.C.: NASA Technology Transfer Program.

전장 환경에서는 장비의 손상·마모·단종 등으로 인해 즉각적인 부품 교체가 어려운 경우가 빈번하다. 이때 3D프린팅은 설계 데이터만 있으면 현장에서 수리용 보조 부품이나 임시 프로토타입을 단시간 내 제작할 수 있는 장점을 가진다. 예를 들어, 미 육군은 “RFAST-Lab (Rapid Fabrication via Additive Manufacturing on the Battlefield)” 프로젝트를 통해, 전차·차량의 과손 부품을 전선에서 직접 출력하여 수리하는 체계를 2021년부터 운용 중이다.<sup>33)</sup>

영국 BAE Systems도 3D프린팅으로 제작된 항공기용 점검 패널과 실험용 하우징을 실제 작전에 적용한 사례를 발표하였다. 국내에서도 ADD (국방과학연구소)는 ‘현장 3D프린팅 기반 정비 지원 기술’을 시험 중이며, 단종 부품의 신속한 현장 생산 체계 구축을 추진 중이다.<sup>34)</sup>

## 2) 3D프린팅 적용 소재의 종류와 특성

3D프린팅에 사용되는 소재는 크게 플라스틱(폴리머), 금속, 복합재 등으로 구분되며, 각 소재는 기계적, 화학적, 열적 특성이 상이하여 군사적 기만체계의 부품별 요구 성능에 따라 전략적으로 선택되어야 한다. 최근 소재 과학의 발전으로 군사용 3D프린팅 소재의 성능 범위가 크게 확대되고 있으며, 이는 기만체계의 현장 제작 가능성을 한층 높이고 있다.

### 가) 플라스틱(폴리머) 소재

플라스틱 소재는 가공성, 경량성, 비용 효율성 측면에서 가장 널리 활용되는 3D프린팅 소재다. 특히 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식에 최적화되어 있어 현장 제작 환경에서도 손쉽게 적용할 수 있다는 장점이 있다. [표 3-2]는 이러한 플라스틱 소재의 분류이다.

---

33) U.S. Department of Defense. (2021). Additive Manufacturing Strategy. Washington, D.C.: Department of Defense.

34) 국방기술품질원. (2023). 『국방 3D프린팅 기술 동향 보고서』. 서울: 국방기술품질원.

[표 3-2] 플라스틱(폴리머) 소재 분류

구 분	특징 및 용도
ABS	· 내충격성, 내열성, 내구성 우수 - 구조체, 하우징에 적합
PLA	· 저비용, 쉬운 가공성 - 프로토타입 제작에 활용
나일론	· 내구성, 내마모성, 내화학성 우수 - 반복 사용 부품에 적합
TPU	· 유연성, 탄성 우수 - 충격 흡수 구조에 적합
PP	· 내화학성, 방수성 - 방수 기능이 필요한 부품에 활용

ABS는 특히  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서  $80^{\circ}\text{C}$ 까지의 온도 범위에서 안정적인 특성을 유지하여 다양한 작전 환경에 적합하다. 나일론은 인장강도가 50-80 MPa에 달해 구조적 부하를 받는 부품에 유리하며, TPU는 Shore 경도 95A 수준의 탄성으로 충격 흡수가 필요한 부위에 효과적이다.

#### 나) 금속 소재

금속 소재는 내열성, 강도, 전기적 특성이 중요한 부품에 적용되며, 주로 DMLS(Direct Metal Laser Sintering), SLM(Selective Laser Melting) 등의 분말 적층 방식으로 제작된다. 금속 3D프린팅은 기존 주조나 단조 방식으로 제작이 어려운 복잡한 형상 구현이 가능하다는 점에서 군사적 가치가 높다.

티타늄은 강도 대비 중량비가 철강의 약 1.7배에 달하며, 스테인리스 스틸은 인장강도 490 MPa 이상으로 구조적 안정성을 확보하면서도 상대적으로 저렴한 비용으로 제작할 수 있다. [표 3-3]은 이러한 금속 소재의 분류이다.

[표 3-3] 금속 소재 분류

구 분	특징 및 용도
티타늄	· 경량, 고강도, 내식성 - 항공 및 군수 부품
알루미늄	· 경량화와 내구성이 필요한 구조 부품
스테인리스 스틸	· 내식성, 내열성이 필요한 부품
니켈 합금	· 고온 환경에서 사용되는 특수 부품

#### 다) 복합재 및 특수 소재

복합재는 두 가지 이상의 소재를 결합하여 각각의 장점을 극대화하고 단점을 보완한 차세대 3D프린팅 소재다. 특히 군사 분야에서는 경량성과 고강도를 동시에 요구하는 부품에 복합재 활용이 급증하고 있다. [표 3-4]는 이러한 복합재 및 특수 소재의 분류이다.

[표 3-4] 복합재 및 특수 소재 분류

구분	특징 및 용도
나일론 + 탄소섬유	· 경량성과 내구성을 동시에 요구하는 부품에 적합
금속 + 세라믹 복합재	· 내열성 및 내충격성이 중요한 고온/고하중 환경 부품에 적합

탄소섬유 강화 나일론은 순수 나일론 대비 인장강도가 약 2배, 강성은 3배 이상 향상되며, 중량은 10-15% 증가에 그친다. PEEK는 항공우주 등급의 고성능 폴리머로 260℃까지의 연속 사용 온도를 견디며, 화학적 안정성이 매우 높아 가혹한 야전 환경에서도 성능을 유지한다.

#### 3) 3D프린팅 소재의 한계와 보완점

플라스틱 소재는 경량화와 가공성이 뛰어나지만, 기계적 강도와 내열성에서 한계가 있다. 금속 소재는 강도와 내구성은 우수하나, 프린팅 속도와 비용, 후처리 공정이 복잡하다. 복합재는 기계적 특성은 우수하지만, 소재 가격과 프린팅 장비의 제약이 있다. 특히 플라스틱 소재는 적층 방향에 따른 내부 응력, 냉각 속도 차이 등으로 인해 기계적 강도가 저하될 수 있다. 이를 보완하기 위해 열처리 등 후처리 공정이 적용되며, 실제 군사 부품 적용 시에는 내구성 시험, 환경 적합성 평가가 필수적이다.

#### 4) 군사적 적용을 위한 소재 선택 기준

기만체계의 3D프린팅 부품 및 소재 선정 시에는 작전 환경, 성능 요구 사항, 현장 제작성을 종합적으로 고려해야 한다. 부품 및 소재 선정 시에는 다음 [표 3-5]와 같은 기준이 적용된다.

[표 3-5] 기만체계 3D프린팅 부품 및 소재선정 기준

구 분	특징 및 용도
기계적 강도 및 내구성	· 반복 사용, 충격, 외부 환경에 견딜 수 있는 소재
경량화	· 운반, 전개, 조립의 용이성을 위한 경량 소재 우선
내열성 및 내화학적성	· 신호 발생체, 외부 노출 부품의 내열·내화학적성 확보
가공성 및 현장 생산성	· 신속한 제작, 조립, 수리가 가능한 소재
군사 표준 및 환경 적합성	· 군용 부품의 신뢰성, 내구성, 환경 적합성 평가 통과

국방부는 2023년 한 해 동안 3D프린팅 기술로 37,179점의 전투장비 부품을 제작해 약 16억 원의 예산을 절감하였다. 코브라 헬기 감시장비, 소형 정찰드론 몸체, 함정 부품 등 다양한 군수품에 적용되며, 단종·조달이 어려운 부품의 현장 제작과 신속한 군수 지원에 기여하고 있다.

미군도 블랙호크 헬기, F-22 전투기, 전투차량 등 주요 플랫폼에 3D프린팅 부품을 적용해 생산성, 유지보수 효율, 비용 절감 효과를 확인하였다. 이러한 기술 성숙도와 운용 경험을 고려할 때, 3D프린팅은 기만체계의 신속 전개, 현장 제작, 맞춤형 설계에 활용 가능성이 커질 것으로 판단된다.

#### 제 4 절 기만체 유형별 모듈 구성 방안

현대전은 고도화된 감시·정찰 능력과 탐지-식별-타격 체계가 전장 우위를 결정함에 따라 기만 역량의 중요성이 다시 부각되고 있다. 기존 고정형 기만장비는 운용 유연성과 생존성에 한계가 있어, 작전 요구에 따라 다양한 시그니처를 생성·조합할 수 있는 모듈형 기만체 개념이 점차 중

요해지고 있다. 이에 본 절에서는 지상·해상·공중 영역에서 활용 가능한 기만체의 모듈 구성체계를 비교·분석하고, 작전 적용 가능성과 발전 방향을 제시한다.

## 1) 모듈형 기만체계의 공통 설계 원칙

모듈형 기만체계는 작전 영역과 무관하게 다음의 공통 설계 원칙을 따른다. 첫째, 플랫폼-페이로드 분리 구조로 설계하여 동일한 시그니처 모듈을 다양한 플랫폼에 적용할 수 있어야 한다. 둘째, 계층적 모듈 구성을 통해 형상 모듈(외형), 시그니처 모듈(RF·IR·EO·음향), 제어·전력 모듈, 생존성 모듈(난연·차폐)로 체계화한다. 셋째, 작전지휘망(C4I) 연동을 통해 실체와 기만체를 통합 관제하여 오인 및 우발 충돌을 방지한다. 넷째, 신속 전개 및 회수가 가능토록 경량화·모듈화하여 작전 기동성을 확보한다.

이러한 공통 원칙을 기반으로 각 작전 영역별 특성에 맞는 모듈 구성 방안을 다음과 같이 제시한다.

## 2) 지상 기만체(장갑기재 기반)

지상 기만체는 전차, 장갑차, 자주포 등 주요 전투자산을 실체와 유사하게 모사하는 것이 핵심이다. 형상 모듈은 3D 프린팅 또는 팽창식 구조로 제작하여 신속 전개가 가능하며, 시그니처 모듈은 레이더 반사체(Corner Reflector), 적외선 발열 장치, 엔진 음향 시뮬레이터를 조합하여 다중 스펙트럼 기만을 구현한다.

최근 러시아-우크라이나 전장에서 활용된 팽창식 T-72, HIMARS, S-300 더미 사례는 시그니처 기반 분류를 혼란시켜 적의 정밀타격을 유도한 사례로, 다음 그림 [그림 3-10]과 같이 지상 기만체가 현대전에서 실질적 가치를 지님을 보여준다.



[그림 3-10] 레오파드 2A4 우크라이나 기만전차<sup>35)</sup>

작전 측면에서는 4~5명의 운용요원이 약 10분 이내에 전개·회수할 수 있도록 경량화되고, 2½톤 트럭 1대로 수송 가능한 이동성 확보가 필요하다. 또한 C4I 및 전술적 위치정보체계와 연동 시, 실체·기만체 구분 없이 작전상 실시간 정보통합이 가능하여 오인 및 우발 충돌 가능성을 줄일 수 있다.

지상 기만체의 핵심 모듈은 ①형상 모듈(팽창식 또는 3D 프린팅 외형), ②RF 시그니처 모듈(코너 리플렉터), ③IR 시그니처 모듈(발열 장치), ④음향 모듈(엔진음 시뮬레이터), ⑤제어·전력 모듈(배터리 또는 태양광), ⑥생존성 모듈(난연 소재, EMI 차폐) 등으로 구성될 수 있다.

### 3) 공중 기만체(드론 기반)

공중 기만체는 드론, UAV 등 소형 자산을 활용하여 전자전·시그니처 기만·군집 작전 등을 수행하는 구조로 진화하고 있다. 대표적으로 미국

35) Forbes. (2025). Russia And Ukraine Are Deploying Increasingly Advanced Decoy Tanks.

Raytheon의 Miniature Air-Launched Decoy 계열은 고정익 글라이더 기체에 다양한 페이로드 모듈(전자파 반사, 열 신호 생성, DRFM 재머 등)을 삽입하여 전투기와 유사한 RCS 및 IR 시그니처를 방출할 수 있다.

최근에는 Leonardo의 BriteStorm과 같은 고성능 DRFM(Digital Radio Frequency Memory) 모듈을 20kg급 UAV에 장착하여 다중 재밍 및 궤적 위장 임무를 수행하는 플랫폼-페이로드 분리형 구조로 확대되고 있다. 다음 [그림 3-11]과 같이 시그니처 데이터베이스를 기반으로 UAV 편대가 위장된 궤적을 형성해 적 추적을 방해하는 시간지연 기반 포워딩 알고리즘도 제안되고 있다.



[그림 3-11] LEONARDO사의 브라이트 스톰<sup>36)</sup>

공중 기만체는 ①플랫폼(비행체), ②추진 및 전력, ③시그니처 생성 장치(RF/IR/가시광), ④임무 시나리오 제어기, ⑤관제 및 통신모듈, ⑥회수 또는 자폭 장치 등 6개 핵심 모듈로 구성될 수 있다.

향후 한국군은 ISO 규격 컨테이너형 드론 발사기와 전투기 탑재형 '기만 페이로드 팩'을 병행 운용하여 장거리 및 근접기만을 동시에 구현할 수 있을 것이다. 특히 유무인 복합 전투체계 개념과 결합하여 유인 전투기가

36) Leonardo. (2024). 『BriteStorm - Stand-in Jammer Payload』 .

공중 기만 드론을 통제하며 적 방공망을 기만하는 전술이 가능하다.

#### 4) 해상 기만체(함정 · 소형정 기반)

해상 기만체는 함정, 고속정, 상륙주정 등을 모사하여 적의 해상 감시 · 타격 자산을 기만하는 데 활용된다. 해상 환경의 특수성(염분, 습도, 파랑)을 고려하여 내구성 강화 소재와 방수 · 방청 처리가 필수적이다.

NATO 및 미 해군은 다음 [그림 3-12] 호주 개발 능동형 기만 로켓(Nulka)와 같은 해상 전자전 기만체를 운용 중이며, 함정에서 발사 후 공중에서 레이더 및 적외선 신호를 방출하여 대함 미사일을 유인한다. 한국 해군 역시 이러한 능동형 해상 기만체계를 모듈화하여 호위함, 초계함, 고속정 등 다양한 플랫폼에 적용할 필요가 있다.



[그림 3-12] 호주 해군의 능동형 기만 로켓<sup>37)</sup>

형상 모듈은 팽창식 또는 경량 복합재로 제작하여 함정의 상부 구조물(함교, 마스트, 레이더 안테나)을 모사하며, 시그니처 모듈은 레이더 반사체(Active RCS Enhancer), 적외선 발열 장치(엔진실 모사), 음향 발생기(스크류 음향 시뮬레이터)를 통합한다. 특히 해상에서는 레이더 시그니처 조절이 핵심이므로, 능동형 레이더 증폭기(Active Radar Enhancer)를 장착하여 실제 함정과 유사한 반사 신호를 생성한다.

37) <https://www.navy.gov.au/capabilities/weapons/nulka-active-missile-decoy> (검색: 2025.12.7.)

작전 운용 측면에서는 견인형 기만체(함정 후방에 견인하여 미사일 유도를 우회시키는 소모성 자산), 자율항행형 기만체(GPS 및 자율항법 장치를 탑재하여 독립적으로 기동하며 적 감시망을 혼란시키는 재사용 자산)로 구분할 수 있다.

해상 기만체의 핵심 모듈은 ①형상 모듈(방수 처리 팽창식 또는 복합체), ②RF 시그니처 모듈(능동형 RCS 증폭기), ③IR 시그니처 모듈(엔진 실 발열 모사), ④음향 모듈(스크류 음향 발생기), ⑤자율항법 모듈(GPS, INS), ⑥제어·전력 모듈(방수 배터리, 태양광 패널), ⑦생존성 모듈(부력 유지 장치, 자폭 또는 회수 장치) 등으로 구성될 수 있다.

#### 5) 영역 간 통합 운용 개념

모듈형 기만체계의 진정한 가치는 지상·해상·공중 영역 간 통합 운용에서 극대화된다. 예를 들어, 상륙작전 시나리오에서 ①해상 기만체가 적 해안 레이더를 기만하고, ②공중 기만 드론이 적 방공망을 교란하며, ③지상 기만체가 적 포병 및 미사일 타격을 유인하는 다층 기만 작전(Layered Deception Operation)이 가능하다.

이러한 통합 운용을 위해서는 공통 시그니처 모듈 라이브러리와 통합 기만 작전 관제 체계(Integrated Deception Command & Control)가 필요하다. 공통 모듈 라이브러리는 RF, IR, 음향 등 시그니처 생성 모듈을 표준화하여 지상·해상·공중 플랫폼에 상호 호환 가능하도록 설계하며, 통합 관제 체계는 C4I 체계와 연동하여 실시간으로 기만체 배치, 시그니처 조절, 회수 또는 자폭을 제어한다.

소결론으로 기만체를 모듈화함으로써 얻을 수 있는 가장 큰 이점은 다양한 시나리오 적용성, 유지보수 효율성, 영역 간 상호운용성이다. 지상·해상·공중 기만체가 동일한 시그니처 및 제어 모듈을 공유할 경우, R&D 및 조달 비용 절감과 동시에 현장 운용 탄력성이 극대화된다. 또한 전장 환경 변화나 위협 평가에 따라 기만체의 구성요소를 교체하거나 보완할

수 있어, 국방혁신 4.0이 지향하는 유연 전력구조 및 스마트화된 작전환경 조성에 기여할 수 있다.

따라서 향후 한국군은 지상·해상·공중 작전단위에 모듈형 기만체 전담부대를 편성하고, 국방과학연구소 중심의 플랫폼-시그니처 표준화를 통해 '디지털 트윈 기반 기만체 모델 인증체계'를 구축하려는 노력이 필요하다. 이를 통해 한국군은 다영역작전 환경에서 통합 기만 역량을 확보하고, 적의 탐지-식별-타격 체계를 효과적으로 무력화할 수 있을 것이다.

## 제 4 장 모듈형 기만체계 운용방안

### 제 1 절 기존 기만체계의 한계와 모듈형 접근의 필요성

현대전 환경에서 기만체계는 단순한 속임수 장비를 넘어, 적의 정찰·감시·표적획득 체계를 교란하여 아군 전력의 생존성과 작전 지속능력을 보장하는 핵심 전력 요소로 자리 잡고 있다.

특히 우크라이나 전쟁, 나고르노-카라바흐 전쟁 등 최근 분쟁에서 드러난 것처럼, 드론·위성·전자정찰(EW/ISR) 기반의 실시간 탐지 체계가 강화되면서, 기만체계는 더 이상 수동형 더미(dummy) 수준으로는 대응이 불가능하게 되었다.<sup>38)</sup>

그러나 현재 운용 중이거나 연구 단계에 있는 대부분의 기만체계는 다음과 같은 구조적 한계를 갖는다.

#### 1) 단일 시그니처 대응 한계

기존 기만체계는 레이더(RCS) 또는 적외선(IR) 신호 등 단일 탐지 체계만을 대상으로 설계되어, 다중 센서 융합(Multi-Sensor Fusion) 기반 탐지 환경에서 효과가 급격히 저하된다. 예시로, 레이더 반사율만 모사한 고무/금속 더미는 열 영상 또는 음향탐지 체계에 의해 쉽게 구별된다.<sup>39)</sup>

#### 2) 고정형 구조

---

38) 국방기술진흥연구소. (2023). 『국방기술 혁신 및 첨단무기체계 발전 방향』. 서울: 국방기술진흥연구소.

39) Jane's Defence Review. (2021). Global Armoured Vehicle Modernization Report 2021. London: Jane's Information Group.

기존 체계는 제작 시점에서 기능·외형이 고정되어, 임무 또는 전장 환경 변화에 따른 재구성이 사실상 불가능하다. 파손이나 손실이 발생할 경우 전체 교체가 필요하며, 이로 인해 전력 공백 및 높은 운용비용이 발생한다.

### 3) 야전 운용성 부족

현재 대부분의 기만체는 공장에서 제작되어 후방에서 보급되는 중앙집중형 체계로, 현장 부대가 임무 특성에 맞춰 자체 제작·조정하기 어렵다. 특히, 기만체 파손 시 즉각 대체가 불가능하여 기동전·단기 교전 상황에서 신속한 운용이 제한된다. 이는 러시아-우크라이나 전쟁에서도 다수 확인된 문제로, 전선 기만체 손실률이 높아 즉각 복구가 어려웠다는 평가가 있다.<sup>40)</sup>

### 4) 표준화 부재

부품·모듈 간 규격이 통일되지 않아 교체·정비 효율성이 낮고, 부품 수급체계가 복잡하다. 이는 곧 수명주기비용(LCC, Life Cycle Cost) 증가로 이어지며, 기만체의 신속배치·정비·확장성 확보를 어렵게 만든다. 국내 연구에서도 유사한 지적이 제기되었으며 이로 인해 국방혁신 4.0이 지향하는 모듈화·개방형 아키텍처(K-MOSA) 체계와의 연계성이 낮은 것으로 평가된다.<sup>41)</sup>

소결론으로 본 연구는 상기 한계를 극복하고 다양한 전술·작전 환경에 즉각 대응 가능한 “모듈형 기만체계(Modular Deception System)” 개념을 제시하고 모듈화(Modularization) 설계 기반, 현장 적층 제조(On-site Additive Manufacturing, 3D Printing) 기술 결합을 통해 임무 적응형 기만체계(Modular Deception System) 개념을 제시한다.

---

40) Royal United Services Institute (RUSI). (2023). RUSI Defence Report 2023. London: RUSI.

41) 국방과학연구소(ADD). (2022). 『국방 R&D 중장기 발전전략』. 대전: 국방과학연구소.

## 제 2 절 기존 기만체계와 비교 분석

기존의 일체형 기만체계와 본 연구에서 제안한 모듈형 기만체계 (Modular Deception System) 를 구조·운용·유지보수 측면에서 비교하면 다음 [표 4-1]과 같다.

[표 4-1] 기만체계 연구 비교

구 분	일체형 기만체계 (기존)	모듈형 기만체계 (본 연구)	전략적 개선 효과
구조	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 일체형 설계</li> <li>· 기능 고정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기능별 모듈화</li> <li>· 조립, 분해 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 작전 환경 적응성 확보</li> </ul>
손상 대응	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전체 장비 교체 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 손상된 모듈만 교체 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 유지보수 시간 및 비용 절감</li> </ul>
시그니처 대응	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 단일 탐지체계 중심</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 레이더, IR, EO, 음향 복합대응</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 탐지 회피율 향상</li> </ul>
생산 및 보급	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 후방 ⇨ 현장보급</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 현장 3D프린팅 제작 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 신속 전개 및 긴급 대응 가능</li> </ul>
작전 운용성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 임무별 재제작</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 모듈 조합 임무별 대응</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전력 운용 유연성 확보</li> </ul>
경제성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수명주기 비용 높음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 부분교체, 확장으로 비용 절감</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 비용 ⇨ 효율성 향상</li> </ul>

이 비교에서 확인되듯, 모듈화 설계는 단순한 구조 변경을 넘어 운용 개념(Operation Concept) 자체를 변화시키는 효과를 갖는다. 특히 다중 센서 시대에 필요한 복합 시그니처 기만 능력과 전장 변화에 따른 적응성 측면에서 질적 도약이 가능하다.

소결론으로 기존의 일체형 기만체계는 제작 효율성이나 단일 임무 수행에는 일정한 장점이 있으나, 현대 전장의 복합 탐지 환경·신속 대응·유지보수 효율성 측면에서는 구조적 한계를 지닌다.

반면, 본 연구에서 제안한 모듈형 기만체계는 기능 단위로 분리된 설계와 현장 3D프린팅 기술의 결합을 통해 전장 변화에 적응하며 재구성 가

능한 적응형(Adaptive) 플랫폼으로 진화할 가능성을 제시한다.

이러한 체계는 단순히 장비의 개량에 그치지 않고, “기만체계의 개념을 장비 중심에서 임무 중심으로 전환하는 작전적 혁신(Operational Innovation)”으로 평가될 수 있다. 따라서 이후 절에서는 이러한 모듈형 기만체계의 운용 개념·배치 전략·기만 효과 극대화 방안을 구체적으로 제시함으로써, 현대 전장 환경에서 실질적으로 적용 가능한 운용 프레임워크를 도출하고자 한다.

### 제 3 절 모듈 구성 요소별 역할 및 기여 효과 분석

모듈형 기만체계는 주요 기능을 독립된 모듈로 분리하여 임무에 맞게 조합·운용할 수 있도록 설계된다. 각 모듈은 특정 탐지체계(레이더, 적외선, EO, SIGINT 등) 또는 작전 효과(오관 유도, 자원 소모 유발 등)를 목표로 하며, 개별 역할과 기여 효과는 다음 [표 4-2]와 같다.

[표 4-2] 모듈별 역할 및 효과

구분	기능 및 역할	기만 효과	작전적 의미
외형(Shape) 모듈	· 표적 외형 재현 · 실루엣 재현	· EO/IR·광학 기반 탐지 교란	· 적의 표적 식별 지연, 오관 유도
전자(Electronic) 모듈	· 전자파 반사 조절 · 흡수 특성 조절	· 레이더 탐지 오류 유발 · 유사 좌표 생성	· 적의 표적 좌표 산출 혼란
신호(RF) 모듈	· 허위신호 송출 · 재방출(Spoofing)	· SIGINT 혼란 · 전자정보전 교란 · 허위 트래픽 생성	· 지휘·통제망 교란 · 타격 자원 분산
열원(Heat) 모듈	· 열 방출 제어 · 프로파일 제어	· IR 기반 정밀유도무기 오관	· 고정밀 타격 무력화
전원/제어(Control) 모듈	· 전원·통신제어 · 자율 운용 지원	· 전장 환경 적응 및 장비 제어	· 전력화 및 원격 운용 효율성 향상

모듈별 기능을 명확히 구분함으로써 임무 목표에 따라 조합 구성을 달리할 수 있으며, 제한된 자원 하에서도 최적의 기만 효과를 달성할 수 있

다. 예를 들어, 정찰 위성 대응 작전에서는 외형·열원 모듈 위주 구성이, 전자정보전 환경에서는 전자·RF 모듈 중심 구성이 효과적이다.

#### 제 4 절 작전 적용 시나리오 분석

현대전장은 인공지능·정밀센서·무인체계가 결합된 다차원 감시·정찰 환경으로 진화하고 있다. 이에 따라 표적의 생존성을 확보하기 위한 군사적 기만(Deception) 기술은 과거 단순한 위장 수준을 넘어, 복합 시그니처(광학·적외선·레이더·전자)를 통합한 능동적 체계로 발전하고 있다.

본 연구에서 제안하는 3D 프린팅 기반 모듈형 기만체계(Modular Deception System)는 이러한 요구를 반영하여, 작전 현장에서 신속하게 제작·전개할 수 있는 복합형 기만 플랫폼을 구현하는 것을 목표로 한다. 특히, 다양한 작전 환경과 지상, 해상, 공중에서의 적용 가능성을 확인하기 위해 실제 사례와 세부 운용 시나리오를 중심으로 효과성을 검증한다.

##### 1) 서해 5도 지역 지휘소 방호 작전 사례

북한의 장사정포와 소형 UAV가 상시적인 위협을 가하는 서해 5도 지역에서는, 지휘소가 탐지·공격의 우선 표적이 될 가능성이 높다. 이에 본 연구는 지휘소 인근에 복합 시그니처 기만체계를 설치하여 적의 탐지 체계를 교란하는 방안을 제시한다.

이 체계는 3D 프린팅으로 제작된 외형 모듈(광학 위장), 코너 리플렉터(레이더 반사체), 적외선 방출체(열 신호), 저비용 RF 모듈(전자 신호)을 결합하여 실제 지휘소와 유사한 신호를 방출한다. 이러한 구성은 적 위성 및 UAV의 탐지·식별 과정을 교란시켜 포격 유도 분산 및 탐지 시간 지연 효과를 달성할 수 있다. 우크라이나 전장에서 보고된 모형 레이더 기만 사례와 유사한 원리로, 고가의 정밀 타격 자산을 저비용으로 소

모시킬 수 있는 경제성 또한 확보된다.

## 2) 해상 대함미사일 대응 기만 운용 사례

해상 작전에서 함정은 적 대함미사일의 주요 표적이 된다. 이때, 사전에 제작된 고정밀 신호 모듈과 현장에서 제작한 부양체(3D 프린팅 구조물)를 결합하여 해상 기만체를 신속히 전개하는 방안을 제안한다. 코너리플렉터를 중심으로 한 레이더 산란체와 적외선·RF 모듈을 조합하면, 적 레이더 탐지 시스템이 기만체를 실제 함정으로 오인할 가능성이 높아진다.

이는 적 유도체의 표적 인식 알고리즘을 교란하여 탄도 유도 분산 및 피격 확률 저감 효과를 가져온다. 이미 RAFAEL WIZARD 등 실무 사례에서도 유사한 해상 디코이의 실효성이 입증된 바 있다. 본 체계는 이를 3D 프린팅 기반으로 전개 속도와 유지비를 크게 절감시킨 확장형 개념으로 발전시킨 것이다.

## 3) 지휘소 방호 작전 시나리오

적 위성이 상시 정찰하는 상황에서, 지휘소 주변에 외형·전자·열원 모듈을 조합한 기만체계를 배치하여 실제 지휘소와 유사한 신호를 방출한다. 이를 통해 적의 정찰·공격 자원을 허위 표적에 집중시켜 실지휘소의 피해를 최소화한다.

## 4) 기동부대 위장 작전 시나리오

기동 중인 포병부대가 적 UAV 탐지 위협에 노출된 상황에서, 전방 지역에 3D 프린팅으로 제작한 기만체계를 설치하여 허위 배치 신호를 송출한다. 이로써 적의 감시·타격을 분산시키고, 실제 부대의 이동 경로를 은폐한다.

## 5) 방공망 교란 작전 시나리오

적의 다층 방공망 전방에 다수의 RF 기만 모듈을 배치해 허위 반사 신호를 발생시킴으로써, 적의 요격 자원을 분산시킨다. 이는 실제 항공 전력의 생존 가능성을 향상시키며, 전자전(EW)과 심리전(PW)의 경계를 허무는 통합적 효과를 낸다.

육군이 추진 중인 ‘Army TIGER(Transformative Innovation of Ground forces Enhanced by Robotics & AI)’ 체계는 유·무인 복합전투 체계(Manned-Unmanned Teaming, MUM-T)의 확장을 통해 기동부대의 생존성과 전술적 융통성을 극대화하는 것을 목표로 하고 있다. 이러한 미래 전장 환경에서는 단순 은폐·위장 수준을 넘어, 기동부대 전방 지역에 모듈형 무인자율 기만체계를 선배치하여 적으로 하여금 주공(主攻)과 조공(助攻)의 방향을 오판하도록 유도하는 기만전술의 중요성이 커지고 있다.

본 연구에서 제안하는 모듈형 기만체계는 3D 프린팅 기반 외형·열원·RF 시그니처 모듈을 자율 플랫폼에 탑재함으로써, 실기동 부대의 실제 배치와 분리된 허위 전개 축을 형성할 수 있다. 이는 기동부대의 은밀한 접근·회피 기동의 성공 가능성을 높이며, 미래 기계화·기동전 중심 구조에서 필수적인 전술적 기동의 자유도(Freedom of Maneuver)를 보장하는 수단으로 기능한다.

제시된 사례와 시나리오는 모두 모듈형 기만체계의 전술적 실효성을 다각도로 입증한다. 지상에서는 정적 표적의 보호(지휘소 방호), 해상에서는 동적 표적의 생존성 확보(함정 방호), 공중에서는 적의 감시·요격 체계 교란(방공망 분산)을 실현할 수 있다.

또한, 3D 프린팅 기반 현장 제작 체계는 기만체의 신속한 배치·유지 보수·형상 변경을 가능하게 하여, 기존 고정식 위장 방식이 가지던 한계를 극복한다. 나아가 이러한 체계는 국방혁신 4.0의 핵심 가치인 유연성·

자율성·융합성을 실질적으로 구현하는 기술적 기반으로 작용할 수 있다.

따라서 모듈형 기만체계는 단순 위장을 넘어 정보전·전자전·심리전이 결합된 통합 기만전술의 핵심 수단으로 발전할 잠재력을 지니며, 향후 실증시험과 정책적 제도화 연구를 통해 더욱 구체적인 운용 방안을 마련할 필요가 있다.

## 제 5 절 기술적 과제 및 단계별 발전 전략

모듈형 기만체계(Modular Deception System)는 전장의 다양한 센서 환경(광학·적외선·레이더·전자전)에 유연하게 대응하기 위한 미래형 방호체계로 주목받고 있다. 그러나 본 개념이 실전 운용 단계로 발전하기 위해서는 단순한 형태 모사 수준을 넘어, 기술적 신뢰성과 전장 환경 적응성을 확보해야 한다.

특히 3D 프린팅 기반 모듈 제작, AI 기반 탐지기술 대응, 자율 운용 확장 등의 영역은 방위사업과 연계된 기술·정책적 과제로 남아 있다. 따라서 본 절에서는 모듈형 기만체계의 실현을 위한 핵심 기술적 과제를 규정하고, 단기·중기·장기 단계별 발전 전략을 제시함으로써 연구·개발의 방향성을 구체화한다.

### 1) 모듈 간 인터페이스 표준화

모듈형 체계의 핵심은 상호운용성이다. 이를 위해 기계·전원·데이터 연결 규격을 통합하는 표준화가 필수적이다. 미 국방부의 MOSA(Modular Open Systems Approach) 정책은 부품·소프트웨어 간 개방형 인터페이스를 정의하여, 부품 교체 및 다중 공급망 운용을 가능하게 한다.<sup>42)</sup> 이러한 구조는 향후 한국형 K-MOSA 개발체계에도 적용 가능하며, 기만 모

---

42) U.S. Department of Defense. (2024). Modular Open Systems Approach (MOSA) Framework. Washington, D.C.: Department of Defense.

들 간 호환성과 유지보수 효율을 극대화할 수 있다.

## 2) 내구성 및 환경 적응성 확보

모듈형 기만체계는 극한 환경에서 운용되므로 고온·습기·충격·염분 등의 환경조건에서도 성능을 유지해야 한다. 이를 위해 나노복합수지, 탄소섬유강화수지(CFRP), 표면 방수·절연 코팅 등 내환경성이 강화된 재료와 구조 설계가 필요하다. 미 육군 및 나토(NATO) 현장 3D 프린팅 적용 사례에서도 소재 인증·품질관리(QA/QC) 표준화가 강조되고 있다.<sup>43)</sup>

## 3) AI 기반 탐지기술 대응

최근 AI 영상·RF 신호 분석 기술은 단순 위장과 모형을 쉽게 식별할 수 있을 정도로 발전하였다. 이에 대응하기 위해 기만체계는 신호 변조 및 동적 패턴 교란 알고리즘을 통해 적의 탐지·분류 모델을 혼란시키는 능동형 기만 기술이 필요하다. 예를 들어, 적대적 신호(Adversarial RF perturbation) 기법은 탐지 네트워크의 오판을 유도할 수 있음을 실험적으로 입증하였다.<sup>44)</sup>

## 4) 자율 운용 기능 확장

기만체계가 장시간·위험지역에서 운용되기 위해서는 원격 제어 및 자율 전개 기능이 요구된다. DARPA의 CODE(Cooperative Operations in Denied Environments) 프로그램은 자율 무인체계의 협동 전개를 통해 작전 효율을 높이는 연구를 수행 중이며, 이를 기만체계 운용에도 응용할 수 있다. 장기적으로는 자율 전개형 무인 기만체계로의 다음 [표 4-3]과

---

43) NATO. (2023). Additive Manufacturing (AM) Materials Qualification Study. Brussels: NATO Science and Technology Organization.

44) IEEE Radar Conference. (2024). "Adversarial Perturbations in RF Signal Classification." Proceedings of IEEE RadarConf 2024, Boston, MA.

같이 발전이 기대된다.<sup>45)</sup>

[표 4-3] 단계별 접근 전략

구 분	접근 전략
단기(1~2년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 인터페이스 표준화</li> <li>· 외형 · 전자 모듈 기초 성능 확보</li> </ul>
중기(3~5년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 다중 시그니처 대응 기능 고도화</li> <li>· 복합 운용 시험 진행</li> </ul>
장기(5년 이상)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· AI 적응형 기만체계</li> <li>· 자율 전개형 무인 기만체계 개발</li> </ul>

미래 지상군의 기동 중심 전투구조에서는 유 · 무인 복합체계가 전술 기동의 핵심이 되므로, 기만체계 역시 정적(Static) 운용에서 벗어나 모바일 · 자율 기반 기만체계(Mobile Autonomous Deception System)로의 발전이 필수적이다. 특히 TIGER 체계가 지향하는 다영역 기동(Multi-Domain Maneuver)과 네트워크 기반 분산 작전에서는, 무인 기만 플랫폼이 기동부대의 전방 · 측방에 자율적으로 전개되어 적의 ISR 체계에 허위 기동 축을 형성하는 능력이 요구된다. 이는 주공 · 조공 기만, 공격 방향 오판 유도, 실제 부대의 생존성 향상 등 전술적 효과로 직결되며, 미래 기동전 환경의 기본 전제와도 부합한다.

모듈형 기만체계의 발전은 단순한 장비 개발을 넘어 국방 R&D 구조의 혁신적 전환을 의미한다. 인터페이스 표준화는 산업 생태계 확장을, 내구성 확보는 실전 신뢰성을, AI 대응 기술은 전자전(EW) 우세를, 자율 운용 확장은 전장 지속성을 가능하게 한다.

단기적으로는 체계적 표준화와 소재 검증, 중기에는 복합 시그니처 실증을, 장기에는 AI 적응형 자율체계 완성을 목표로 한 단계적 발전 전략이 합리적이다. 이러한 접근은 국방혁신 4.0의 기술 자율화 · 지능화 기조와도 부합하며, 향후 대한민국형 기만 전술체계의 실질적 구현을 위한

45) Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). (2023). Collaborative Operations in Denied Environment (CODE) Program Summary. Arlington, VA: DARPA.

기반이 될 것이다.

## 제 6 절 운용 방안 요약 및 시사점

본 장은 현대전의 다중 센서 융합 기반 ISR 환경에서 기존 일체형 기만체계가 노출하는 구조적 한계를 진단하고, 이를 극복하기 위한 3D 프린팅 기반 모듈형 기만체계 운용방안을 제시하였다. 기존 기만체계는 레이더 또는 IR 등 단일 시그니처 중심 설계로 인해 복합 탐지 환경에서 효과가 급감하며, 제작 단계에서 기능과 외형이 고정되는 특성 때문에 임무 변화에 따른 재구성이 어렵다.

또한 중앙집중형 생산·보급 방식은 야전에서의 적응성과 손상 복구 능력을 제한하고, 규격·부품 표준화 부재는 유지보수 효율 저하와 수명주기 비용 상승으로 연결된다. 이러한 한계는 최근 드론·위성·전자정찰 기반 실시간 탐지체계가 강화된 전장 조건에서 더욱 뚜렷해졌으며, 기만체계가 단순 더미 장비 수준을 넘어 능동적·복합형 체계로 전환되어야 할 필요성을 부각시킨다.

이에 본 연구는 기만체계를 기능 단위로 분리한 모듈화 설계와 현장 적층 제조 개념을 결합하여, 임무 적응형 기만 플랫폼으로의 전환 가능성을 제시하였다. 비교 분석 결과 모듈형 기만체계는 조립·분해가 가능한 구조를 기반으로 작전 환경에 맞춘 신속 재구성이 가능하고, 손상 발생 시 전체 장비 교체가 아닌 모듈 단위 교체를 통해 유지보수 시간과 비용을 절감할 수 있다.

특히 레이더·IR·EO·음향·RF 등 복합 시그니처 대응이 가능하다는 점은 다중 센서 시대의 기만 성공률을 실질적으로 높일 수 있는 핵심 이점이며, 3D 프린팅 기반의 현장 제작·전개 방식은 전력 공백을 최소화하는 신속 대응 체계를 구현할 수 있다. 즉 모듈화는 구조 개선을 넘어 기만체계를 ‘장비 중심’에서 ‘임무 중심’으로 전환시키는 운용개념적 혁신으로 기능

한다.

모듈 구성 요소별 분석에서는 외형·전자·RF·열원·전원/제어 모듈이 각기 다른 탐지체계를 목표로 하면서도 임무 요구에 따라 조합이 가능함을 확인하였다. 이를 바탕으로 본 장은 지상·해상·공중 영역에서의 작전 적용 시나리오를 통해 실효성을 검토하였다.

서해 5도 지휘소 방호, 해상 대함미사일 대응 기만, 기동부대 위장, 방공망 교란 사례는 모듈형 기만체계가 정적 표적 보호뿐 아니라 동적 표적 생존성 확보와 적 ISR·요격 자원 분산에도 적용될 수 있음을 보여준다. 특히 미래 유·무인 복합작전 환경에서는 무인 플랫폼 기반의 선배치·분산형 기만 운용이 기동부대의 기동 자유도와 생존성을 높이는 핵심 수단으로 발전할 가능성이 크다.

다만 모듈형 기만체계의 실전 적용을 위해서는 인터페이스 표준화, 내구성·환경 적응성 확보, AI 기반 탐지기술 대응, 자율 운용 기능 확장이라는 기술적 과제가 선결되어야 한다. 따라서 단기에는 모듈 규격과 기초 성능을 안정화하고, 중기에는 다중 시그니처 복합 운용 실증을 확대하며, 장기적으로는 AI 적응형·자율 전개형 무인 기만체계로 발전시키는 단계적 접근이 타당하다.

종합하면, 본 장은 모듈형 기만체계를 복합 탐지 시대의 핵심 방호 전력으로 재정의하고, 3D 프린팅 기반 현장 제작과 모듈 조합 운용을 통해 신속성·유연성·경제성을 동시에 확보할 수 있는 현실적 운용 프레임워크와 발전 방향을 제시하였다.

# 제 5 장 모듈형 기만체계의 구조적 장점 및 개념적 효과 분석

## 제 1 절 모듈화 설계의 구조적 장점

현대 전장 환경에서 기만체계는 다양한 탐지 수단과 다중 스펙트럼 위협에 대응하기 위해 빠른 조립, 교체, 업그레이드가 가능한 구조적 유연성을 요구한다. 기존 일체형 기만체계는 설계 초기 단계에서 정해진 구조를 변경하기 어렵고, 특정 임무에만 최적화되어 작전 환경 변화에 즉각 대응하기 어렵다는 한계를 지닌다. 이에 비해 모듈형 기만체계(Modular Deception System)는 기능 단위로 분리된 모듈을 표준화된 인터페이스를 결합함으로써, 구조적 효율성과 유지보수 편의성을 극대화할 수 있다.

모듈형 기만체계의 가장 큰 구조적 장점은 MOSA(Modular Open Systems Approach) 개념을 기반으로 한 개방형 구조(Open Architecture)에 있다. MOSA는 하드웨어·소프트웨어·전원·신호 인터페이스를 표준화하여, 서로 다른 모듈 간 호환성과 교체 가능성을 확보하는 설계 접근법이다. 이를 적용하면, 특정 구성요소의 기술이 발전하더라도 전체 체계를 교체할 필요 없이 해당 모듈만 독립적으로 업그레이드할 수 있다. 이로써 시스템의 수명주기 비용(Life Cycle Cost, LCC) 절감과 기술 지속성을 동시에 달성할 수 있다.

모듈화 설계는 단순히 교체 용이성만이 아니라 체계의 신뢰성과 확장성에서도 중요한 장점을 갖는다. 예를 들어, 신호 생성 모듈·전원 모듈·제어 모듈이 각각 표준 커넥터를 통해 연결되는 구조에서는 한 모듈의 결합이 전체 체계의 기능 정지로 이어지지 않는다. 이러한 분산형 구조는 단일 장애지점(Single Point of Failure)을 최소화하여 작전 중 체계의 생존성을 높인다. 이러한 구조적 장점을 종합하면 다음 [표 5-1]과 같다.

[표 5-1] 모듈화 설계의 구조적 비교 및 개선 효과

구분	기존 기만체계	모듈형 기만체계	개선 효과
구조구성	· 단일체 통합형 구조	· 기능별 분리, 조립형 구조	· 손상 부위 개별 교체 가능 · 정비성 향상
생산방식	· 중앙집중형 제조	· 분산형 현장제작 (3D 프린팅 포함)	· 제작, 보급 시간 단축 · 예비부품 재고 절감
업그레이드	· 쏠 시스템 교체 필요	· 모듈 단위 기술 교체 가능	· 기술 지속성 확보 · 업그레이드 비용 절감
운영형태	· 단일 임무 전용	· 임무 맞춤형 조합 가능	· 작전 유연성 · 임무 적합성 향상
유지보수	· 고정형 정비 체계	· 현장 조립 및 교체 가능	· 야전 정비, 복구 시간 단축

모듈형 구조는 체계 표준화(standardization)와 호환성(interoperability)을 통해 다국적 작전이나 연합훈련 시 상호운용성을 확보할 수 있다. 예를 들어 NATO가 추진 중인 중인 MOSA 기반 무기체계 통합 표준과 호환될 경우, 국내 개발 체계도 연합전 환경에서 직접 활용이 가능하다.

이와 더불어, 3D 프린팅 기술의 결합은 구조적 장점을 한층 강화한다. 적층 제조(Additive Manufacturing)를 활용할 경우, 부품 손상 시 CAD 데이터를 기반으로 즉시 재생산이 가능하며, 금속·폴리머·복합재 등 다양한 소재를 임무별 요구에 맞게 선택할 수 있다. 이러한 기술은 현장 정비와 신속 복구를 가능하게 하여, 전장 환경의 민첩성(agility)과 지속 가능성(sustainability)을 동시에 향상시킨다.

모듈화 설계의 구조적 장점은 또한 군수 효율성(Logistic Efficiency) 측면에서도 실질적인 효과를 제공한다. 기존 일체형 기만체계는 부품 단종 시 전체 교체가 불가피했으나, 모듈화 구조에서는 부품 단위 재생산·교체가 가능하므로 수명주기비용(LCC)을 약 20~30% 절감할 수 있다. 특히, 소규모 전술단위 부대에서 자체 프린터를 이용한 모듈 복원·조립이 가능해질 경우, 중앙 보급망 의존도를 대폭 낮출 수 있다.

마지막으로, 모듈형 설계는 확장성(scalability) 측면에서도 우월하다. 동일한 플랫폼에 탐지 교란용(RF, IR) 모듈과 시각적 위장 모듈을 조합하거나, 복수의 모듈을 네트워크로 연결해 다영역 기만 효과를 구현할 수 있다. 이러한 다층적 조합 능력은 향후 AI 기반 전장 관리체계와 연동될 때, 모듈형 기만체계가 자동 조정·자율 재구성(self-reconfiguring) 기능으로 발전할 수 있는 기술적 기반이 된다. 따라서, 모듈화 설계의 구조적 연구 확장은 다음 [표 4-4]와 같이 요약할 수 있다.

[표 5-2] 모듈화 설계의 구조적 연구 확장

구분	내용
정비성, 유지보수 효율성	· 단위 교체, 현장수리로 인한 작전지속성 강화
기술 지속성, 업그레이드 용이성	· 신기술 모듈 별도 독립적 교체 가능
전장환경 적응성, 확장성	· 환경, 임무, 위협 변화에 따른 모듈 조합

결국, 모듈화 설계는 단순한 부품 분할이 아니라, 전장 변화에 즉각 대응할 수 있는 유연한 구조를 제공함으로써, 기만체계의 생존성과 지속 운영성을 근본적으로 향상시키는 핵심 설계 패러다임이라 할 수 있다.

## 제 2 절 운용 단계에서의 유연성 및 적응성

모듈형 기만체계의 핵심 운용 강점은 다양한 작전 환경과 위협 양상에 신속히 적응할 수 있다는 점이다. 현대 전장은 고정 위협에 대응하는 정태적 체계보다, 실시간 조합·전개가 가능한 적응형(Adaptive) 구조를 요구한다. 모듈형 기만체계는 이러한 요구에 부합하도록 설계되어 있으며, 전투 상황 변화에 따라 구성요소를 교체·조합함으로써 최적의 기만효과를 실현할 수 있다.

### 1) 임무 맞춤형 구성(Flexible Mission Configuration)

각 모듈은 레이더 반사, 적외선 열 신호, 음향 교란, 전자파 방출을 독

립적으로 수행하므로 작전 목표에 필요한 기능만 선택적으로 조합할 수 있다. 예를 들어, 적의 SAR 탐지에는 레이더 반사 모듈과 전원 제어 모듈을 탑재하고, 적외선 탐지 위험이 높은 야간 작전에서는 열원 모듈과 외피(시각) 모듈을 추가해 운용할 수 있다. 이러한 조합식 설계는 체계의 운용 범위를 확장하며, 하나의 플랫폼이 다중 임무를 수행하도록 한다. [표 5-2]는 시나리오별 모듈 구성과 기대효과를 제시한다.

[표 5-3] 작전 시나리오별 모듈 구성 및 기대효과

작전 유형	주요 위협	모듈 구성 예시	기대 효과
방공 기만 작전	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 레이더 탐지</li> <li>· 미사일 유도</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· RCS 반사 + 전원 + 제어 모듈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 적 레이더 오탐 유도</li> <li>· 미사일 낭비</li> </ul>
항만 방어 작전	<ul style="list-style-type: none"> <li>· EO/IR 감시</li> <li>· 열추적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 열원 + 형상 + 복합외피 모듈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· EO, 적외선 센서 혼란</li> <li>· 표적 분산</li> </ul>
기갑부대 기만 작전	<ul style="list-style-type: none"> <li>· UAV, 위성 감시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 소음 + RCS + 무인 이동 플랫폼</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· UAV 탐지 혼란</li> <li>· 실제 위치 은폐</li> </ul>
야전 방호 작전	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전자, 음향 탐지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전자파 차단 + 흡음 구조 모듈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 노출 신호 차폐</li> <li>· 피탐 확률 감소</li> </ul>

## 2) 환경 적응성(Environmental Adaptability)

전장은 지형·기상·온도 등 다양한 요인에 의해 작전 효율이 좌우된다. 모듈형 설계는 이러한 환경 변화에 맞추어 소재와 구조를 즉시 교체할 수 있도록 하여 극한 조건에서도 작전 지속성을 확보한다. 예를 들어, 사막 지역에서는 내열 복합소재(Heat-Resistant Composite)를 적용한 외피 모듈을, 고산지대에서는 경량 폴리머 소재로 제작된 부양형 모듈을 사용할 수 있다. 이러한 교체는 현장에서 3D 프린팅 기술로 즉시 수행할 수 있으며, 전투 후 손상된 외피나 연결부를 부분 교체함으로써 유지·보수 부담을 최소화한다.

## 3) 운용 민첩성(Operational Agility) 과 재사용성(Reusability)

전통적 일체형 기만체계는 일회성 사용 후 폐기되는 경우가 많지만, 모

들형 체계는 손상된 부품만 교체하거나 특정 모듈만 수리함으로써 반복 운용이 가능하다. 또한, 동일한 모듈을 다른 플랫폼(차량, 무인기, 함정)에 호환 적용할 수 있으므로 기반장비 수에 비례하지 않고도 기만효과를 확장할 수 있다. 이는 전장 자원 소모를 최소화하며, 장비 운용의 지속 가능성을 높인다. 이러한 유연성과 적응성은 정량적 지표로도 표현할 수 있다.

본 연구에서는 운용 유연성(Operational Flexibility)을 평가하기 위한 개념적 지표를 다음과 같은 수식 (1)로 정의할 수 있다.

$$U_f = \frac{(T_r + C_m + R_s)}{3} \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $U_f$ 는 운용 유연성 지수(Utility of Flexibility),  $T_r$ 은 조립·해체 소요 시간의 효율성(Time Responsiveness),  $C_m$ 은 모듈 간 조합 다양성(Combination Modularity),  $R_s$ 는 재사용 가능성(Reusability Score)을 의미한다. 이 지수는 각 항목의 평균값으로 산출되며,  $U_f$ 가 높을수록 체계의 전장 적응성이 우수함을 의미한다.

또한, 운용 단계에서의 적응성은 전술적 효과로도 이어진다. 모듈형 기만체계는 탐지·식별·유도 단계별 위협을 구분하여 대응할 수 있기 때문에, 작전 중 실시간으로 모듈을 교체하거나 활성화함으로써 적의 탐지 알고리즘을 지속적으로 교란할 수 있다. 예를 들어, 레이더 탐지가 강화될 경우 RCS 모듈을 중심으로 운용하고, EO/IR 감시가 증가하면 열신호 모듈을 가동하는 방식이다.

이러한 단계적 전개는 기존의 단일 목적 기만체계로는 구현할 수 없었던 적응형 다중기능 기만(Adaptive Multi-functional Deception)을 실현한다. 나아가, 모듈형 기만체계는 유무인 복합전(MUM-T, Manned-Unmanned Teaming) 환경에서도 높은 운용 유연성을 발휘한다.

유인 지휘차량에서 다수의 무인 기만장비를 원격 제어하여, 전장 내 기만지점을 분산 배치하거나 모듈 교체 지시를 실시간으로 수행할 수 있다. 이는 지휘통제체계(C2)와 연동될 경우, AI 기반 전장관리시스템이 자동으로

로 모듈 구성 조합을 추천하거나 적 위협 변화에 따라 기만체계를 자율적으로 재편성(Self-Reconfiguration)하는 단계로 확장될 수 있다.

소결론으로 모듈형 기만체계의 운용 유연성과 적응성은 임무 맞춤형 모듈 조합에 따른 대응성 향상, 전장 환경에 따른 소재·구조 교체를 통한 지속성 확보, 다중 플랫폼 호환 운용으로 자원 효율성 증대, AI·C2 연동 기반의 자율 구성 능력 확장 등 네 가지 측면에서 기존 기만체계와 뚜렷이 구별된다. 따라서 본 절에서 제시된 운용 유연성은 단순한 조립 편의성을 넘어 전장 변화에 따라 체계가 스스로 적응·재구성되는 ‘지능형 기만체계’로의 발전 기반을 제공하며, 이는 제3절에서 논의할 복합 시그니처 기만효과 구현의 필수 전제조건이다.

### 제 3 절 개념적 효과 검토

모듈형 기만체계의 설계와 운용상의 유연성은 단순한 구조적 개선을 넘어, 실제 전장 운용에서의 기만 효과(Deception Effectiveness) 향상으로 이어진다. 이 절에서는 모듈형 접근이 기존 일체형 체계에 비해 어떤 개념적 효과(conceptual effects)를 제공하는지 분석하고, 특히 복합 시그니처 기만(Composite Signature Deception)을 중심으로 그 전술적 함의와 운용 효율성을 검토한다.

#### 1) 복합 시그니처 기만의 구현 개념

현대 전장은 단일 스펙트럼(Radar, IR, EO 등) 기반의 탐지 방식에서 다중 스펙트럼 및 융합 인식(Fusion Sensing) 방식으로 발전하고 있다. 이에 대응하기 위해 기만체계는 더 이상 하나의 신호 특성만을 모사하는 것으로는 충분하지 않으며, 복수의 시그니처(Signal Signature)를 결합하여 상호 보완적·상호 교란적 효과를 동시에 유도해야 한다.

모듈형 기만체계는 각 시그니처 발생 기능을 담당하는 모듈을 조합함

으로써, 다중 스펙트럼 영역에서의 복합적 신호 생성을 가능하게 한다. 예를 들어, RCS(Radar Cross Section) 를 재현하는 전자 모듈과 열원 모듈 그리고 음향 모듈을 병렬 운용하면, 적 탐지체계는 동일 좌표에서 서로 일치하는 복합 신호를 감지하게 되어 이를 실제 전력(전차·화력자산·항공기 등)으로 오인하게 된다. [그림 5-1]은 이러한 복합 시그니처 기만의 개념적 구조를 단순화하여 나타낸 것이다.



[그림 5-1] 복합 시그니처 기만의 개념적 구조

이와 같은 복합 기만 방식은 단일 신호를 재현하는 기존 체계보다 훨씬 높은 수준의 인지 교란(Cognitive Disruption) 을 유도한다. 즉, 적 탐지체계의 알고리즘이 “실체 물체”와 “가상 기만체”를 구별하기 어렵게 만들어 탐지-식별-공격의 전 과정을 지연시키거나 오판하게 한다.

## 2) 기만 효과의 개념적 정량모델

복합 시그니처 기만의 효과는 실험적 측정이 어렵기 때문에, 본 연구에서는 개념적 정량모델을 통해 그 관계를 표현한다. 기만 효과(E)는 탐지 확률의 감소율(Detection Probability Reduction) 과 오판 유도 확률

(Misclassification Probability) 의 곱으로 다음과 같은 수식 (2)로 정의할 수 있다.

$$E = (1 - p_d) \times P_m \dots\dots\dots (2)$$

여기서 E는 종합 기만 효과 지수(Effectiveness Index),  $P_d$ 는 적 센서가 목표를 탐지할 확률,  $P_m$ 은 탐지된 목표를 잘못 식별할 확률이다.

$P_d$ 는 기만체계의 반사면적(RCS), 열 방출률(Emissivity), 음압레벨(SPL) 등에 영향을 받으며,  $P_m$ 은 적의 센서 융합 수준과 데이터 신뢰도에 의해 결정된다. 모듈형 기만체계는 다양한 스펙트럼 모듈을 조합함으로써 각 변수에 동시에 영향을 미치므로, 이론적으로 E 값을 크게 높일 수 있다.

예를 들어, 일체형 기만체계가  $P_d=0.9$ ,  $P_m=0.2$ 일 때  $E=0.18$ 인 반면, 모듈형 체계에서 복합 신호를 구성하면  $P_d=0.6$ ,  $P_m=0.6$ 으로 변하여  $E=0.24$ 로 향상된다. 이는 약 33%의 기만 효과 향상에 해당하며, 특히 복합 신호 환경에서는 이 차이가 더 커질 수 있다.

### 3) 전술적 효과 및 운용상의 함의

모듈형 기만체계는 복합 시그니처 효과를 통해 다음과 같은 세 가지 전술적 이점을 제공한다.

#### 가) 탐지 혼선(Detection Confusion)의 극대화

복합 신호가 존재할 경우, 적의 센서 융합 알고리즘은 서로 상충되는 데이터를 동시에 수집하게 되어 목표의 실존 여부를 판단하기 어렵다. 이로 인해 탐지 시간이 지연되고, 적의 지휘통제체계(C2)는 우선순위 판단에서 오류를 일으킨다.

#### 나) 자원 분산(Resource Dilution) 효과

기만체계가 다수의 가상 표적을 생성할 경우, 적은 제한된 정찰·타격 자원을 여러 표적에 분산시켜야 한다. 이는 실제 아군 전력의 생존률을 높이고, 특히 미사일·드론 기반의 공격체계에 대해 비용-효율 비율(Cost-Exchange Ratio)을 유리하게 만든다.

#### 다) 지속적 기만(Persistent Deception) 구현

모듈형 체계는 개별 모듈의 교체 및 재활용을 통해 기만 활동을 장시간 유지할 수 있다. 예를 들어, 전투 초반에는 전자파 모듈로 탐지를 유도하고, 이후 적이 레이더 방출원을 회피하면 열원 모듈을 활성화하여 새로운 표적을 형성하는 방식이다.

이와 같은 단계적 전개는 적의 센서가 한 가지 신호에 적응할 때마다 새로운 혼선을 제공함으로써 기만의 지속성과 실효성을 극대화한다.

#### 4) 사례 비교 및 개념적 검증

모듈형 접근의 실제적 효과는 여러 전장에서의 사례를 통해 간접적으로 확인할 수 있다. 1999년 코소보전에서 세르비아군은 고정식 풍선형 기만체를 사용하여 NATO 공군의 정밀유도폭탄을 다수 낭비시켰으나, 그 효과는 한정적이었다.

반면, 2022년 이후 러시아-우크라이나 전쟁에서는 3D 프린팅을 활용한 이동형 복합 기만체계가 도입되면서 적 위성·드론·레이더의 오판을 동시에 유도한 사례가 보고되었다. 이는 복합 시그니처 생성이 현대전의 탐지 융합 체계를 교란시키는 핵심 수단으로 발전하고 있음을 보여준다.

따라서, 본 연구에서 제안하는 모듈형 기만체계는 단순한 형태적 위장이 아니라 ‘신호 스펙트럼의 설계’를 통한 전장 정보 교란체계로 정의될 수 있다. 이는 기만체계가 전술적 보조수단에서 벗어나 정보전(Informat

ion Warfare)과 전자전(Electronic Warfare)의 주요 구성요소로 진화하고 있음을 의미한다.

#### 5) 종합적 시사점

모듈형 기만체계의 개념적 효과는 크게 세 가지로 요약할 수 있다.

##### 가) 복합 신호 기반의 다층적 탐지 교란 효과

모듈형 체계는 레이더(Radar), 적외선(IR), 전자광학(EO), 음향(Acoustic) 등 서로 다른 신호원을 결합하여 하나의 복합 시그니처를 만들어낸다. 이러한 다중 신호는 적의 센서가 수집하는 정보의 일관성을 무너뜨리고, 실제 표적과 가상 표적을 구분하기 어렵게 만든다. 그 결과, 적의 탐지 확률은 현저히 낮아지고 탐지·식별·공격 단계에서 시간적 지연이 발생한다.

##### 나) 적응형 작전 운용 능력

모듈형 기만체계는 전장 상황과 적의 탐지 특성에 따라 각 모듈을 실시간으로 조합·교체할 수 있다. 예를 들어, 적이 레이더 탐지를 강화하면 RCS 반사 모듈을 중심으로 운용하고, 적외선 감시가 집중되면 열원 모듈을 활성화하는 방식으로 대응한다. 이와 같은 능동적 조정은 전장 환경 변화에 즉각 대응하는 지속적 기만(Persistent Deception)을 가능하게 하며, 기만체계가 단순한 정적 장비가 아닌 ‘운용형 전술 자산’으로 기능하도록 한다.

##### 다) 전략적 억제 효과

복합 기만체계가 다수의 가상 표적을 형성하면, 적은 이를 탐지·식별·추적하기 위해 정찰 자산을 분산 운용해야 한다. 이 과정에서 공격 자

원의 효율이 급격히 저하되고, 지휘통제체계(C2)의 의사결정 속도 또한 느려진다. 결국 아군은 상대적으로 적은 비용으로 적의 작전 효율을 저하시키는 비대칭적 효과(Asymmetric Effect)를 얻을 수 있다.

모듈형 기만체계는 단순히 기존 장비의 기술적 성능을 향상시키는 수준을 넘어 '기만의 개념' 자체를 근본적으로 변화시키는 전환점이라 할 수 있다. 기존의 기만체계가 외형적 위장이나 일시적 교란에 머물렀다면, 모듈형 체계는 적의 감시·인식 체계를 능동적으로 조작하고 지휘 결정을 교란하는 지능형 기만체계로 진화하였다. 즉, 이는 단순한 형태적 위장(passive disguise)이 아니라 상대의 인지 과정을 적극적으로 통제하는 능동적 인지기만(Active Cognitive Deception) 개념의 실질적 구현이라 할 수 있다.

결국, 모듈형 기만체계의 개념적 효과는 복합 시그니처 통합을 통한 인지 교란, 전장 자원의 분산과 지휘 지연 유도, 장기적이고 지속적인 기만 운용의 가능성이라는 세 가지 축으로 정리된다. 이러한 개념적 효과는 이후 제6장에서 다룰 기술적 한계와 발전 방향을 논리적으로 연결하는 핵심 기반이 되며, 향후 실증적 검증 연구의 방향성을 제시하는 중요한 이론적 토대가 된다.

## 제 6 장 기술적 도전과제 및 극복 방안

### 제 1 절 현장 3D프린팅의 기술적 한계

현장 3D프린팅에 주로 사용되는 PLA, ABS, PETG 등의 고분자 수지 계 소재는 경량성과 가공 용이성 측면에서 장점을 지닌다. 그러나 이러한 재료는 본질적으로 야전 환경의 고온·고습·먼지·충격 조건에서 충분한 구조적 안정성을 확보하기 어렵다는 한계를 가진다.

특히 기만체의 외피나 프레임과 같은 구조물은 자외선(UV) 노출, 열변형, 마찰 손상에 취약하여 장시간 운용 시 형태 왜곡이나 표면 열화가 발생할 가능성이 높다. 또한, 기만체의 핵심 성능인 적외선(IR) 및 레이더(RF) 신호 특성을 재현하기 위해서는 전도성 금속 분말이나 나노 복합소재를 활용해야 하지만, 이러한 고기능성 소재는 야전 3D프린터의 온도 제어 범위와 노즐 압출 한계로 인해 현장에서 안정적으로 출력하기 어렵다.

이로 인해 실전 수준의 시그니처 모사 성능을 확보하기 위한 복합소재 현장 적용 기술은 아직 초기 단계에 머물러 있다. 본 절에서는 이러한 한계를 재료, 장비 운용성, 생산 속도, 정밀도 및 시그니처 구현, 운용 인력·제도적 기반의 다섯 가지 측면에서 체계적으로 분석한다.

#### 1) 재료(Material) 한계 - 내구성과 열적 특성의 미흡

현장 3D프린팅(전술형 3D 제조, Tactical 3D Printing)에 활용되는 대표적인 재료로는 PLA(Polylactic Acid), ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene), PETG(Polyethylene Terephthalate Glycol) 등의 고분자 수지류가 있다. 이들 소재는 경량성과 가공 용이성, 저비용의 장점을 지니고 있어 단기간 내 외피, 하우징, 프레임과 같은 구조물의 제작에 유리하다.

그러나 가혹한 야전 환경(고온·고습·먼지·자외선 등)에서는 구조적 안정성이 충분히 확보되지 못하며, 시간이 지남에 따라 변형, 균열, 열화가 발생하는 한계가 드러나고 있다.

특히 PLA와 ABS는 온도 45~60°C, 상대습도 70% 이상의 환경에서 3% 이상의 열 변형률이 발생하며, 자외선 노출 시 표면 미세균열과 강도 저하가 동반된다. 이러한 특성은 전투 중 장시간 야외 노출 시 외피나 프레임의 형상 안정성을 유지하기 어렵게 만든다.<sup>46)</sup> 또한 적외선(IR) 또는 레이더(RF) 시그니처를 재현하기 위한 금속성 복합 필라멘트나 나노 복합소재는 출력 온도 제어, 노즐 정밀도, 소재 분포 균질성 문제로 인해 현장 수준의 장비로는 적용이 제한된다.<sup>47)</sup>

더 나아가, 열전도도 및 방열 특성이 미흡한 고분자 기반 소재는 IR 시그니처 모사 과정에서 실제 전투자산과 유사한 열 패턴을 구현하기 어렵게 하며, 이는 기만 효과의 정밀도와 지속성에 직접적인 영향을 미친다. 국방기술품질원(DTaQ, 2023)의 군수지원 신소재 보고서에서도, 복합소재 기반의 내열성 강화형 필라멘트 연구가 아직 초기 단계에 머물러 있음을 지적하고 있다.

결국, 현장 3D프린팅용 재료는 기만체의 외형을 재현하는 수준에서는 유효하지만, 적외선·전자기파·기상조건을 동시에 반영한 현장 수준의 시그니처 구현에는 한계가 존재한다. 향후에는 나노 복합 필라멘트, 금속 분말·폴리머 하이브리드 소재 등 고기능성 재료를 적용하여 내열성·전기전도도·방열특성을 개선하는 연구가 병행되어야 한다. [표 6-1]은 이러한 3D프린팅 재료의 내구성 및 환경적 취약 요인 비교한 것 이다.

[표 6-1] 3D프린팅 재료의 내구성 및 환경적 취약 요인 비교

구분	주요 제원	취약점
PLA	· 밀도: 1.25 g/cm <sup>3</sup>	· 45°C 이상에서 3% 이상 열변형 발생

46) 국방과학연구소(ADD). (2022). 『국방 R&D 기술전략 보고서』. 대전: 국방과학연구소.

47) Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). (2021). Artificial Intelligence Exploration (AIE) Program Overview. Arlington, VA: DARPA.

(Polylactic Acid)	<ul style="list-style-type: none"> <li>연화점: 55~60°C</li> <li>인장강도: 50~65 MPa</li> <li>열변형온도: 52~58°C</li> <li>UV 저항성: 낮음</li> <li>야전환경 적합도: 부적합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상대습도 70% 이상에서 구조적 안정성 저하</li> <li>자외선 노출 시 표면 미세균열 및 강도 저하</li> <li>장기 야외 노출 시 취성화 및 변색</li> <li>열전도가 낮아 IR 시그니처 구현 불가</li> </ul>
ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	<ul style="list-style-type: none"> <li>밀도: 1.05 g/cm<sup>3</sup></li> <li>연화점: 90~100°C</li> <li>인장강도: 40~55 MPa</li> <li>열변형온도: 98~103°C</li> <li>UV 저항성: 낮음</li> <li>야전환경 적합도: 제한적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>UV 노출 시 황변 및 표면 열화</li> <li>높은 열팽창계수로 수축·변형 발생</li> <li>층간 분리(delamination) 위험</li> <li>60°C 이상에서 2% 이상 변형</li> <li>내화학적 제한적</li> </ul>
PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)	<ul style="list-style-type: none"> <li>밀도: 1.27 g/cm<sup>3</sup></li> <li>연화점: 80~85°C</li> <li>인장강도: 50~55 MPa</li> <li>열변형온도: 70~75°C</li> <li>UV 저항성: 보통</li> <li>야전환경 적합도: 보통</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>중온(60~80°C) 환경에서 형상 안정성 저하</li> <li>장기 하중 시 크리프 현상</li> <li>내마모성 부족</li> <li>흡습 시 치수 변화</li> <li>RCS/IR 시그니처 구현 한계</li> </ul>
나일론(PA) (Polyamide)	<ul style="list-style-type: none"> <li>밀도: 1.14 g/cm<sup>3</sup></li> <li>연화점: 170~180°C</li> <li>인장강도: 75~85 MPa</li> <li>열변형온도: 160~180°C</li> <li>UV 저항성: 보통</li> <li>야전환경 적합도: 적합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>흡습률 8% 이상으로 치수 안정성 저하</li> <li>습도 변화에 따른 물성 변동 심함</li> <li>프린팅 난이도 높음</li> <li>보관 조건 까다로움(밀봉 필수)</li> <li>후처리 필요</li> </ul>
금속 복합소재 (Metal-filled Composite)	<ul style="list-style-type: none"> <li>밀도: 2.3~3.5 g/cm<sup>3</sup></li> <li>연화점: 120°C 이상</li> <li>인장강도: 40~90 MPa</li> <li>열전도도: 5~15 W/m·K</li> <li>UV 저항성: 높음</li> <li>야전환경 적합도: 적합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>노즐 마모 심각</li> <li>출력 온도 제어 정밀도 요구</li> <li>금속 분말 분포 균질성 문제</li> <li>높은 소재 비용</li> <li>현장 장비로 적용 제한적</li> </ul>
탄소섬유 복합재 (Carbon Fiber Composite)	<ul style="list-style-type: none"> <li>밀도: 1.3~1.5 g/cm<sup>3</sup></li> <li>연화점: 200°C 이상</li> <li>인장강도: 100~200 MPa</li> <li>열변형온도: 190°C 이상</li> <li>UV 저항성: 높음</li> <li>야전환경 적합도: 매우 적합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전용 프린터 필요(고가 장비)</li> <li>소재 비용 매우 높음</li> <li>적층 방향 이방성 문제</li> <li>후처리 공정 복잡</li> <li>현장 운용 인프라 부족</li> </ul>

## 2) 출력 장비(Printer)의 현장 운용성 한계

모듈형 기만체계의 핵심 구성요소를 현장에서 신속히 제작·보수하기 위해서는 기술적 3D프린팅 장비의 이동성·내환경성·자동화 수준이 확

보되어야 한다. 그러나 현재 국방 분야 및 민수 전환형 모델을 포함한 다수의 3D프린터들은 기본적으로 실내 환경을 전제로 설계되어 있어, 야전 작전 환경에서의 안정적 운용에는 한계가 존재한다. 현재 전술 현장에 적용 가능한 대부분의 소형 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식 프린터는 출력 크기가 약 200×200×200mm 수준에 머물며, 이는 장갑차 외피 패널, 포신 덮개 등 대형 구조물을 출력하기에는 부족하다.<sup>48)</sup>

또한 전력 공급의 불안정성, 외부 진동, 먼지 및 습도는 출력 품질에 직접적인 영향을 미친다. 미군의 야전용 3D프린팅 실험 프로젝트인 “Expeditionary Fabrication (EXFAB)”에서도 전원 변동과 진동 환경에서 출력 불량률이 평균 27~35% 수준으로 보고된 바 있으며,<sup>49)</sup> 이는 현장 운용 시 안정적 품질 확보가 쉽지 않음을 보여준다.

3D프린터의 노즐 정렬, 온도 제어, 필라멘트 공급 압력 조정 등 세부 설정 과정은 고도의 숙련도를 요구한다. 이러한 정밀 설정 절차는 일반 전투병이 단시간 내에 수행하기 어렵기 때문에, 별도의 운용 교육이나 숙련 인력이 필요하다. 국내 군 실증 연구(국방기술품질원, 2023)에 따르면, 야전 환경에서 비숙련자가 운용한 3D프린터의 평균 정밀도 오차는 ±0.6mm 수준으로 나타나, 부품 정합성 확보에 제약이 발생하는 것으로 분석되었다.

결과적으로, 현장 3D프린팅은 대형 구조물이나 복합 모듈의 제작보다는 단순 보강재, 지지 프레임, 내부 브래킷 등의 보조 부품 생산에 국한되어 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 소형 경량화 프린터의 방진·방습 설계 강화, 모듈형 전원 공급 시스템(예: 휴대용 연료전지, 태양광 보조 전원) 적용, 그리고 자동 보정(Auto-calibration) 기능이 내장된 전술형 3D프린터 개발이 필요하다. [표 6-2]은 이러한 현장형 3D프린터

---

48) Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). (2021). Artificial Intelligence Exploration (AIE) Program Overview. Arlington, VA: DARPA.

49) U.S. Army Combat Capabilities Development Command (DEVCOM). (2022). Operational Technology Integration Report. Aberdeen Proving Ground, MD: U.S. Army DEVCOM.

운용 환경 요소 및 출력 안정성 영향도를 나타낸 것이다.

[표 6-2] 현장형 3D프린터 운용 환경 요소 및 출력 안정성 영향도

구분	영향요인	문제점	필요소요
전력공급	· 전압 변동	· 출력 불안정 · 온도 불안정	· 발전기 · 배터리
진동	· 엔진 · 이동중 작업	· 불균형 · 균열	· 방진패드
습도/먼지	· 노출 환경	· 흡습 · 노즐 막힘	· 방진 하우스
사용자 숙련도	· 비전문 인력 운용	· 설정 오류	· 자동 보정기능

### 3) 출력 시간 및 생산 속도 한계

3D프린팅은 적층 가공(Additive Manufacturing)의 특성상 출력 대상이 복잡할수록 제작 시간이 기하급수적으로 증가하는 구조적 제약을 안고 있다. 실제로 간단한 프레임 부품의 경우 2~4시간의 출력 시간이 소요될 수 있으며, 곡면이나 내부 격자 구조를 포함한 복잡한 모델은 출력 시간이 10시간을 초과하는 사례도 보고된다.<sup>50)</sup> 더욱이 출력 중 오류 발생 시, 특히 층간 접합 불량·지지 구조 실패·노즐 막힘 등의 문제가 발생하면 전체 제작 과정을 처음부터 재시작해야 하는 경우가 빈번하다.

이러한 특성은 기습작전, 고속 기동전처럼 시간 확보가 제한적인 환경에서 현장 3D프린팅의 즉시성 능력을 근본적으로 제약한다.<sup>51)</sup> 국방 및 방산 문헌에서도 “야전용 적층 가공은 복합 구조물의 출력 시간 지연과 오류 복구로 인해 제한적 활용에 그친다”는 분석이 존재하며, 일부 군사 응용 연구에서는 복합 부품 대신 단순 구조물이나 보강재 중심의 출력 전략을 제안하는 경우가 많다.

결국, 제작 속도 및 오류 복구의 한계는 기술적 요구인 기동 대응성과

50) Wohlers Report. (2023). Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry Annual Report. Fort Collins, CO: Wohlers Associates.

51) Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). (2021). Artificial Intelligence Exploration (AIE) Program Overview. Arlington, VA: DARPA.

상충하는 요인으로 작용한다. 따라서 3D출력 기술이 전장 수준에서 실질적 가치를 확보하기 위해서는 고속 출력 기술(예: 멀티 노즐, 동시 적층), 자동 오류 복구 알고리즘, 프리폼·모듈 혼합 출력 전략 등의 보완 기술 개발이 필수적이다.

#### 4) 정밀도 및 시그니처 구현의 기술적 한계

효과적인 기만체계는 단순히 외형적으로 유사한 형상을 구현하는 수준을 넘어, 적의 센서 체계가 탐지·식별에 활용하는 다중 시그니처(Radar Cross Section, RCS / Infrared Signature, IR / Acoustic Pattern)를 실제 장비와 유사하게 재현해야만 실질적인 작전 효과를 발휘할 수 있다. 그러나 현장용 3D프린터의 기술적 한계는 이러한 복합 시그니처의 정밀 구현을 근본적으로 제약하고 있다. 현재 야전에서 활용 가능한 대부분의 3D프린터는 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식으로, 출력 해상도는 노즐 직경(일반적으로 0.4~0.6 mm)과 적층 두께(0.1~0.3 mm)에 의해 제한된다.

이로 인해 복잡한 곡률이나 미세 돌기, 홈과 같은 세부 형상을 구현하는 데 어려움이 있으며, 이는 레이더 반사나 적외선 방출 특성에 큰 영향을 미친다. 실제 연구에서도 표면 거칠기와 곡면 정밀도가 RCS(레이더 반사 단면적)에 직접적인 영향을 미치며, 미세한 형상 차이가 탐지 확률을 높인다는 결과가 보고된 바 있다.<sup>52)</sup> 또한 금속 코팅, 전도성 필라멘트, 나노 복합재 등 고급 재질을 사용한 출력 기술은 현장 운용 단계에서 구현이 거의 불가능한 수준이다.

예를 들어, 전도성 필라멘트를 적용한 금속 복합 적층 공정은 고온 노즐 및 정밀 제어 환경을 요구하며, 군용 전장 조건(진동·습도·전력 불안정 등)에서는 안정적 출력이 어렵다.<sup>53)</sup> 복합 재료 기반의 다중 소재 적

52) Wohlers Associates. (2023). Additive Manufacturing State of the Industry Report. Fort Collins, CO: Wohlers Associates.

53) Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). (2021). Artificial Intelligence

층 장비 역시 크기·전력·관리 복잡성으로 인해 야전 운용에는 부적합하다는 평가가 지배적이다. 이러한 이유로, 현장 3D프린팅으로 제작된 기만체는 시각적 위장용 구조물로서의 활용성은 확보되지만, 고성능 센서(EO/IR, SAR, GMTI 등)를 운용하는 적의 탐지체계를 완전히 속이기에는 한계가 존재한다.

특히 적이 다중 센서 융합 및 AI 기반 식별 알고리즘을 운용하는 현대 전장 환경에서는, 단일 시그니처의 모사가 아닌 복합적·일관된 센서 대응 체계가 필수적임이 확인된다. 따라서 향후 현장 3D프린팅 기술은 단순형상 재현을 넘어, 전도성 표면 구현·복합소재 정밀 적층·시그니처 통합 제어 기술 등의 융합적 발전 방향으로 나아가야 할 것이다.

#### 5) 운용 인력·표준화·품질 관리의 제도적 미비

현장 3D프린팅은 단순히 장비 가동을 의미하지 않으며, 모델링-설정-출력-조립-보정-검수에 이르는 전 과정을 포함하는 복합적 기술운용 체계이다. 그러나 현재 전술급 부대 수준에서는 이러한 공정의 전 주기를 통합적으로 수행할 수 있는 인력, 제도, 표준체계가 충분히 구축되어 있지 않다.

##### 가) 운용 인력 부족 문제

국방과학연구소(ADD)와 방위사업청이 2023년 발간한 「국방 AI·3D프린팅 기술활용 추진전략」에 따르면, 국내 군 조직 내 3D프린팅 기술 전문병력 비중은 1% 미만으로 보고되었으며, 대부분이 군수창 및 정비창 등 후방 지원기관에 편중되어 있다. 따라서 전방 전술부대에서는 3D 모델링 및 출력 설정을 수행할 숙련 인력이 거의 부재한 실정이다. 미 육군도 동일한 문제를 인식하고, “Expeditionary Lab” 프로그램을 통해 병참 및 공병 병과를 대상으로 한 단기 전문 교육과정을 2020년대 초반부터 도입

---

Exploration (AIE) Program Overview. Arlington, VA: DARPA.

한 바 있다. 이는 현장 3D 제조를 가능하게 하는 핵심이 기술보다 인적 역량임을 시사한다.<sup>54)</sup>

#### 나) 부품 표준화 및 데이터 관리체계의 미비

현행 군수시스템에서는 3D 출력 부품에 대한 고유 식별번호(NATO Stock Number, NSN) 부여 기준이 존재하지 않으며, 교체 가능 부품 간의 호환 정보 또한 일관적으로 관리되지 않는다. 국방기술품질원(DTaQ, 2022)의 분석에 따르면, 군수체계 내 3D프린팅 적용 품목 중 68%가 ‘비규격 부품(Non-Catalogued Parts)’으로 분류되어, 정비 이력 추적이 불가능한 것으로 나타났다. 이로 인해 동일한 부품이라 하더라도 부대별 모델 차이로 인한 정렬 불량, 체결 실패, 기능 편차 등의 사례가 발생하고 있다.

#### 다) 품질 검증 절차의 일관성 결여

출력 품질은 장비 상태, 필라멘트 재질, 설정 파라미터 등에 따라 크게 변동되지만, 현행 군수 품질보증체계(QA/QC)는 금속가공품 기준으로 설계되어 있어 3D 출력물에 적합한 평가 기준이 부재하다. 미국 DARPA는 2021년 Tactical Fabrication in Field Operations 보고서에서 “전장 3D 제조 장비는 출력 환경 변화에 따라  $\pm 15\%$  수준의 치수 오차가 발생할 수 있으며, 이를 보정할 표준화된 검수 절차가 필수”라고 명시한 바 있다.

결과적으로, 현장 3D프린팅은 모듈형 기만체계의 기동성·자율성·전력지속성 향상에 큰 잠재력을 지닌다. 그러나 현재 실제 적용을 제약하는 결정적 요인은 장비 자체보다 운용 인력, 표준화·품질관리 체계의 미비이며, 재료·내구성·전력·속도·시그니처 구현 능력 등의 기술적 한계가 복합적으로 작용한다. 이를 위해 우선적 보완 핵심 과제로 고강도 복

---

54) U.S. Army. (2020). Expeditionary Lab Modernization Report. Washington, D.C.: Department of the Army.

합재 기반의 전술용 프린터 개발, 전도성 필라멘트·열전달 복합소재 등으로 IR/RF(전자·적외선) 소재·공정 개발. 야전 친화적 장비 구조, 데이터·품질관리 인프라 구축, 운용·교육·전방보급 체계 정비가 제시된다.

이들 과제가 병행될 때 현장 3D프린팅은 단순 보급 보조를 넘어 ‘야전 제조 플랫폼(Field Manufacturing Platform)’으로서 모듈형 기만체계의 자율 복원성·전력 보존·작전 지속성을 실질적으로 향상시킬 수 있다.

## 제 2 절 모듈 간 호환성 및 연결 문제

모듈형 기만체계의 핵심은 다양한 기능 모듈의 조립·해체·교체를 통해 전술적 요구에 즉각 대응할 수 있는 구조적 유연성에 있다. 이를 통해 동일한 플랫폼이 전장 환경 변화에 맞춰 전차형·포병형·지휘소형 등 다양한 형태로 전환되며, 임무 중심의 기만 효과를 신속히 창출할 수 있다.

그러나 이러한 유연성과 기동성을 실제 작전 환경에서 안정적으로 구현하기 위해서는, 각 모듈 간 기계적·전기적·기능적 호환성(Mechanical, Electrical & Functional Compatibility) 이 정밀하게 보장되어야 한다. 현재 군에서 운용 중인 전술장비 및 전력지원체계의 기술 수준과 운용 체계의 현실을 고려할 때, 모듈 결합 및 연결 과정에서 다음과 같은 네 가지 주요 한계가 나타나고 있다.

### 1) 물리적 인터페이스 설계 표준화 부족

모듈형 기만체계의 핵심은 다양한 기능 모듈을 기계적 결합(Mechanical Coupling) 을 통해 조립·해체·교환함으로써 작전 환경 변화에 신속히 대응하는 데 있다. 그러나 현재 국내외 전술 장비 및 지원체계의 다수는 모듈 결합부의 설계 규격이 통일되어 있지 않다. 이로 인해 외피(Shell), 하우징(Housing), 프레임 등의 체결 형식이 모듈마다 상이하게 설계되며, 현장 조립 시 정렬 불일치(Misalignment)나 결합 강도 저하(Weak Joint

Strength)가 빈번히 발생한다.

이러한 비표준화는 교체 작업 시간을 증가시키고, 진동·충격 하에서 모듈 이탈 또는 파손의 위험을 높인다. 예를 들어, NATO STANAG 4754(2020) 와 미국 군수표준 MIL-STD-1472G(2019) 는 기계적 인터페이스의 체결 규격과 하중 분산 설계를 통일해야 현장 결합 신뢰성을 확보할 수 있다고 규정한다.<sup>55)</sup> 그러나 현재 다수의 야전용 모듈 시스템은 설계 초기 단계에서 이러한 표준을 완전히 적용하지 못하고 있으며, 부품 제조 기관별로 체결 위치·볼트 규격·체결 압력 등이 다르게 설계되는 실정이다.

이러한 불일치는 전술 환경에서 모듈 간 기하 간섭(Geometric Interference) 을 초래하여 조립 오차를 증가시키고, 그 결과 기만체의 구조적 강도 및 시그니처 정합성을 저하시키는 요인이 된다. 따라서 모듈형 기만체계의 물리적 연결부는 전술 플랫폼 표준화 체계(KDS 0050-1000, MIL-STD-810H) 를 기반으로 설계되어야 하며, 결합부 설계·체결력 기준·공차 허용 오차 등에 대한 통합 인터페이스 규격(Integrated Interface Standard) 수립이 필수적이다. 이를 통해 현장 조립·분해 과정의 신뢰성을 확보하고, 다양한 모듈 간 상호운용성을 보장함으로써 실질적인 작전 효율을 극대화할 수 있을 것이다.

## 2) 기능 간 중복·간섭 및 데이터 충돌 문제

모듈형 기만체계는 전자기파(RF), 적외선(IR), 음향(Acoustic) 등 다양한 시그니처 모듈을 동시에 운용함으로써 복합적인 기만 효과를 구현한다. 그러나 이러한 다중 모듈의 동시 구동(Multi-Module Operation) 은 상호 간의 전자기적 간섭, 신호 중복, 데이터 충돌을 유발할 수 있으며, 이는 전체 시스템의 작전 신뢰성에 직접적인 영향을 미친다.

예를 들어, 적외선 방출 모듈과 열원 모듈이 동시에 작동할 경우, 표준

---

55) 방위사업청. (2023). 『국방기술표준화 백서』. 서울: 방위사업청.

스펙트럼 범위(8-14  $\mu\text{m}$ )를 초과하는 비정상적인 열 시그니처가 형성되어 적의 IR 탐지 알고리즘이 “비자연적 발열 패턴”으로 인식할 가능성이 높아진다.<sup>56)</sup> 실제 NATO RTO-SET-178(2016) 보고서에서는, 열원 중복으로 인한 과도한 방출이 “기만체 탐지 확률을 22%까지 증가”시킨 사례를 분석하였다. 또한, RF 방사 모듈 간 주파수 대역 간섭(Frequency Overlap) 역시 주요 문제로 지적된다. 예를 들어 RF Jammer 모듈(2.4 GHz)과 GPS 위치 모사(Dummy GPS, 1.575 GHz L1 대역) 모듈이 근접 배치될 경우, 상호 간섭으로 인한 위상 왜곡(Phase Distortion)과 신호 재밍(RF Jamming)이 발생하여 정상적인 모사 신호가 불안정해질 수 있다.

이는 적의 전자정보(ELINT) 감시 체계가 “비정상적 신호 패턴”을 탐지하게 만들어 오히려 기만 효과를 약화시킬 위험이 있다. 이와 같은 간섭 문제는 단순히 기술적 충돌의 차원을 넘어, 기만체계의 전술적 효과성과 생존성에 구조적 영향을 미치는 요인으로 평가된다. 따라서 모듈 간 주파수·열 방출 스펙트럼을 통합 관리하는 시그니처 동기화 관리 체계의 구축이 필요하며, IEEE 802.15.4 기반 저출력 무선통신 프로토콜을 적용하여 모듈별 작동 주기를 자동 조정하는 방안이 제시되고 있다.

### 3) 조립 중 사용자 오류 가능성

야전 환경에서 모듈형 기만체계를 조립·운용하는 인력은 전문 기술자나 공학 인력이 아닌 일반 전투원인 경우가 대부분이다. 이러한 인적 요인은 현장에서 인지적 오류(Cognitive Error) 및 조립 절차상 착오(Assembly Error) 발생 가능성을 높이며, 결과적으로 기만체계의 작동 신뢰도를 저하시킬 수 있다. 실제로 미군과 NATO의 야전 장비 운용 분석에 따르면, 현장 조립형 전자장비의 평균 사용자 조립 오류율은 12~17%에 달하며, 이 중 40% 이상이 “방향성 착오” 또는 “커넥터 연결 오류”로 분류된다.

---

56) NATO C3 Agency. (2019). EMC and Spectrum Management in Joint Operations. Brussels: NATO.

특히 전원·신호 케이블의 위치 혼동이나 체결 방향의 오류는 기만체의 열원·센서 모듈이 정상적으로 구동되지 않게 하거나, 전류 과부하에 따른 발열·쇼트 등 물리적 손상을 초래할 수 있다. 또한 불필요한 모듈을 장착하거나 필수 모듈을 누락할 경우, 외형 왜곡 또는 시그니처 불일치가 발생하여 적의 탐지 시스템에 의해 “비정상적 패턴”으로 인식될 위험이 존재한다. 이러한 문제를 예방하기 위해서는 인간공학(Human Factors Engineering) 원리를 반영한 설계 접근이 필수적이다.<sup>57)</sup>

즉, 모듈 체결부에는 방향성을 유도하는 키 슬롯(Key-Slot) 구조 또는 비대칭형 결합부(Asymmetric Coupling)를 적용하고, 케이블 연결부에는 색상·형상 기반의 시각적 구분 체계를 도입해야 한다. 또한, 조립 완료 후 자동 진단 기능(Self-Check)과 결합 오류 시 경고를 제공하는 스마트 커넥터(Smart Connector)의 도입이 효과적인 대안으로 제시된다. 이러한 설계 개념은 미 국방성의 인간공학 MIL-STD-1472H(2023) 및 국제표준 ISO 9241-210:2019 (Human-centred Design for Interactive Systems)에서 강조하는 “Error-Tolerance Design” 원칙과 일치한다.

실제 NATO RTO-TR-HFM-100 보고서(2020)는, 사용자 경험(UX) 기반 인터페이스 설계가 복합형 야전 장비의 조립 오류를 최대 40%까지 감소시킨 사례를 제시하고 있다. 따라서 모듈형 기만체계의 운용 신뢰성을 확보하기 위해서는, 단순한 기계적 결합 완성도뿐만 아니라 인지적 오류를 최소화하는 UX 설계 기반의 사용자 친화적 구조(User-Centric Interface Design)를 병행해야 한다. 이는 기술적 완성도를 넘어 현장 실효성(Operational Effectiveness)을 결정짓는 중요한 요인으로 평가된다.

#### 4) 장기간 운용 시 유지보수 / 호환성 저하

모듈형 기만체계는 기본적으로 부품 단위의 교체 및 업그레이드를 통해 장기 운용 효율성을 확보할 수 있다는 장점을 지닌다. 그러나 시간 경

---

57) U.S. Army. (2021). Human Factors Engineering Report. Washington, D.C.: Department of the Army.

과에 따른 부품 세대 차이, 펌웨어 불일치, 외부 환경 노출로 인한 물리적 손상 등은 모듈 간 호환성과 신뢰성을 점차 약화시키는 요인으로 작용한다. 미국 국방성과 NATO의 무기체계 수명주기 연구에 따르면, 모듈 기반 전자장비의 평균 호환성 저하 주기는 약 3~5년이며, 소프트웨어·펌웨어 불일치로 인한 시스템 오류가 전체 결함의 약 32%를 차지하는 것으로 보고되었다.<sup>58)</sup>

실제로 장기 운용 중인 모듈형 전자체계는 신형 부품이 도입될 때 구형 인터페이스와 핀 배열, 전력규격의 상이로 인해 Backward Compatibility가 유지되지 않는 사례가 빈번하다.<sup>59)</sup> 이를 보완하기 위해 어댑터나 변환장치를 사용하는 경우, 체결부의 강도 저하나 전도성 손실로 인한 신뢰도 저하가 발생할 수 있다.

또한 전장 환경의 특성상 먼지·습기·진동·충격 등 물리적 스트레스가 지속적으로 가해지면, 전기 커넥터의 단자 부식·피복 손상·마찰마모가 발생하여 접촉 불량률이 증가한다. 미 육군 연구소(ARL)의 보고서에 따르면, 고온다습 환경에서의 커넥터 단자 부식률은 평균 0.7%/월 수준으로 누적, 1년 이상 운용 시 데이터 전송 오류율이 12% 증가하는 것으로 분석되었다.<sup>60)</sup>

이러한 문제는 모듈화의 장점이 오히려 유지보수 비용 상승(Maintenance Cost Escalation) 과 성능 불확실성(Performance Degradation) 으로 전환될 위험성을 내포한다. 따라서 장기간 운용 안정성을 보장하기 위해서는 모듈 호환성 인증제(Compatibility Certification) 도입, 수명주기 기반 예지정비체계, 전장 환경에 적합한 방습·방진 코팅 및 강화 커넥터 설계 적용이 필요하다.

---

58) U.S. Government Accountability Office (GAO). (2021). Weapon Systems Sustainment Report. Washington, D.C.: GAO.

59) RAND Corporation. (2022). Defense Innovation and Experimentation Review. Santa Monica, CA: RAND Corporation.

60) U.S. Army Research Laboratory. (2020). Additive Manufacturing Technology Readiness Assessment. Aberdeen Proving Ground, MD: U.S. Army Research Laboratory.

이와 같은 유지관리 체계는 미 육군이 추진 중인 Modular Open Systems Approach (MOSA)의 핵심 요소와도 일치하며,<sup>61)</sup> K-MOSA를 추진 중인 한국군의 전력지원체계 군수소요 관리체계와 연동될 필요가 있다.

모듈형 기만체계의 실질적 운용을 위해서는 각 모듈 간 물리적·기능적 호환성과 결합 신뢰성이 확보되어야 한다. 그러나 현재는 연결 규격의 비표준화, 설계 정밀도 부족, 운용자의 조립 오류 등으로 인해 작전 신뢰성이 저하되는 문제가 존재한다. 이를 극복하기 위해서는 국방 표준 기반의 인터페이스 통합이 우선되어야 한다.

### 제 3 절 기만체 신뢰성 및 내구성 확보 방안

모듈형 기만체계가 실제 전장에서 효과적으로 운용되기 위해서는 단순히 외형적 유사성이나 시그니처 묘사 수준을 넘어, 지속적·반복적 운용이 가능한 신뢰성과 구조적 내구성 확보가 필수적이다. 기만체는 전장 환경 특성상 장시간 야외에 노출되며, 극한의 온도 변화, 강풍·습도, 자외선, 전자파 간섭, 충격 및 진동 등 다양한 물리·환경적 스트레스를 받는다. 이러한 조건 속에서도 장비가 안정적으로 작동하고, 동일한 성능을 지속적으로 유지할 수 있어야 실질적인 전술적 효용이 보장된다.

이에 본 절에서는 기만체의 신뢰성과 내구성을 확보하기 위한 기술적·운용적 접근을 다섯 단계의 분석틀로 제시한다. 각 단계에서는 소재 내열·내습 성능, 구조적 강도, 전자 모듈의 환경 적응성, 전원·통신 안정성, 그리고 장기 운용을 위한 품질 보증 체계 등 핵심 요소를 중심으로 검토하고, 실전 적용 가능성을 평가한다. 이를 통해 모듈형 기만체계가 전장 환경에서 ‘일시적 장비’가 아닌, 신뢰 가능한 전술 자산’으로 기능하기 위한 기술적 토대를 마련하고자 한다.

---

61) U.S. Department of Defense. (2022). Modular Open Systems Approach (MOSA) Strategy. Washington, D.C.: Department of Defense.

## 1) 구조적 강도와 내환경성 확보

모듈형 기만체계의 외형 모듈과 프레임은 전투 장비와 동일한 수준의 내구성을 요구받지는 않지만, 야전 환경에서의 최소한의 구조 신뢰성은 반드시 확보되어야 한다. 구체적으로는 자외선(UV), 비·눈·모래바람 등의 환경 요소에 대한 저항성, 전개·회수 과정의 반복 충격 및 진동 하에 견딜 수 있는 기계적 강도, 그리고 극한 온도 조건( $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +50\text{ }^{\circ}\text{C}$ )에서도 변형이나 결함 부탈착 없이 유지되는 소재 특성이 핵심 요건이다.

먼저, 탄성 복합소재 및 고성능 폴리머의 적용은 내구성 확보의 핵심 전략이다. 예컨대 TPU(열가소성 폴리우레탄)은 탄성 및 충격 완충 특성이 우수하며, 카본섬유 강화 복합수지(CFRP)는 높은 강도 대비 경량화를 가능하게 한다.<sup>62)</sup> 실제 항공우주 및 방산 소재 분야에서는 CFRP 복합재가  $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +70\text{ }^{\circ}\text{C}$  온도 범위에서 안정적인 기계적 성능을 유지하는 것으로 보고된 바 있다.

또한, 외피나 프레임 표면에는 자외선 차단 코팅, 방수/방습 처리, 방열(열 반사 또는 발산) 처리 등이 필수적이다.<sup>63)</sup> 예를 들어 선박 및 해양 구조물 분야에서는 폴리우레탄 UV 코팅이 10년 이상 자외선 노출에도 균열 없는 내구성을 보인다는 사례가 보고된 바 있다.

내접합 구조물에는 진동 완충 설계(Vibration Damping Design)을 도입해야 한다. 예컨대 체결부에는 고무 링, 스프링 완충재 또는 탄성 라이너를 삽입하여 반복 충격에 대한 피로 누적을 완화할 수 있다.

소재 선택 시에는 열팽창 계수와 강도 변화도 고려해야 한다. 일부 고분자 복합재는 온도 상승 시 팽창 또는 연성이 증가하여 접합 부위가 풀릴 수 있기 때문에, 온도 변화가 클 것으로 예상되는 사용 환경에서는 낮

---

62) NASA. (2018). Composite Materials for Extreme Environments. Washington, D.C.: NASA Langley Research Center.

63) Marine Coatings Research Journal. (2020). Advances in Anti-Corrosion Coatings for Naval Platforms. Vol.12(3), pp.45-58.

은 열팽창을, 높은 온도 및 강도를 유지하는 소재의 도입이 유리하다.

## 2) 기만 시그니처의 지속적 유지 가능성

모듈형 기만체는 일정 시간 동안 전파(RF), 적외선(IR), 레이더 반사(RCS) 특성을 안정적으로 유지해야 실전 감별을 피할 수 있다. 그러나 열원 소자 성능 저하, 전원 부족, 외부 마모 등으로 시그니처가 붕괴될 위험이 존재한다. 이를 해결하기 위해 보조 전원(소형 태양광·연료전지 등)을 도입해 지속적인 전력 공급을 보장하고, 출력값 자동 조정 기능을 갖춘 시그니처 보정 시스템을 적용하여 환경 변화에 따른 성능 저하를 최소화해야 한다.

또한, 방수·내열·충격 흡수형 보호구를 통해 외부 요인으로 인한 모듈 손상을 방지하여, 일정 시간(예: 6시간 이상) 성능 유지 기준과 실측 시험 절차를 병행해야 한다. 이러한 조치는 기만체의 시그니처를 장시간 유지시켜, 실제 전력과 구분이 어려운 수준의 지속적 기만 효과를 확보할 수 있게 한다.<sup>64)</sup>

## 3) 반복 사용 가능성 및 수리 용이성 확보

모듈형 기만체의 핵심 강점은 부품 단위 교체와 재활용이 가능하다는 점이다. 그러나 야전 운용 중에는 마모·오염·충격에 따른 손상이 불가피하므로, 이를 고려한 정비 친화적 설계가 필수적이다. 이를 위해 모듈별 고장률 분석 및 예비 모듈 보유 기준을 수립하여 신속한 교체 대응 체계를 구축해야 하고, 부분 유지보수 구조(Partial Maintenance Architecture)를 채택해 손상 부품만 교체 가능한 체계를 마련하여, 현장에서 사용할 수 있는 수리·정비 키트(Field Repair Kit)로 유지 효율성을 극대화해야 한다.<sup>65)</sup>

---

64) U.S. Army. (2022). Tactical Microgrid & Hybrid Power System. Fort Leavenworth: Army University Press.

이러한 설계 개념은 야전 환경에서도 신속한 복구와 반복 운용이 가능한 기만체 유지 체계를 확보함으로써, 장기적인 전력 보존과 비용 절감 효과를 동시에 달성할 수 있게 한다.

#### 4) 현장 작동 안정성 확보 (Operational Reliability)

모듈형 기만체는 센서, 전원 장치, RF/IR 방출 모듈 등이 상호 연동되어 작동하므로, 단 하나의 모듈 오류라도 전체 시스템의 기만 효과를 무력화할 수 있다. 특히 전장 환경에서는 설치 직후 자동 제어 오류나 통신 불량 발생 시, 적의 정찰·공격 자산에 노출되는 심각한 위협으로 이어질 수 있다. 이러한 문제를 예방하기 위해서는 전원 안정성 확인 시스템(LED·경보 알림), 모듈 간 통신 자동 진단(Self-Diagnosis Protocol), 기만 작동 타이머 및 원격 제어 기능, 수동 전환 스위치 및 현장 테스트 버튼 등의 기능이 필수적으로 요구된다.

이러한 자가 진단형 설계는 숙련되지 않은 운용 인력이라도 최소한의 조작으로 안정적인 작동을 보장할 수 있게 하며, 실제 작전 중에도 즉각적인 점검 및 오류 대응이 가능하도록 지원한다. 이와 같은 작동 안정성 강화 방안은 미 육군 전장 시스템 신뢰성 설계 기준(MIL-STD-810H) 및 NATO STANAG 4370(Environmental Testing Procedures) 에서 제시한 군용 전자장비 신뢰성 요건과 부합한다.<sup>65)</sup>

#### 5) 운용 수명 기반의 시험·검증 체계 구축

모듈형 기만체는 반복적인 전개·회수와 다양한 환경 노출을 거치면서 소재 피로, 체결부 마모, 전자부식 및 출력 저하 등의 문제가 누적될 수 있다. 이러한 성능 저하를 예방하기 위해서는 생산 단계부터 운용 수명을

---

65) U.S. Department of Defense. (2021). Army Materiel Maintenance Strategy. Washington, D.C.: DoD.

66) NATO. (2020). NATO Logistics Handbook. Brussels: NATO Standardization Office.

고려한 검증 체계(Life-Cycle Verification System)가 반드시 수립되어야 한다. 구체적으로, 운용 수명 기준(예: 30회 이상 전개·회수, 6개월 이상 실외 노출)을 명확히 설정하고, 기만 시그니처 감쇄율(RF·IR 출력 감소율 등)을 정기적으로 측정·기록하는 프로토콜을 도입해야 한다.

또한 온도 순환 시험(Temperature Cycling), 염수 분무(Salt Spray), 모래먼지 환경 시험(Sand and Dust Test) 등 가속 수명시험을 실시하여, 실전 환경에서의 내구 성능을 조기에 평가할 필요가 있다. 작전 종료 후 회수된 기만체는 정기 신뢰성 평가 리포트를 통해 부품별 잔여 수명과 재사용 가능성을 판정하고, 그 결과를 군수 데이터베이스(LCC 관리 체계)에 축적하여 운용 효율성을 극대화해야 한다.

이러한 검증 절차는 미 국방부 신뢰성 시험 표준(MIL-HDBK-781A) 및 국방기술품질원(DTaQ)의 환경 내구성 시험 기준(2022)에서 제시된 군수품 수명관리 지침과 부합하며, 향후 모듈형 기만체의 전주기 신뢰성 관리 체계 구축을 위한 기반이 될 수 있다.<sup>67)</sup>

기만체의 효과는 설치 순간의 성공 여부가 아니라 작전 전 기간 동안 안정적이고 신뢰도 높게 기능을 유지할 수 있는가에 달려 있다. 따라서 신뢰성과 내구성 확보는 모듈형 기만체계의 설계·제작·운용 전 과정에서 통합적으로 고려되어야 할 핵심 과제이다.

이를 위해 군은 국방규격(KDS) 기반 구조 강도 및 내환경성 기준 제정, 기만 시그니처 지속시간 및 성능지수(KPI) 설정, 모듈별 고장 이력 분석 및 유지보수 데이터베이스 구축, 현장 진단용 테스트 키트 및 자동 셀프체크(Self-check) 기능 적용, 품질보증·수명관리 절차의 군수체계 통합 등을 단계적으로 추진해야 한다. 이러한 제도적·기술적 기반이 마련될 경우, 모듈형 기만체계는 단순한 ‘형상 모사 장비’를 넘어 전장 환경에서도 신뢰성과 지속성을 보장하는 실질적 전술 자산으로 자리매김할 수 있을 것이다.

---

67) U.S. Department of Defense. (1996). MIL-HDBK-781A: Reliability Test Methods, Plans, and Environments. Washington, D.C.: DoD

## 제 4 절 적의 식별 기술 발전에 따른 대응 전략

현대전의 양상은 고정밀 정찰과 신속한 타격이 결합된 Sensor-to-Shooter 체계로 고도화되고 있다. 특히 드론, 인공위성, 레이더, 적외선(IR) 센서 등의 성능 향상은 단순한 형상 모사나 외피 유사성만으로는 기만 성공을 보장하기 어려운 환경을 만들어내고 있다.

즉, 기만체가 전술적 가치와 생존성을 유지하기 위해서는 적의 탐지·식별 기술 발전을 지속적으로 추적·분석하고, 그에 맞춘 전략적·기술적 대응을 마련해야 한다. 본 절에서는 적 식별 기술의 발전 양상을 바탕으로 다섯 단계의 대응 전략을 제시한다.

### 1) 적 탐지·식별 기술 발전 양상 분석

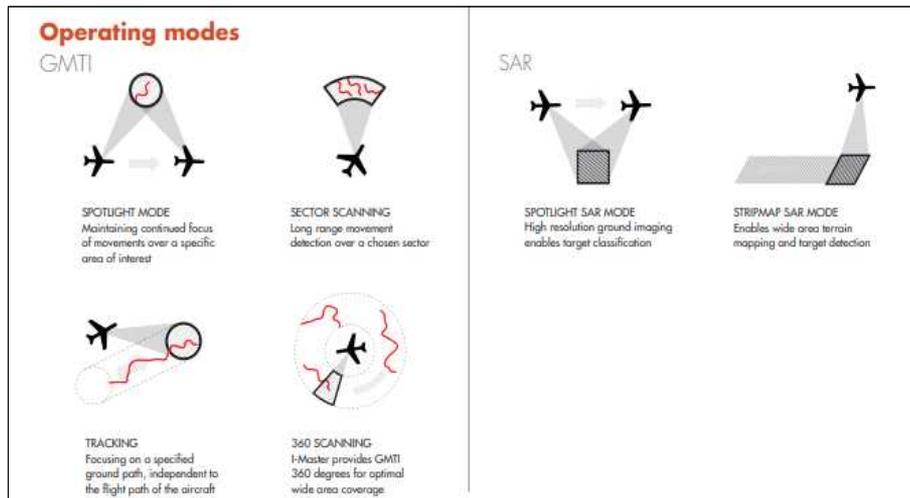
현대 정찰체계는 단순 탐지 단계를 넘어, 인공지능(AI) 기반 자동 식별과 패턴 분석 기능이 결합된 고도화된 형태로 진화하고 있다. 이러한 발전은 크게 세 가지 측면에서 관찰된다.

먼저, AI 기반 자동 목표 인식 기술의 급속한 발전이다. SAR(Synthetic Aperture Radar) 기반 영상처리 분야에서는 딥러닝 기반 ATR 기술이 활발히 연구되어 왔으며, 이러한 기술은 SAR 이미지를 활용해 차량·건물·무기체계 등을 자동 분류하고 인지하는 데 적용되고 있다. 특히 CNN(Convolutional Neural Network) 및 GAN(Generative Adversarial Network) 기반 모델은 기존 템플릿 매칭 방식 대비 90% 이상의 식별 정확도를 달성하고 있으며, 날씨·조명 조건 변화에도 강건한 성능을 보인다.

두번째로는 다중 센서 융합(Multi-Sensor Fusion) 기술의 고도화다. EO/IR(Electro-Optical/Infrared) 센서는 해상도 및 열 감도 분해능이 지속적으로 향상되고 있으며, 최신 시스템은 0.05℃ 이하의 온도 차이도 식별할 수 있다. SAR/GMTI 레이더 시스템은 지상이동표적탐지 기능과 정

밀 영상 기능을 결합하여 정밀 탐지 및 패턴 분석을 가능하게 한다.<sup>68)</sup>

또한, EO/IR 센서는 해상도 및 열 감도 분해능이 지속적으로 향상되고 있으며, SAR/GMTI 레이더 시스템은 지상이동표적탐지(GMTI) 기능과 정밀 영상(SAR) 기능을 결합하여 정밀 탐지 및 패턴 분석을 가능하게 한다. 예를 들어 THALES의 I-Master 레이더는 SAR + GMTI 기능을 통합 운영하는 시스템으로 [그림 6-1]과 같이 소개된 바 있다.



[그림 6-1] THALES사의 SAR + GMTI 기능을 통합 운영도<sup>69)</sup>

마지막으로 전자전·신호정보 분석 기술의 지능화다. 레이더 반사 특성(RCS) 분석 알고리즘 및 머신러닝/딥러닝 기법은 차량 실루엣, 전파/반사 패턴, 열흔적 시계열 등 복합 특징을 학습하여 기만체와 실장비를 식별하는 데 활용되고 있다. 특히 ELINT(Electronic Intelligence) 시스템은 방사 신호의 주파수·펄스 반복률·변조 방식 등 미세한 차이를 분석하여 장비의 종류는 물론 작전 상태까지 추정할 수 있다.

이러한 기술들이 결합될 경우, 적은 단일 센서로는 파악하기 어려운 미

68) Automatic Target Recognition on Synthetic Aperture Radar Imagery: A Survey. (2020). IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol.56(4), pp.1-20.

69) THALES Group. (2015). I-MASTER GMTI/SAR Radar System Overview. Paris: Thales Aerospace.

묘한 차이점들을 종합하여 기만체를 식별할 수 있게 된다. 예를 들어, 외형은 완벽하게 모사되었더라도 열 패턴이 부자연스럽거나, RCS 특성이 실제 장비와 다르거나, 통신 신호가 발생하지 않는 등의 단서를 통해 기만 체임을 간파할 수 있다.

## 2) 식별 요소 기반 다중 기만 개념 전환

모듈형 기만체 설계는 단일 속성(형상 또는 색상 등)에 의존하는 전통적 접근을 넘어, 시각·적외선(IR)·전자파(RF)/RCS·음향 등 다중 식별 요소를 통합하는 'Multi-domain Deception System'으로 전환되어야 한다.

미 육군 미래사령부는 2021년 보고서에서 단일 도메인 기만이 고성능 센서와 AI 기반 식별체계에 의해 쉽게 무력화될 수 있음을 지적하며, 다영역(멀티도메인) 기만의 필요성을 강조했다.

이와 같이 다중 도메인의 시그니처를 동기화·관리하는 설계는, 적 센서의 융합 식별 논리(EO/IR + SAR/GMTI + COMINT/ELINT + AI 분류)를 직접 겨냥한 전략이다. 따라서 모듈형 기만체는 각 도메인별 모듈간 시그니처 동기화(control & timing), 환경 적응형 출력 보정(autotuning) 및 AI 기반 식별 모델에 대한 검증(Adversarial testing)을 병행하여 개발·운용되어야 한다.

DARPA 등 주요 연구기관은 이러한 위협을 인지하고, 적대적 공격·방어 양측을 고려한 평가·방어체계를 지원하고 있으므로, 기만체 개발 시에는 적 식별 AI의 학습 특징 분석, 물리적·신호적 적대적 패치 설계, 자체 AI 모사(시뮬레이션)로 사전 검증 및 반복 테스트를 통합하는 역학습 기반 개발 프로세스가 필요하다.<sup>70)</sup> 이러한 개념은 다음 [표 6-3]과 같이 구체화될 수 있다.<sup>71)</sup>

---

70) Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). (2025). GARD: Guaranteeing AI Robustness Against Deception. Arlington, VA: DARPA.

[표 6-3] 식별 요소 기만 개념

구 분	내 용
형 상	· 주변 장비 배치까지 포함한 전술적으로 재현
전파 대응	· 신호 패턴의 묘사 * ex) 통신 신호 프레임·간헐 발신, DRFM 기반 레이더 스푸핑 기법을 포함, 전자전(EM) 대응 기술 연계 <sup>72)</sup>
음 향	· 소음 기반 탐지체계 교란 * ex) 해군의 음향 기만(어뢰 기만장치) <sup>73)</sup>

#### 4) 실시간 위협 분석 기반 기만체 구성의 동적화

적의 탐지·식별 체계는 단순 형상 인식에 더해 배치 시간·위치·주변 환경·정찰 경로 등 시공간 정보를 융합해 판단하는 방향으로 발전하고 있다. 이에 대응하려면 기만체는 정적 배치가 아닌 상황 반응형(dynamic) 구성 시스템으로 진화해야 하며, 이는 다음 세 가지 요소를 포함한다.

##### 가) 전술 엿지 센서와 원격 정찰자료 통합

실시간으로 전장 상황을 인식하고(센서 퓨전), 그 결과에 따라 모듈 조합과 출력 패턴을 자동으로 최적화한다.<sup>74)</sup>

##### 나) AI 기반의 정찰 경로·위협 예측 알고리즘 활용

71) U.S. Army. (2021). Leveraging Multi-Domain Military Deception to Expose the Enemy in 2035. Washington, D.C.: U.S. Army Futures Command.

72) LinkedIn. (2025). “Digital Radio Frequency Memory (DRFM) in Radar Warning Receivers.”

73) Military Aerospace. (2025). “Ultra Tapped to Build Additional Counter-Torpedo Acoustic Countermeasures Devices for Ships and Submarines.” Military Aerospace Online.

74) PMC. (2014). Integrated Sensor Systems and Data Fusion for Homeland Protection. Basel: PMC Open Access.

적 경찰의 이동 경로와 타이밍을 예측하고, 이에 맞춰 기만체의 전개 위치와 시점을 동적으로 조정한다.<sup>75)</sup>

#### 다) 기만 클러스터(외피 + 보조 소품 + 분산 열원/전파 모듈)

경찰 영상의 문맥을 재현함으로써 AI 기반 식별기의 판단을 혼동시키는 전술을 구현한다. 우크라이나 전장 사례와 학술적 분석은 적절히 배치된 기만 클러스터가 적의 타깃 선정 오류를 유도할 수 있음을 시사한다.<sup>76)</sup>

이러한 동적화는 디지털 트윈과의 결합을 통해 시뮬레이션→실행→현장 데이터 피드백→재조정의 순환을 구현함으로써 신속하게 최적 구성을 도출할 수 있다. <sup>77)</sup>디지털 트윈 기반의 전장 모델링은 실시간 데이터 통합과 정책·전술 검증에 이미 활용되고 있다.

#### 5) 기만체-실장비 연계 기만전술 통합 운영

단일 기만체만으로는 고도화된 적 식별·타격 체계를 완전히 속이기 어려우므로, 실장비와 기만체를 혼합·연계 운용하는 전술을 통해 기만 효과를 극대화해야 한다. 합동·연합 군사교리에서는 기만을 작전계획과 긴밀히 연계해 적의 의사결정(감시·식별·타격)을 오도하도록 설계할 것을 권고한다.

#### 다) 전략적 운용

실 장비를 분산 배치하고 기만체를 전략적으로 혼합 배치함으로써 적

---

75) ResearchGate. (2025). "AI-Powered Predictive Analytics in Military Defense: Real-Time Threat Detection through Deep Learning." Olaniyi Ibrahim.

76) TDHJ.org. (2024). "The Strategic Role of Decoys in the Conflict in Ukraine."

77) PMC. (2021). Digital Twin-Enabled Online Battlefield Learning with Random Finite Sets. Basel: PMC.

의 타깃 선정과 자원 배분을 왜곡(분산·혼란 유도)할 수 있다. 역사적·현대 사례는 기만과 실제 병력의 혼합 배치가 적의 오판을 유발하는 효과를 입증한다.<sup>78)</sup>

#### 라) 기술적·전술적 응용

실 장비의 일시적 열혼적 저감(thermal masking), 일부 무선 신호의 기만체 위임(분산 신호전송), 그리고 위성·SAR 정찰 타이밍에 맞춘 기만 중심의 전술 재배치 등이 있다. 이러한 혼합 전술은 적의 센서 융합·AI 식별 로직을 교란시켜 타격 우선순위와 자원 소모를 변경시키는 데 기여한다.

현대전의 탐지·식별 기술은 AI, 다중 센서 융합, 정찰-타격 일체화(Sensor-to-Shooter)를 기반으로 빠르게 발전하고 있다. 이에 따라 기만 체계는 단순한 외형 모사 수준을 넘어, 적의 탐지-식별-판단 과정을 전반을 고려한 통합적 설계와 운용 전략으로 전환되어야 한다.

한국군은 이를 위해 다중 시그니처 기반의 모듈화 기만체 설계 프레임 도입, AI 식별 모델을 활용한 기만 알고리즘 훈련 체계 구축, 적 탐지기술 데이터베이스와 전술 기만 로직 개발, 기만체-실장비-작전 환경이 연동된 혼합 기만전술 교리 확립이 필요하다.

---

78) RAND Corporation. (2021). The Art of Darkness: Deception and Urban Operations. Santa Monica, CA: RAND Corporation.

# 제 7 장 결 론

## 제 1 절 연구 요약 및 의의

본 연구는 다중 센서 기반 탐지·식별 능력이 급속히 고도화되는 현대전 환경에서, 기존 기만체계가 갖는 구조적·운용적 한계를 보완할 수 있는 모듈형 기만체계의 설계 원리와 운용 방안을 체계적으로 제시하였다. 최근 분쟁 사례가 보여주듯 드론·위성·정밀타격 체계가 결합된 전장에서는 고가 전투자산이 저비용 감시·타격 수단에 의해 빠르게 노출되고 파괴될 수 있다. 이러한 환경에서 기만체계는 단순한 보조 수단이 아니라 아군 전력의 생존성과 작전 지속능력을 보장하는 핵심 전력 요소로 재정의될 필요가 있다.

기존 일체형 기만체계는 단일 시그니처 중심 설계, 제작 단계에서 기능·외형이 고정되는 구조, 중앙집중형 생산·보급 방식, 표준화 부재 등의 한계를 갖는다. 이로 인해 임무 변화에 따른 즉응적 재구성이 어렵고, 손상 시 전체 교체가 요구되며, 야전에서의 유지보수와 긴급 전개가 제한된다.

본 연구는 이러한 한계를 극복하기 위한 대안으로 기능 단위 모듈화와 표준 인터페이스 기반 조립·해체·교체 개념을 도입하였다. 모듈형 기만체계는 외형·전자·열·RF·제어 요소를 기능 단위로 분리하여 임무 요구와 위협 수준에 따라 조합을 최적화하는 적응형 기만 플랫폼으로 발전할 수 있음을 논증하였다.

본 연구가 제시한 모듈형 기만체계는 크게 형상 재현, 시그니처 모사, 지능형 제어의 세 층위로 구성된다. 형상 재현 층위에서는 3D프린팅 기반 외피 모듈을 활용하여 실제 장비의 외형을 정밀하게 구현하되 경량화와 전개 속도를 고려한 구조적 설계를 제시하였다. 시그니처 모사 층위에서

는 적외선 및 레이더 등 주요 탐지 수단을 대상으로 복합 시그니처 기만이 가능하도록 모듈 단위 기능 구성을 제안하였다.

지능형 제어 층위에서는 운용 환경 변화에 따라 시그니처 출력을 조정하는 적응형 운용 방향을 제시함으로써, 기만체가 정적 더미 수준을 넘어 능동형 체계로 발전할 수 있는 개념적 기반을 마련하였다.

특히 3D프린팅 기반 현장 제작 개념은 기만체의 신속한 제작·수리·형상 변경을 가능하게 하여, 기존 중앙집중형 보급 체계가 갖는 시간 지연과 전력 공백 문제를 완화할 수 있는 장점이 있다. 다만 소재의 내구성, 내열성, 품질 인증 및 후처리 문제는 실제 전력화를 위해 지속적으로 해결해야 할 기술적 과제로 남는다.

본 연구는 모듈형 기만체계가 기술적 실현 가능성, 작전적 유용성, 경제적 타당성 측면에서 의미 있는 잠재력을 지닌다는 점을 확인하였다. 특히 한국군의 제한된 지리적 중심, 고밀도 표적 환경, 북한의 포병·미사일 및 드론 위협을 고려할 때, 저비용 기반의 다수 기만 자산 운용은 적의 화력·정찰 자원을 분산시키는 실질적 비대칭 효과를 제공할 수 있다. 이러한 결과는 기만체계를 ‘장비 중심’에서 ‘임무 중심’으로 전환하는 작전적 혁신의 가능성을 제시한다.

이상의 논의를 종합하면, 현대 전장은 위성·드론·SAR·IR 등 다층 감시 체계가 결합된 ‘투명한 전장’으로 전환되고 있으며, 이 환경에서 기만체계는 적의 정찰·타격 의사결정 체계에 불확실성을 주입하여 전술적 안개를 재구성하는 핵심 수단으로 재평가되어야 한다. 본 연구가 제안한 3D프린팅 기반 모듈형 기만체계는 기존 고정형·단일 목적 중심 기만체가 갖는 한계를 구조·운용·군수 관점에서 동시에 보완할 수 있는 대안적 프레임워크로서, 다중 센서 시대에 요구되는 복합 시그니처 기만과 임무 맞춤형 재구성을 가능하게 한다.

특히 모듈화와 표준 인터페이스 접근, 그리고 현장 제작 개념은 기만체 운용의 신속성·유연성·지속성을 강화함으로써 제한된 자원 조건하에서도

실질적 생존성 증대 효과를 기대하게 한다. 따라서 모듈형 기만체계는 단순 장비 개량을 넘어, 한반도 환경에서 적의 ISR·타격 자원을 분산시키는 저비용·고효과 비대칭 생존성 수단으로 발전할 잠재력을 지닌다.

## 제 2 절 정책적 제언

본 연구 결과를 바탕으로 한국군의 기만체계 발전을 위한 정책적 제언을 다음과 같이 제시한다.

### 1) 모듈형 기만체계 개발을 위한 제도적 기반 마련

현행 획득 체계는 완성형 단일 품목 조달에 최적화되어 있어 모듈형 체계의 유연한 구성·개량 개념을 충분히 반영하기 어렵다. 따라서 모듈형 기만체계를 하나의 플랫폼으로 정의하고, 모듈 단위의 추가 획득·성능 개량·대체가 가능한 획득·시험·평가 체계를 정립해야 한다. 시범사업을 통해 소요 검증과 성능 기준을 단계적으로 확보한 후 본격 전력화로 전환하는 접근이 타당하다.

### 2) 3D프린팅 기반 현장 제작 능력 체계적 구축

기만체의 운용 가치를 극대화하기 위해서는 전방 부대 수준의 신속 제작·수리 역량이 필수적이다. 이동형 3D프린팅 장비와 표준 설계 파일, 소재·후처리 지침을 포함한 패키지 체계를 구축하고, 운용 인력 교육 및 자격 체계를 병행해야 한다. 이를 통해 기만체 운용의 적응성과 지속성을 강화할 수 있다.

### 3) 적 탐지·식별 기술에 대한 지속적인 정보 수집과 분석 체계를 구축

기만 효과는 적 센서 성능과 운용 패턴에 따라 결정된다. 북한 및 주변

국의 ISR·AI 기반 목표 인식 동향을 지속적으로 추적·데이터베이스화하고, 탐지 알고리즘 변화에 연동되는 모듈 개량 체계를 갖추어야 한다. 아군 주도의 적대적 검증 프레임워크를 통해 기만체의 식별 회피 가능성을 사전 평가하는 체계 구축이 필요하다.

#### 4) 기만 전술 교리를 정립하고 부대 훈련에 통합

기만은 생존과 직결되는 전술 요소이다. 모듈형 기만체계 운용 개념을 교리화하고 지휘관 교육과 전투력 평가, 주요 연합·야외 기동훈련에 반영하여 실전 수준의 숙련도를 확보해야 한다. 특히 실제 장비와 기만체 혼합 운용, 위성·드론 정찰 주기 연동 재배치 훈련 등 고난도 운용 과제를 반복적으로 수행할 필요가 있다.

#### 5) 민·군·산·학 협력을 통한 기술 개발 생태계를 조성

모듈형 기만체계는 적층 제조, 전자·센서·소재, AI, 전자전 기술이 결합된 융합 체계이다. 체계 통합과 표준 규격은 공공 연구기관이 주도하고, 개별 모듈 개발은 전문 기업과 대학 연구진이 분담하는 다층적 협력 구조가 효율적이다. 이를 통해 개발 속도와 기술 다양성을 동시에 확보할 수 있다.

#### 6) 동맹국 및 우방국과의 기만 기술 협력을 강화

기만 기술은 현대 정보전의 핵심 요소이다. 선진국의 관련 연구 및 훈련 경험을 공유하고 공동 연구·실험 기회를 확대함으로써 기술 성숙도를 단기간에 끌어올릴 필요가 있다.

#### 7) 장기적 자율형 기만체계로의 진화를 준비

미래 기만체계는 무인 플랫폼 탑재 기반의 자율 전개형 체계로 확장될 가능성이 크다. 자율주행, 엣지 AI, 분산 네트워크 기술과 연계한 연구를 조기에 착수하여, 정적 기만에서 기동·자율 기만으로의 전환 기반을 마련해야 한다.

### 제 3 절 연구의 한계 및 후속 연구 방향

본 연구는 모듈형 기만체계의 개념적 틀과 설계 원리, 그리고 운용 시나리오 기반 적용 가능성을 중심으로 논의를 전개하였으나, 실물 시제품 제작과 야전 실증시험을 수행하지 못한 한계를 가진다. 따라서 본 연구에서 제안한 외형 모듈의 내구성, 열원 모듈의 발열 프로파일 정확도, RCS 및 RF 모듈의 실제 시그니처 재현 성능은 현존 센서 환경에서의 실측 데이터를 통해 검증되어야 한다.

특히 드론·SAR·IR·레이더 등 다중 탐지 환경에서 모듈 조합별 탐지 확률 변화와 오인 유도 효과를 정량화함으로써, 개념 수준의 타당성을 전력화 수준의 근거로 확장할 필요가 있다. 이러한 실증은 모듈형 기만체계가 단순 구조 혁신을 넘어 작전적 신뢰성을 갖춘 체계로 자리 잡는 데 필수적이다.

또한 3D 프린팅 기반 현장 제작 개념은 운용 적응성과 군수 유연성을 확보할 수 있는 장점이 있으나, 소재의 내환경성·내열성, 품질 관리와 인증, 후처리 공정의 현실적 제약이 충분히 정량화되지 않았다. 후속 연구에서는 야전 운용 조건을 반영한 소재 실험과 장기 노출 시험을 수행하고, 경량 소재와 금속 소재의 혼합 설계 가능성, 표면 코팅 및 구조 보강 방식 등 실질적 개선안을 도출해야 한다.

아울러 표준 설계 파일의 관리, 현장 출력 장비의 운용 범위, 교육·자격 체계와 같은 제도적 조건도 기술 연구와 병행되어야 한다. 이는 모듈형 기만체계가 ‘현장 제작 가능성’의 수준을 넘어 ‘현장 제작 체계화’로 전

환되는 핵심 전제가 된다.

AI 기반 탐지·식별 능력이 고도화되는 전장 환경에서 본 연구가 제시한 대응 개념은 타당하나, 실제 적 AI 식별 모델을 가정한 반복 검증 체계가 구축되지 못한 점 역시 한계로 남는다. 따라서 공개된 연구와 상용 모델을 기반으로 유사 ATR·분류 환경을 구축하고, 모듈별 시그니처 출력·패턴·시간 변조 전략이 AI 오판에 미치는 영향을 체계적으로 평가하는 적대적 검증 프레임워크가 요구된다.

이는 외형 유사성 중심의 전통적 기만을 넘어, ‘AI가 납득하는 전술적 현실성’을 설계하는 방향으로 기만 연구의 기준을 확장하게 한다. 결과적으로 AI 대응 연구는 모듈형 기만체계의 기술적 완성도를 결정하는 중심축이 될 가능성이 크다.

경제성과 전술적 효과 분석도 보다 정밀한 후속 연구가 필요하다. 본 연구는 모듈형 기만체계가 재사용성과 확장성을 통해 생애주기 비용 측면에서 유리할 가능성을 제시했으나, 모듈별 단위 원가, 표준화 수준에 따른 생산·정비 효율, 대량 생산 시 규모 효과를 포함한 정량 모델은 제한적이었다.

후속 연구에서는 위게임 및 시뮬레이션을 통해 기만체 배치 비율, 실제 장비와의 혼합 운용, 위성·UAV 정찰 주기 연동 재배치 전술이 전투 손실 감소와 적 ISR·타격 자원 분산에 미치는 영향을 계량화해야 한다. 동시에 국제법 준수 범위와 연합작전 환경의 오인 방지 절차, 그리고 북한의 ISR·타격 수단과 한반도 지형을 반영한 맞춤형 운용 기준을 구체화함으로써 한국형 전력화 논리를 완성할 필요가 있다.

# 참 고 문 헌

## 1. 국내문헌

- 국방과학연구소(ADD). (2022). 『국방 R&D 기술전략 보고서』.
- 국방과학연구소(ADD). (2022). 『국방 R&D 중장기 발전전략』.
- 국방과학연구소(ADD). (2022). 『현장형 3D프린팅 기술 적용을 위한 군수체계 실증 연구』.
- 국방과학연구소(ADD). (2023). 『전자전 통합훈련체계 기술보고서』.
- 국방기술품질원. (2022). 『환경 내구성 시험기준』.
- 국방기술품질원. (2023). 『국방 3D프린팅 기술 동향 보고서』.
- 국방기술진흥연구소. (2023). 『국방기술 혁신 및 첨단무기체계 발전 방향』.
- 국방부. (2023). 『국방 AI 전략 2.0』.
- 국방부. (2023). 『국방혁신 4.0 추진계획』.
- 국방부. (2023). 『국방혁신 전략』.
- 김영호. (2018). 『전자전 기반 기만효과 분석』. 『국방과학기술학회지』, 21(3), 45-62.
- 박정훈. (2020). 『야전형 위장 및 기만장비의 효율화 방안 연구』. 『한국군사학논총』, 37(2), 88-107.
- 서울프마린 주식회사. (2021). 『고스트 월드: 팽창식 기만체계』.
- 안찬호. (2022). 『통합 시그니처 기반 기만체계의 운용개념 연구』. 『국방연구』, 45(1), 101-125.
- 윤성국, 류영기, 최수환. (2021). 『다중센서 환경에서의 기만효과 분석 및 실험적 검증』. 『국방과학연구소 논문집』, 68(4), 55-78.
- 이도현. (2021). 『모듈화 기반 전력지원체계의 설계 연구』. 『국방정책연구』, 34(1), 59-78.
- 조선일보. (2025). 『김정은도 신기한 듯 만져봤다 ... 北 특수부대, 드론

피하는 위장훈련 포착』.

조선일보. (2025). 『수폴로 변한 북한 특수부대 - 위장과 현대전의 투명성』.

조선일보. (2025). 『진화하는 K방산, AI 무기 체계 선보인 역대 최대 규모 'ADEX 2025' 개막』.

허준, 장병수. (2017). 『전쟁사 기반 기만전술 분석과 ISR 교란효과 모델 연구』. 『한국군사전략연구』, 19(2), 31-58.

황순일. (2020). 『현대 전자전 환경에서의 기만체계 효율성 비교연구』. 『국방정책연구』, 36(3), 77-99.

방위사업청. (2023). 『국방기술표준화 백서』.

방위사업청. (2024). 『K-MOSA 추진 전략』.

한화시스템. (2024). 『미래 전장 환경을 바꿀 차세대 전투체계: 유·무인 복합체계\_지상편』.

한화시스템. (2024). 『유·무인 복합체계 및 다영역 작전 환경에서의 전자기 기만체계 연구 백서』.

## 2. 국외문헌

Automatic Target Recognition on Synthetic Aperture Radar Imagery: A Survey. (2020). IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 56(4), 1-20.

Bert van den Broek, C., Cole, C., Dudezyk, J., & Yousaf, J. (2022). Multispectral Deception Techniques for Electronic Warfare Systems. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 58(4), 3321-3338.

Bundeswehr. (2020). Boxer Multi Role Armoured Vehicle. Berlin: German Federal Ministry of Defence.

Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). (2021). Artificial Intelligence Exploration (AIE) Program Overview. Arlington, VA: DARPA.

Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). (2023). Collaborative Operations in Denied Environment (CODE) Program Summary. Arlington, VA: DARPA.

Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). (2025). GARD: Guaranteeing AI Robustness Against Deception. Arlington, VA: DARPA.

Defense News. (2024). U.S. Army Inches Closer to 3D-Printing Spare Parts Under Fire. Arlington, VA: Defense News.

Gerhard, Haiming. (2024). Modernization Strategy of the German Army Armoured Forces. Berlin: German Federal Ministry of Defence.

HP. (2022). Polymer Powder-Based Additive Manufacturing: SLS vs MJF. HP Tech Insights.

IEEE Radar Conference. (2024). Adversarial Perturbations in RF Signal Classification. Proceedings of IEEE RadarConf 2024, Boston, MA.

Israel Aerospace Industries (IAI). (2014). GARDIUM Autonomous Security Vehicle. Tel Aviv: IAI.

Jane's Defence Review. (2021). Global Armoured Vehicle Modernization Report 2021. London: Jane's Information Group.

Kim, H., & Cho, J. (2023). Spatio-Temporal Analysis of Drone Threats in the Russia-Ukraine War. *Journal of Defense Analytics*, 19(2), 233-249.

Kim, H., et al. (2021). Engagement-Scenario-Based Decoy-Effect

Simulation Against an Anti-Ship Missile Considering Radar Cross Section. *Journal of Defense Modeling and Simulation*, 18(4), 322-334.

Leonardo. (2024). *BriteStorm - Stand-in Jammer Payload*. London: Leonardo UK.

*Marine Coatings Research Journal*. (2020). Advances in Anti-Corrosion Coatings for Naval Platforms, 12(3), 45-58.

Materialise. (2022). *MJF Polymer Powder Bed Fusion ProcessDescription*. Materialise AM Insight Series.

Ministry of Defence, UK. (1942). *Imperial War Museums*. London: MoD.

Ministry of Defence, UK. (1944). *Imperial War Museums*. London: MoD.

Ministry of Defence, UK. (1991). *Imperial War Museums*. London: MoD.

Ministry of Defence, UK. (2021). *Transforming the British Army's Armoured Capability*. London: MoD.

Ministry of Defence, UK. (2024). *Future Force Concept and Modernisation Programme*. London: MoD.

MIT Lincoln Laboratory. (2021). *3D-Printed Electromagnetic Deception Systems: Prototype and Validation*. Cambridge, MA: MIT Lincoln Laboratory.

NASA. (2018). *Composite Materials for Extreme Environments*. Washington, D.C.: NASA Langley Research Center.

NASA. (2022). *Technology Transfer Report 2022*. Washington, D.C.: NASA Technology Transfer Program.

NATO. (2020a). *NATO Logistics Handbook*. Brussels: NATO

Standardization Office.

NATO. (2020b). STANAG 4370: Environmental Testing Standard. Brussels: NATO Standardization Office.

NATO. (2023). Additive Manufacturing (AM) Materials Qualification Study. Brussels: NATO Science and Technology Organization.

NATO C3 Agency. (2019). EMC and Spectrum Management in Joint Operations. Brussels: NATO.

NATO Research and Technology Organization (RTO). (2019). Multispectral Signature Management. Brussels: NATO RTO.

NATO Science and Technology Organization (STO). (2024a). TR–SCI–356: Multi–Domain Deception and Signature Management Technologies Report. Brussels: NATO STO.

NATO Science and Technology Organization (STO). (2024b). Multi–Domain Deception and Signature Management Technologies Report. Brussels: NATO STO.

NATO Science and Technology Organization (STO). (2024c). Deception and Camouflage in Multi–Domain Operations. Brussels: NATO STO.

PMC. (2014). Integrated Sensor Systems and Data Fusion for Homeland Protection. Basel: PMC.

PMC. (2021). Digital Twin–Enabled Online Battlefield Learning with Random Finite Sets. Basel: PMC.

Rafael Advanced Defense Systems. (2022). RoBattle Unmanned Ground Vehicle Platform Brochure. Tel Aviv: Rafael Ltd.

RAND Corporation. (2021). The Art of Darkness: Deception and Urban Operations. Santa Monica, CA: RAND Corporation. [38] RAND

Corporation. (2022). Defense Innovation and Experimentation Review. Santa Monica, CA: RAND Corporation.

Royal United Services Institute (RUSI). (2023). RUSI Defence Report 2023. London: RUSI.

Stratasys. (2023). FDM Technology Overview. Stratasys Technical Guide.

3D Systems. (2023). Stereolithography Process Explanation. Technical Whitepaper.

THALES Group. (2015). I-MASTER GMTI/SAR Radar System Overview. Paris: Thales Aerospace.

Tundra-M. (2018). Fully-Modular Flight-Ready PBF 3D Printed Professional Drone for Multi-Purpose Tasks. Helsinki: Tundra Technologies.

United Nations. (2025). Manual of Tests and Criteria and Amendment. New York: United Nations Publications.

U.S. Air Force. (2019). Advanced Manufacturing Initiatives at Hill AFB. Utah: U.S. Air Force.

U.S. Air Force. (2024). Photographic Record No. B-70-24-05-09-01. Washington, D.C.: U.S. Air Force Archives.

U.S. Army. (1944). Ghost Army Legacy Project. Washington, D.C.: United States Army.

U.S. Army. (2020). Expeditionary Lab Modernization Report. Washington, D.C.: Department of the Army.

U.S. Army. (2021). Leveraging Multi-Domain Military Deception to Expose the Enemy in 2035. Washington, D.C.: U.S. Army Futures Command.

U.S. Army. (2022). Tactical Microgrid & Hybrid Power System. Fort Leavenworth: Army University Press.

U.S. Army. (2023). Expeditionary Additive Manufacturing Strategy. Washington, D.C.: U.S. Army Futures Command.

U.S. Army. (2024). Fort Bliss 3D-Printed Barracks (Alyx Riebeling, ed.). Texas: U.S. Army Corps of Engineers.

U.S. Army Combat Capabilities Development Command (DEVCOM). (2022). Adaptive Deception Systems for Battlefield Mobility. Aberdeen Proving Ground, MD: U.S. Army DEVCOM.

U.S. Army Combat Capabilities Development Command (DEVCOM). (2022). Operational Technology Integration Report. Aberdeen Proving Ground, MD: U.S. Army DEVCOM.

U.S. Army DEVCOM. (2023). Research and Engineering Strategy Report. Aberdeen Proving Ground, MD: U.S. Army DEVCOM.

U.S. Army Research Laboratory. (2020). Additive Manufacturing Technology Readiness Assessment. Aberdeen Proving Ground, MD: U.S. Army Research Laboratory.

U.S. Department of Defense. (1996). MIL-HDBK-781A: Reliability Test Methods, Plans, and Environments. Washington, D.C.: DoD.

U.S. Department of Defense. (2019). MIL-STD-810H: Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests. Washington, D.C.: DoD.

U.S. Department of Defense. (2021a). Additive Manufacturing Strategy. Washington, D.C.: DoD.

U.S. Department of Defense. (2021b). Army Materiel Maintenance Strategy. Washington, D.C.: DoD.

U.S. Department of Defense. (2022). Modular Open Systems Approach (MOSA) Strategy. Washington, D.C.: DoD.

U.S. Department of Defense. (2024a). Modular Open Systems Approach (MOSA) Framework. Washington, D.C.: DoD.

U.S. Department of Defense. (2024b). MOSA Implementation Framework. Washington, D.C.: DoD.

U.S. Government Accountability Office (GAO). (2021). Weapon Systems Sustainment Report. Washington, D.C.: GAO.

Wohlers Associates. (2023). Additive Manufacturing State of the Industry Report. Fort Collins, CO: Wohlers Associates.

Wohlers Report. (2023). Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry Annual Report. Fort Collins, CO: Wohlers Associates.

# ABSTRACT

## A Study on the Design and Operational Application of Modular Deception Systems for the Modern Battlefield Environment

### Focusing on the Application of 3D Printing Technologies

JOUNG YONGCHAN

Major in Defence Project Management

Dept. of Defence Force Power

Graduate School of National Defense Science

Hansung University

Advances in multi-sensor surveillance and target identification have significantly reduced the effectiveness of traditional deception systems, which typically rely on single-signal emissions and inflexible, monolithic structures. This study presents a comprehensive design and operational framework for a Modular Deception System (MDS) optimized for contemporary battlefield environments characterized by rapid situational changes and multispectral detection technologies. After analyzing the inherent limitations of legacy decoy systems—such as fixed configurations, low adaptability, and high

maintenance burdens—this research introduces a modular architecture capable of overcoming these constraints.

Integrating additive manufacturing technologies, the study develops a hierarchical module structure composed of physical body modules, multispectral signature modules (radar, infrared, acoustic), and electronic control modules. This architecture enables rapid on-site fabrication, mission-tailored module combinations, selective replacement of damaged components, and dynamic deception effects. The study also demonstrates methods for achieving multispectral signature deception, including RCS management, composite infrared emission profiles, and acoustic pattern replication, while proposing an operational concept that utilizes real-time reconnaissance assets such as UAVs to adjust deception effects based on evolving tactical conditions.

The findings indicate that the proposed MDS significantly enhances deployability, operational flexibility, maintainability, and cost efficiency compared with conventional decoy systems. Furthermore, the modular and adaptive nature of the system aligns with the principles of Defense Innovation 4.0, offering practical implications for military deception technologies, K-MOSA-oriented modular design standards, and field-deployable additive-manufacturing-based logistics support.

[Keywords] Modular Deception System, Multispectral Signature Deception, Additive Manufacturing for Field Deployment, Modular Architecture Design, Multi-Sensor Counter-Deception, Korean

Modular Open Systems Approach (K-MOSA), Military Deception  
Concepts, Defense Innovation 4.0