

연구 활동 기획서

연구 과제명	국 문	다층 방공망 구축을 위한 AI 기반 옥상 탐지 및 최적 건물 선정에 관한 연구 : 천광 시스템 설치를 위한 위성 이미지 분석과 Delphi 기법 적용
연구기간	2025.01.08. ~ 2025.02.20.	
참여 연구자	P.M: 한찬희 김예지, 김량하, 박나해, 선슬기, 유종진 (가나다 순)	

<목차>

I. 서론	p.3
1. 연구의 필요성	p.3
2. 선행연구와의 차별성	p.3
3. 연구 목적의 타당성	p.4
4. 연구 범위	p.4
II. 연구내용 및 방법	p.7
1. 방공시스템 구축	p.7
2. 옥상면적 탐지 모델 구축	p.12
3. 적합 건물 선정	p.25
III. 연구 결과의 기대효과 및 활용 방안	p.30
1. 연구 결과의 기대효과	p.30
2. 연구 결과의 활용방안	p.30
3. 향후 연구 방향	p.31
4. 결론	p.31
IV. 연구추진 일정	p.32

연구 요약

연구목표	<p>본 연구의 최종 목표는 천광 시스템을 활용한 다층 방공망을 수도권 내 최적 위치에 배치하는 것이다. 이를 위해 AI 기반 위성 이미지 분석과 건물 적합성 평가 기법을 적용하여 수도권 내 최적의 방공 시스템 배치 후보지를 선정하고자 한다. 이를 달성하기 위한 세부 목표는 다음과 같다.</p> <ol style="list-style-type: none">드론 방어를 위한 3단계 방공 시스템 구축 전략 수립<ul style="list-style-type: none">DMZ 지역 이동형 방공망 배치수도권 접경지역 건물 설치형 방공망 구축주요 국가시설 방어망 구축AI 기반 위성 이미지 분석을 활용한 건물 옥상 탐지 모델 개발<ul style="list-style-type: none">AI-Hub 및 Kakao Map 데이터를 활용한 건물 데이터 수집 및 전처리SAM-2 모델을 활용한 건물 옥상 탐지 모델 개발 및 Fine-Tuning건물 옥상의 구조적 안정성 및 적합성 분석을 통한 최적 위치 도출Delphi 기법을 활용한 설치 시 중요 요인 도출 및 최적 건물 선정<ul style="list-style-type: none">전문가 패널을 구성하여 설치 시 고려해야 할 중요 요인 도출요인별 가중치를 설정하고 데이터 정규화를 통해 건물별 점수화 진행최종 상위권 건물을 선정하여 천광 시스템 설치 최적 후보지 도출
기대효과	<p>본 연구의 수행을 통해 다음과 같은 기대 효과를 도출할 수 있다.</p> <ol style="list-style-type: none">수도권 방공망의 효과적 구축 및 드론 방어력 강화<ul style="list-style-type: none">기존의 미사일 중심 방공 체계의 한계를 극복하고, 레이저 기반 천광 시스템을 활용하여 신속한 드론 요격이 가능함.수도권 내 다층 방공 시스템을 구축함으로써 북한의 드론 위협을 실질적으로 차단할 수 있음.AI 기반 탐지 모델을 활용하여 천광 시스템 설치를 위한 최적의 건물을 선정, 수도권 내 방공망을 보다 정밀하게 운영할 수 있음.AI 기반 위성 이미지 분석의 방공 분야 적용 확대<ul style="list-style-type: none">AI 기반 위성 이미지 분석 기술을 적용하여 건물 옥상 면적을 자동 탐지하고, 이를 방공 시스템 구축에 활용하는 새로운 접근 방식을 제시함.기존의 수동 평가 방식과 비교하여 보다 신속하고 정밀한 분석이 가능하며, 실시간 업데이트를 통해 변동 사항을 반영할 수 있음.

	<ul style="list-style-type: none"> • 위성 데이터와 AI 모델을 결합함으로써 군사·안보 분야뿐만 아니라 도시 계획, 재난 대응 등 다양한 분야로 확장 가능함. <p>3. 객관적이고 정량적인 건물 적합성 평가 모델 도입</p> <ul style="list-style-type: none"> • 전문가 의견(Delphi 기법)을 반영하여 천광 시스템 설치에 적합한 건물 평가 기준을 정립함. • 데이터 정규화 및 점수 평가 기법을 활용하여 객관적이고 정량적인 건물 적합성 평가가 가능함. • 수도권 내 최적의 건물을 선별함으로써, 제한된 자원을 효율적으로 활용하고 방어 효과를 극대화할 수 있음.
<p>연구요약</p>	<p>본 연구는 수도권 내 천광 시스템을 활용한 다층 방공망 구축을 목표로 하며, 기존 미사일 중심 방공망의 한계를 극복하고 AI 기반 위성 이미지 분석을 활용하여 최적의 방공 시스템 배치 후보지를 선정하는 방법론을 제안한다. 특히, 2단계(수도권 접경지역 건물 설치형 방공망 구축)를 중심으로 연구를 진행하여 수도권 외곽에서 드론 위협을 효과적으로 차단하는 전략을 수립하고자 한다.</p> <p>1. 3단계 방공 시스템 구축 전략 (2단계 중심 연구)</p> <p>북한의 드론 위협에 대응하기 위해 수도권을 중심으로 단계별 다층 방공 시스템을 구축하는 전략을 제시한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1단계: DMZ 지역 이동형 방공망 배치 <ul style="list-style-type: none"> • 북한 드론의 초기 침입을 감지하고 즉각 요격할 수 있도록 DMZ 지역과 접경지역에 이동형 방공 시스템(Block-Ⅱ) 배치 • 트럭, 장갑차 등에 탑재된 기동형 천광 시스템을 운용하여 유동적 방어 가능 • 기존 레이더 탐지 시스템과 정찰 드론을 병행 운영하여 실시간 감시체계 구축 • 2단계: 수도권 접경지역 건물 설치형 방공망 구축 (본 연구의 중심) <ul style="list-style-type: none"> • 수도권 방공망의 핵심 요소로서, DMZ 방공망을 돌파한 일부 드론을 수도권 외곽에서 차단 • 수도권 외곽 고층 건물 옥상에 설치형 천광 시스템(Block-Ⅰ) 배치 • 주요 시설과 도로망을 따라 건물 옥상을 활용하여 감시 및 요격 체계를 운영 • AI 기반 건물 옥상 탐지 모델을 활용하여 최적의 설치 후보지를 선정 • 수도권 내 방어망을 강화하고, 핵심 시설로의 드론 접근을 사전에 차단

- 3단계: 주요 국가시설 방어망 구축
 - 최후 방어선으로 국회, 군사 지휘소, 정부청사, 주요 공항 등 국가 중요시설 보호
 - 천광 시스템과 추가적인 방어체계를 조합하여 핵심 인프라 방어 능력 강화

2. AI 기반 건물 옥상 탐지 모델 개발 (2단계 방공망 구축을 위한 핵심)

천광 시스템을 수도권 접경지역 고층 건물에 효과적으로 배치하기 위해 AI 기반 위성 이미지 분석을 활용하여 최적 건물을 과학적으로 선정한다.

- 위성 이미지 데이터 수집 및 전처리
 - AI-Hub 및 Kakao Map 데이터를 활용하여 수도권 지역 건물 정보를 수집
 - 옥상 면적, 구조, 주변 환경을 분석하여 설치에 적합한 건물을 선별
- SAM-2 기반 옥상 탐지 모델 구축 및 Fine-Tuning
 - 최신 세그멘테이션 모델 SAM-2(Segment Anything Model-2)를 Fine-Tuning하여 건물 옥상 탐지 성능 최적화
 - 초해상화(Super-Resolution) 기법(Real-ESRGAN) 적용으로 탐지된 옥상의 해상도를 개선
 - 건물의 구조적 안정성을 분석하여 방공 시스템 설치에 적합한 후보지 선정
- 탐지된 옥상의 구조적 안정성 및 적합성 분석
 - 건물 옥상의 면적, 하중 지지 능력, 노후화 여부 등을 평가하여 안정성이 높은 건물 선별
 - 수도권 외곽 주요 시설과의 거리 및 시야 확보 여부를 분석하여 최적 건물 선정

3. Delphi 기법을 활용한 최적 건물 선정 (2단계 방공망 배치의 최적화)

객관적이고 정량적인 건물 평가 기준을 확립하고 Delphi 기법을 활용하여 최적 건물을 선정한다.

- 전문가 패널 구성 및 주요 요인 도출
 - 건축, 구조공학, 방공 시스템 분야 전문가 패널(5명 이상) 구성
 - 문헌 조사 및 사례 분석을 통해 천광 시스템 설치에 영향을 미치는 주요 요인 도출
- Delphi 설문조사 진행 및 요인별 가중치 설정

	<ul style="list-style-type: none">• 요인의 중요도를 평가하여 각 요인에 가중치를 부여• 1차 설문 후, 피드백을 반영하여 2차 설문을 진행하고 최종 합의 도출• 적합 건물 데이터 정규화 및 점수 평가<ul style="list-style-type: none">• Min-Max 정규화 및 Z-score 표준화를 적용하여 건물별 요인을 정규화• 주요 평가 항목:<ul style="list-style-type: none">• 옥상 면적(넓을수록 유리)• 층수(높을수록 유리)• 구조 안정성(철근콘크리트 구조 선호)• 노후화 정도(오래될수록 불리)• 주요 시설과의 거리(가까울수록 유리)• 주변 장애물 여부(시야 확보 가능 여부)• 최종 건물 후보 선정<ul style="list-style-type: none">• 평가 점수를 기반으로 최적의 상위권 건물 리스트 도출• 수도권 내 2단계 방공망 구축을 위한 최적의 천광 시스템 설치 위치 확정
키워드	옥상 탐지 모델, SAM-2기반 건물 탐지, 다층 방공망, 드론 방어 시스템, Delphi 기법

I. 서론

1. 연구의 필요성

최근 드론 기술의 발전과 군사적 활용 증가로 인해, 기존 방공망이 효과적으로 대응하지 못하는 새로운 위협이 등장하고 있다. 특히, 북한의 소형·저고도 드론 침입 사례는 기존 미사일 중심 방공 체계의 한계를 명확히 보여주었으며, 이에 따라 비대칭 전력에 효과적으로 대응할 수 있는 새로운 방공 시스템 구축이 시급한 상황이다.

기존 미사일 방공 체계는 탄도 미사일과 같은 대형 위협을 방어하는 데 초점이 맞춰져 있어, 기동성이 뛰어나고 저고도로 접근하는 드론 위협에 취약하다. 특히 수도권 지역은 국가 주요 기관, 군사 지휘소, 공항 및 발전소 등 핵심 시설이 밀집한 지역으로, 드론 공격에 대한 선제적 대응 체계가 필수적이다.

이에 따라, 천광 시스템을 활용한 다층 방공망 구축이 요구되며, 이를 위한 최적의 배치 위치 선정이 연구의 핵심 과제가 된다. 본 연구는 AI 기반 위성 이미지 분석을 활용하여, 수도권 내 최적의 방공 시스템 배치 후보지를 선정함으로써 과학적이고 객관적인 방공 전략을 수립하는 데 기여하고자 한다.

2. 선행연구와의 차별성

본 연구는 기존의 미사일 중심 방공 시스템이 아닌 **레이저 기반 방공 무기(천광 시스템)**를 활용한 새로운 방공 전략을 제시한다는 점에서 기존 연구와 차별성을 갖는다. 특히, AI 기반 위성 이미지 분석 기법을 적용하여 수도권 내 최적의 방공 시스템 배치 위치를 선정하는 방법론을 활용한다는 점에서 기존 연구들과 뚜렷한 차이를 보인다.

기존의 방공망 연구들은 주로 군사적 요충지 및 지리적 요인을 중심으로 이루어졌다. 예를 들어, 김학기(2020)는 다층 미사일 방어체계의 교전 계획을 수립하여 탄도미사일 방어를 위한 최적의 방공 시스템 구축 방법을 분석하였으며, 백경혁(2014)은 저고도 방공 레이더의 최적 배치 방안을 연구하여 제한된 자원으로 탐지율을 극대화하는 방법을 제안하였다. 또한, 윤승환(2015)은 KAMD 및 패트리엇 미사일 배치를 중심으로 장거리·고고도 위협(탄도미사일 등)에 대한 방어 전략을 다루었다. 그러나 이러한 연구들은 미사일 및 레이더 기반의 탐지·요격 시스템을 중심으로 진행되었기 때문에, 도심 지역에서 발생할 수 있는 소형 드론과 같은 신종 위협에 대한 대응 전략이 부족하다는 한계를 가진다. 특히, 수도권과 같은 고층 건물 밀집 지역에서는 기존의 레이더 탐지 방식이 효과적으로 작동하기 어렵고, 미사일 요격 시스템의 효율성도 낮아질 가능성이 크다는 점에서 새로운 접근법이 필요하다.

이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구는 AI 기반 위성 이미지 분석을 활용한 레이저 방공 시스템 배치 최적화 전략을 제시한다. 기존 연구에서도 위성 이미지를 활용한 건물 옥상 면적 탐지 모델(이현우 외, 2019)이 존재하였으나, 이를 방공 시스템 배치 연구와 연계한 사례는 없었다. 이에 본 연구에서는 META에서 2024년 8월 발표한 SAM-2 모델(Nikhila Ravi 외, 2024)을 수도권 내 옥상 탐지 분석에 적합하도록 파인튜닝하여 적용하고, 이를 통해 방공 시스템이 가장 효과적으로 운용될 수 있는 최적의 건물을 선정하는 방식으로 접근한다. 또한, 기존 연구들이 방공 시스템 배치 시 군사적 요충지나 레이더 탐지 범위에 초점을 맞추었던 것과 달리, 본 연구는 Delphi 기법(우병오 외, 2023)을 활용하여 천광 시스템 설치 시 고려해야 할 핵심 요인들을 정량적으로 분석하고, AI 기반 건물 옥상 탐지 데이터를 바탕으로 과학적 검증을 거친 최적의 배치 전략을 제시한다.

최근 우크라이나-러시아 전쟁에서 소형 드론이 전장 환경에서 중요한 역할을 하면서(김학기, 2023), 기존의 미사일 및 레이더 중심 방공망이 소형 드론과 같은 위협을 효과적으로 방어하기 어렵다는 점이 부각되었다. 이에 따라 본 연구는 하드킬 방식의 레이저 무기(서강일 외, 2023)를 도심 내 방공 전략에 도입함으로써, 기존의 재밍과 같은 소프트킬 방식이 아닌 군집드론까지 파괴할 수 있는 실질적인 요격 시스템을 구축하는 방안을 제안한다. 기존 연구에서도 레이더 탐지 시스템과 정찰 드론을 활용한 감시 전략(이남일, 2024)이 제시된 바 있으나, 이는 수도권과 같은 고밀도 도심 환경에서 효과적인 탐지 및 방어를 보장하기 어려운 한계를 가진다. 따라서 본 연구에서는 기존 미사일 중심의 방어 전략에서 벗어나, 건물 옥상을 활용한 레이저 기반 방공 시스템을 구축하는 방식(이경행, 2022)을 최초로 적용하여 도심 내 효과적인 방어망을 구축하는 새로운 접근법을 제시한다.

결론적으로, 본 연구는 AI 기반 위성 이미지 분석을 활용한 방공 시스템 배치 최적화, Delphi 기법을 활용한 정량적 분석, 레이저 기반 하드킬 방공 시스템 도입이라는 세 가지 차별화된 접근법을 통해 수도권 방공망의 효율성을 극대화하고자 한다. 기존 연구들이 미사일과 레이더 중심의 방어 전략에 머물렀던 반면, 본 연구는 고층 건물이 밀집한 도심 환경에 최적화된 방어 체계를 구축하고, 신종 위협(소형 드론)에 대한 효과적인 대응책을 마련한다는 점에서 새로운 방공 전략을 제시하는 데 의의가 있다. 이를 통해 수도권 내 방공망의 효과성을 향상시키고, 미래의 전장 환경 변화에 대응할 수 있는 실질적인 방어 전략을 제공하는 것이 본 연구의 핵심 차별점이라고 볼 수 있다.

3. 연구 목적의 타당성

본 연구의 최종 목표는 천광 시스템의 최적 배치 위치를 선정하여 수도권 방공망을 효과적으로 구축하는 것이다. 이를 위해, AI 기반 위성 이미지 분석과 건물 적합성 평가 기법을 적용하여, 수도권 내 최적의 건물을 과학적으로 선정하고자 한다. 이를 달성하기 위해 다음과 같은 세부 목표를 설정하였다.

1) 드론 방어를 위한 3단계 방공 시스템 구축 전략 수립

- 1단계: DMZ 지역 이동형 방공망 배치
- 2단계: 수도권 접경지역 건물 설치형 방공망 구축
- 3단계: 수도권 주요 국가시설 방어망 구축

2) AI 기반 위성 이미지 분석을 활용한 건물 옥상 탐지 모델 개발

- AI-Hub 위성 데이터와 Kakao Map 데이터를 활용하여 건물 데이터를 수집 및 전처리
- SAM-2 모델을 활용한 건물 옥상 탐지 모델 개발 및 Fine-Tuning
- 건물 옥상의 구조적 안정성 및 적합성 분석을 통한 최적 위치 도출

3) Delphi 기법을 활용한 설치 시 중요 요인 도출 및 최적 건물 선정

- 전문가 패널을 구성하여 설치시 고려해야 할 중요 요인을 도출
- 요인별 가중치를 설정하고 데이터 정규화를 통해 건물별 점수화 진행
- 최종 상위권 건물을 선정하여 천광 시스템 설치 최적 후보지 도출

본 연구를 통해 수도권 내 과학적이고 전략적인 방공망 구축이 가능해지고, 드론 위협에 효과적으로 대응할 수 있는 최적의 방공 시스템 배치 방안을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 연구 범위

본 연구는 천광 시스템의 수도권 내 최적 배치 위치를 선정하는 것을 목표로 하며, 이를 위해 방공망 구축, AI 기반 탐지 모델 개발, 건물 적합성 평가의 세 가지 주요 연구 범위를 설정하였다.

1) **공간적 범위:** 본 연구의 공간적 범위는 수도권 방어를 위한 2단계에서 우선, 수도 서울 방어를 위해 서울 외곽 지역 내 건물을 분석 대상으로 한다.

- 연구 대상 지역: 서울과 인접한 접경지역 내 적합 건물의 옥상 활용 대상
- 분석 대상 건물: 서울특별시 외곽 지역 내 공공시설, 군사시설, 고층 건물 등 방공 시스템 설치가 가능한 건물

2) **기술적 범위:** 본 연구에서는 AI 기반 위성 이미지 분석을 활용한 건물 옥상 탐지 모델을 구축하고, 이를 통해 천광 시스템 설치에 적합한 건물을 과학적으로 선정하는 과정을 수행한다.

- 위성 이미지 데이터 활용: AI-Hub 위성 이미지, Kakao Map 데이터 등
- AI 모델 적용: SAM-2(Segment Anything Model-2) 기반의 옥상 탐지 모델 구축 및 Fine-Tuning
- Delphi 기법 활용: 전문가 패널을 통한 건물 적합성 평가 및 가중치 설정

3) **내용적 범위:** 본 연구는 천광 시스템의 수도권 내 최적 배치를 위한 3단계 연구 과정으로 진행된다.

① 다층 방공망 구축 전략

- 1단계: DMZ 지역 이동형 방공망 배치(초기 대응)
- 2단계: 수도권 접경지역 건물 설치형 방공망 구축(추가 방어층 형성)
- 3단계: 주요 국가시설 방어망 구축(최종 방어선)

② AI 기반 위성 이미지 분석 및 건물 옥상 탐지 모델 구축

- AI-Hub 및 Kakao Map 데이터를 활용한 위성 이미지 수집 및 전처리
- SAM-2 모델을 활용한 건물 옥상 탐지 모델 구축 및 성능 평가
- 초해상화 기법(Real-ESRGAN)을 활용한 탐지 성능 최적화

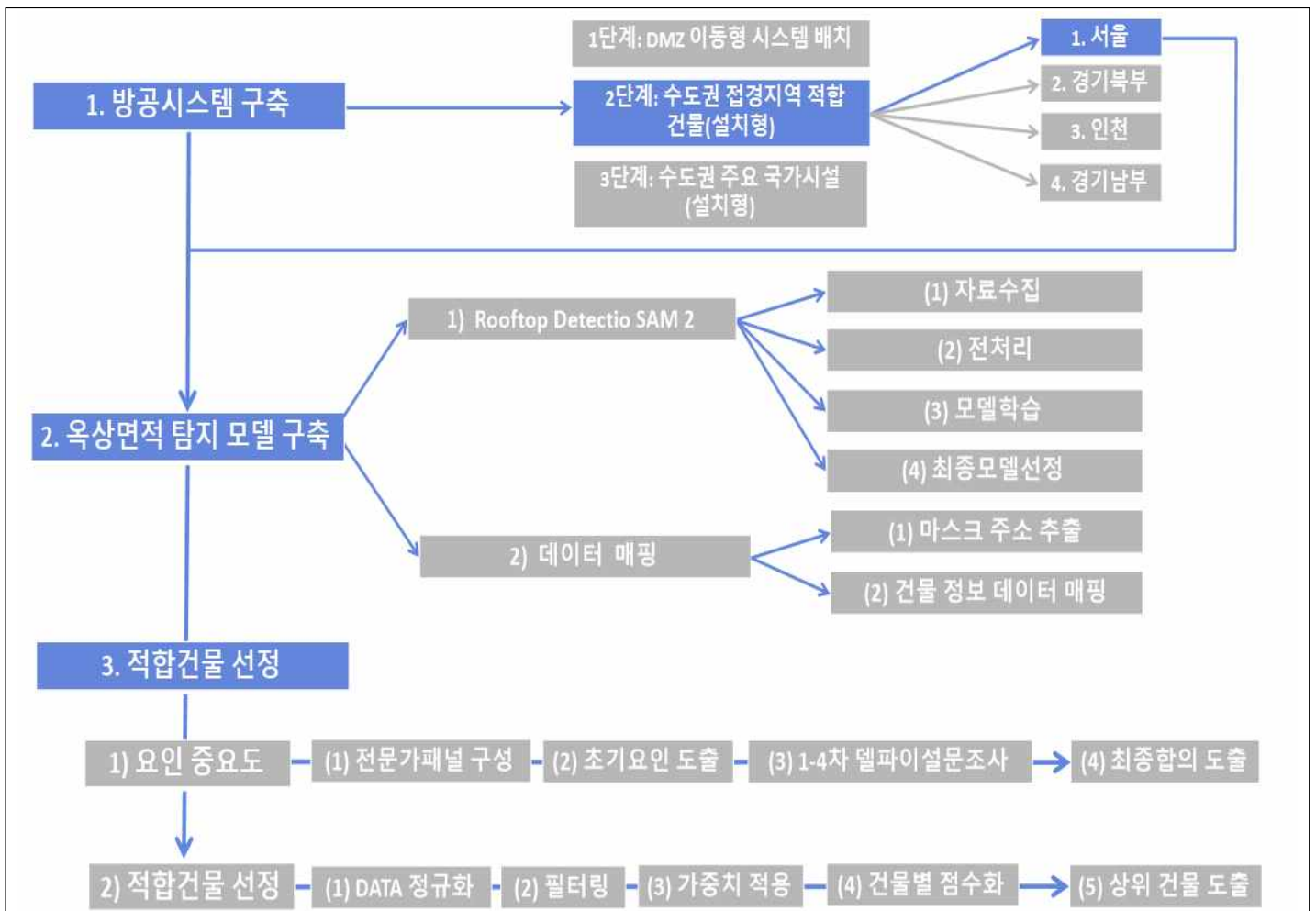
③ 설치 적합 건물 평가 요인 도출 및 최적 건물 선정

- Delphi 기법을 활용한 설치 적합 건물 평가 요인 도출 및 가중치 설정

- 정량적 평가를 위한 데이터 정규화 및 점수화 진행
- 최종적으로 천광 시스템 설치에 가장 적합한 건물 선정

본 연구에서는 3단계 중 2단계(수도권 접경지역 건물 설치형 방공망 구축)에 초점을 맞춘다. 수도권 내 주요 건물 옥상을 활용하여 천광 시스템을 효과적으로 배치하는 것이 연구의 핵심이며, 이를 위해 AI 기반 위성 이미지 분석과 설치 적합 건물 평가 요인 도출 및 최적 건물 선정을 위해 Delphi 기법을 적용한다.

<표> 연구전개 방향



자료: 저자 작성

II. 연구내용 및 방법

1. 방공시스템 구축

1) 기존 방공 시스템의 한계

기존 방공 시스템은 미사일 중심으로 설계되어 있어 소형·저고도 드론 위협에 효과적으로 대응하기 어렵다. 특히, 최근 북한의 드론 침입 사례는 기존 방어 체계의 한계를 명확히 드러냈으며, 드론을 이용한 다양한 공격 형태(정찰, 전자전, 폭탄 투하 등)에 대한 대응책 마련이 필수적이다.

- (1) **북한의 드론 침입 위협 증가:** 최근 북한 무인기의 대한민국 영공 침입 사례는 기존의 방공망 시스템으로는 소형이고 기동성이 뛰어난 드론에 대한 효과적인 대응이 불가능하다는 문제를 드러냈다. 특히 기존 방공망은 탄도 미사일 등 대형 위협에 초점을 맞추고 있어, 저고도 고속 비행하는 드론에 대한 대응 능력이 부족한 실정이다.
- (2) **현대전에서 드론의 중요성 증가:** 우크라이나-러시아 전쟁에서 드론이 정찰, 공격 및 무인 전투수단으로 중요한 역할을 한 것을 보면, 드론은 이제 현대전의 핵심 전략 자산이 되었다. 이러한 변화는 특히 드론 방공시스템의 필요성을 더욱 강조합니다. 드론이 실제로 전장에 미치는 영향력은 날로 확대되고 있다.
- (3) **기존 미사일 방공체계 보완 필요:** 한국의 다층 미사일 방어체계는 미사일과 같은 대형 위협에 적합하지만, 저속·저고도로 접근하는 군집 드론에는 한계가 있다. 이로 인해 드론 방어를 위한 전문화된 방공 시스템 도입이 필수적이다. 이러한 필요성은 국가 안보 및 방위 능력을 더욱 강화하는 기회로 작용하고 있다.

기존 방공 시스템은 미사일 중심으로 설계되어 있어, 소형·저고도 드론 위협에 효과적으로 대응하기 어렵다. 특히, 북한의 드론 침입 사례는 기존 미사일 중심 방어 체계가 소형·기동성이 뛰어난 드론을 탐지하고 차단하는 데 취약함을 명확히 보여주었다.

현대전에서 드론의 활용이 증가함에 따라, 정찰·전자전·공격 기능을 수행하는 드론을 효과적으로 방어할 수 있는 새로운 방공 체계 구축이 필수적이다. 기존 방공망의 한계를 극복하고 드론 위협에 대응하기 위해서는, 저비용·고효율 방어가 가능한 새로운 시스템을 도입하여 단계별·다층적인 방공 시스템을 구축할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 단계별 방공 시스템을 구축하여 드론 위협에 효과적으로 대응할 수 있는 체계를 마련하고자 한다. 이를 위해 북한 드론의 침투 경로 및 위협 수준을 고려한 3단계 방어 체계를 구성한다. 우선, 1단계에서는 DMZ 지역에 이동형(Block-Ⅱ) 방공 시스템을 배치하여 초기 침투를 차단하고, 북한 드론이 남하하기 전에 신속하게 탐지 및 요격할 수 있도록 한다. 이동형 시스템은 트럭 또는 장갑차에 탑재되어 유동적으로 운용 가능하며, 다양한 지형과 작전 상황에 대응할 수 있도록 설계된다.

그리고 2단계에서는 수도권 접경지역 주요 건물에 설치형(Block-Ⅰ) 방공 시스템을 구축하여, 1단계에서 완전히 차단하지 못한 드론 위협을 수도권 접근 전에 방어한다. 특히, 본 연구에서는 수도 서울을 최우선 방

어 대상으로 설정하고, 서울 인근 접경지역 고층 건물 옥상에 방공 시스템을 설치하여 감시·요격 능력을 극대화하고자 한다.

3단계에서는 주요 국가시설 방어 체계를 구축하여 국가 안보를 최종적으로 보호한다. 국회, 정부청사, 군사 지휘소 등 핵심 인프라를 대상으로 천광 시스템 및 추가적인 방공망을 구축하여, 국가 중요시설이 드론 공격으로부터 안전하게 보호될 수 있도록 한다. 이와 같은 3단계 방공 시스템을 통해 북한의 드론 위협을 효과적으로 차단하고, 수도권 및 국가 중요시설을 보호하는 체계를 확립하는 것이 본 연구의 목표이다.

<그림> 단계별 방공시스템 구축 방향



자료: 저자 작성

2) 단계별 방공시스템 구축 전략

(1) 1단계 : DMZ 지역 이동형(Block-Ⅱ) 방공 시스템 배치

- ① 목표: 1단계 방공 시스템은 북한 드론이 대한민국 영공에 침입하는 초기 단계에서 신속하게 탐지·요격하여, 수도권 및 후방 지역으로 위협이 확산되는 것을 사전에 차단하는 것을 목표로 한다. 북한이 드론을 이용해 정찰, 전자전, 또는 직접적인 공격을 시도할 경우, 이를 DMZ 지역에서 조기에 탐지하고 요격하여 방어망의 부담을 줄이는 전략을 수행한다.
- ② 배치 대상 및 기준:
 - DMZ 지역 전방 및 후방 기지 중심 배치: 드론 침입 가능성이 가장 높은 지역인 군사분계선 인근에 배치하여 수도권 접근 전에 차단할 수 있도록 방어 거점 구축한다.
 - 이동형 방공 시스템 활용: 트럭·장갑차에 탑재된 천광 시스템을 기동적으로 운용하여, 다양한 지형과 작전 환경에서 효과적인 대응 가능하다.
 - 정찰 드론 및 레이더 기반 탐지 시스템 병행 운영: 기존 레이더 시스템과 정찰 드론을 함께 활용하여 드론 이동 경로를 실시간 감시 및 요격 가능하다.
- ③ 전략적 효과

- 북한 드론이 수도권에 도달하기 전에 조기에 차단하여, 수도권 및 국가 중요시설 방어 부담 감소할 수 있다.
- 1단계 방공 시스템이 수도권 방어망의 첫 번째 방어선 역할을 수행하며, 이후 2·3단계 방공망과 연계하여 다층적인 방어 체계 구축한다.
- 북한 드론의 침입 경로를 따라 입체적인 방어망을 형성함으로써, 수도권 및 국가 주요 시설을 효과적으로 보호하는 종합적인 방공 전략 완성할 수 있다.

(2) 2단계: 수도권 접경지역 건물 설치형(Block-I) 방공 시스템 구축

① **목표:** 1단계 방공 시스템을 통과한 일부 드론이 수도권으로 접근할 가능성을 고려하여, 서울 및 접경지역 내 주요 건물 옥상에 방공 시스템을 설치함으로써 추가 방어망을 구축한다. 이 단계의 핵심 목표는 북한 드론이 수도 서울로 진입하기 전에 수도권 외곽에서 조기 차단하는 것이다. 이를 위해, 접경지역 및 수도권 내 전략적 요충지의 고층 건물을 활용하여 방공 시스템을 배치하고, 드론의 이동 경로를 감시·요격할 수 있는 체계를 마련한다.

② 수도권 내 방공 시스템 배치 전략

- 우선 방어 지역 선정: 수도권 지역을 서울, 경기 북부, 인천, 경기 남부로 구분하여 분석한다. 본 연구에서는 국가 중요시설이 밀집된 수도 서울을 최우선 방어 대상으로 설정하였다. 서울로 진입하는 주요 경로인 경기 북부 및 인천 지역을 중심으로 방공 시스템 배치한다.
- 방공 시스템 배치 대상: 서울과 인접한 접경지역 내 적합 건물의 옥상 활용한다. 수도권으로 접근하는 드론을 차단하기 위해 설치에 고려해야 할 요인들을 참고해서 적합 건물을 선정하여 방공 시스템을 배치한다.

③ 건물 선정 기준

- 옥상 설치 적합성: 건물 옥상은 별도의 토지 확보 없이 즉시 방공 시스템을 설치할 수 있는 장점을 가진다. 그리고 넓은 시야를 확보할 수 있어, 드론의 접근 경로를 감시하고 요격하는 데 효과적이다.
- 주요 요인 선정: 수도권 접경지역에 방공 시스템을 효과적으로 배치하기 위해, 고층 건물 활용, 주요 기반시설 인근 배치, 구조적 안정성 및 유지보수 용이성을 고려한 최적의 건물을 선정해야 한다. 이를 위해 전문가 설문조사를 통해 방공 시스템 설치에 고려해야 할 주요 요인을 도출한다.

④ 전략적 효과

- 서울로 접근하는 드론의 조기 차단 및 수도권 방어망 강화: 수도권 접경지역의 건물 옥상에 방공 시스템을 구축하여 서울로 접근하는 드론을 조기에 탐지하고 요격함으로써 수도권 방어망을 강화할 수 있다. 이를 통해 수도권 내 드론 침입을 사전에 차단하고, 서울 및 국가 중요시설 보호 효과를 극대화할 수 있다. 또한, 1단계 방공 시스템과 연계하여 다층적인 방어 체계를 구축함으로써, 보다 정밀하고 효율적인 작전 수행이 가능하도록 지원한다.
- 도심 내 안전한 방공 시스템 구축: 2단계 방공 시스템은 도심 내에서도 안전하게 운용될 수 있도록 설계되었으며, 기존의 미사일 요격 체계와 달리 오발 및 파편 피해의 위험이 없다. 특히, 천광

시스템을 활용하여 민간 피해를 최소화하면서도 효과적인 요격이 가능하다. 또한, 옥상에 배치되므로 추가적인 토지 확보가 필요하지 않으며, 신속한 설치와 운영이 가능해 경제적이고 효율적인 방공망을 구축할 수 있다. 이러한 시스템을 통해 수도권 내 주요 시설과 인구 밀집 지역을 보호하며, 특히 수도 서울의 방어력을 강화할 수 있다.

- 통합 감시망 운영을 통한 수도권 전역 실시간 방어 가능: 도권 방공망은 1단계 방공망(DMZ 지역 이동형 방공 시스템)과 연계하여 수도권 접근 드론을 실시간으로 탐지하고 신속하게 대응할 수 있도록 구성된다. 또한, 3단계 방공망(주요 국가시설 방어)과 연결하여 국가 중요시설 보호를 강화하고, 수도권 및 핵심 기반시설을 위협으로부터 안전하게 방어할 수 있는 종합적인 방어 체계를 구축할 수 있다. 이를 통해 수도권 전역의 감시망을 통합하고, 실시간으로 방공망을 운영함으로써 드론 위협에 대한 대응 능력을 극대화할 수 있을 것으로 기대된다.

(3) 3단계: 주요 국가시설 방어

- ① 목적: 1단계와 2단계에서 이동형 및 설치형 방공시스템을 통해 북한 드론의 초동 침투를 최대한 차단하더라도, 일부 위협이 완전히 제거되지 않을 수 있다. 이러한 잔여 위협이 국가의 핵심 기능과 국민 생활에 직접적인 영향을 미칠 경우, 국가중요시설의 기능 마비 및 혼란이 초래될 위험이 크다. 따라서 3단계에서는 국회, 군사 지휘소, 주요 경제기관 등 국가의 핵심 인프라를 대상으로 추가적인 방어층을 구축하여, 드론 위협으로부터 국가 중요시설을 보호하고, 비상 상황시에도 안정적인 국가 운영 및 전시 전력 유지가 가능하도록 하는 것이 목표로 한다.
- ② 배치 대상: 국회, 군사 지휘소, 주요 경제 기관 등의 국가 중요 시설(참조 표)에 천광 시스템을 배치하여 방어 체계를 강화한다. 추가적으로 천광 외에도 소형 유도탄 방공체계 등과 병행하여 다층 방공 시스템을 구축한다.

<표> 국가중요시설의 분류

구 분	내 용	분 류
“가”급	적에 의하여 점령 또는 파괴되거나, 기능 마비시 국민생활에 심대한 영향을 미칠 수 있는 시설.	대통령실(용산, 이미 설치), 국회의사당(여의도), 대법원(서초), 정부중앙청사(서울, 과천, 대전), 국방부(용산), 국기정보원 청사(서초), 한국은행 본점(광화문), 한국조폐공사(대전 유성), 정유업체(SK이노베이션-증평, 청주, GS칼텍스-인천 서구, 여수, 에스오일-울산 울주), 제철소, 조선소(삼성중공업, 대우중공업-거제 현대중공업-울산), LPG인수기지(SK가스-울산) 등
“나”급	적에 의하여 점령 또는 파괴되거나, 기능 마비시 국민생활에 중대한 영향을 미칠 수 있는 시설.	중앙행정기관 각 부처 및 이에 준하는 기관, 대검찰청-서초, 경찰청-서대문구, 기상청-동작, 한국수출입은행 본점-여의도, 한국산업은행 본점-여의도, 발전소(GS동해전력-동해) 등
“다”급	적에 의하여 점령 또는 파괴되거나, 기능 마비시 국민생활에 상당한 영향을 미칠 수 있는 시설	국가정보원 지부(대외비), 한국은행 각 지역 본부, 다수의 정부기관이 입주한 남북출입관리시설(고성), 기타 중요 국공립 기관 등

*방위산업체는 회사별 상이

자료: 「국가중요시설 지정및방호훈령」(2021) 저자 재구성

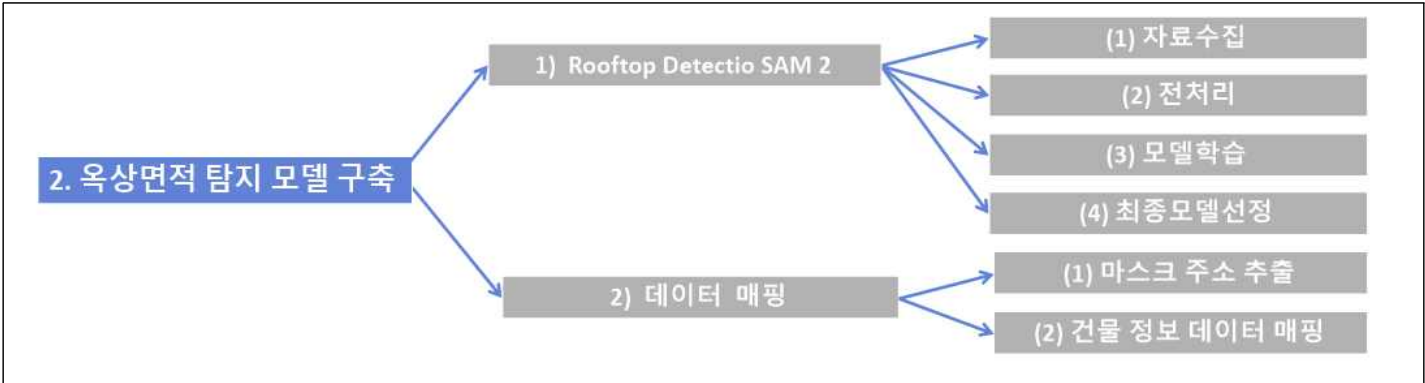
③ 전략적 효과

- 국가 핵심 기능 보호 및 국가 안보 강화: 국회, 정부 기관, 군사 시설 등 국가 중요시설을 보호하여 위기 상황에서도 안정적인 국가 운영을 보장하고, 드론 공격에 의한 안보 위협을 사전에 차단한다.
- 최종 방어선 역할 수행 및 수도권 방어망 완성: 국회, 정부 기관, 군사 시설 등 국가 중요시설을 보호하여 위기 상황에서도 안정적인 국가 운영을 보장하고, 드론 공격에 의한 안보 위협을 사전에 차단한다.
- 다층 방어망 구축을 통한 효율적인 드론 대응 시스템 운영: 천광 시스템과 소형 유도탄 방공체계를 결합하여 다양한 공격 유형에 대응하며, AI 기반 자동 탐지·요격 시스템을 적용하여 실시간 감시 및 신속한 대응이 가능하다.

2. 옥상면적 탐지모델 구축

천광 시스템의 최적 설치 위치를 선정하기 위해서는 건물 옥상의 면적을 정확히 탐지하는 모델을 구축하고, 이를 기반으로 적합 건물을 도출하는 것이 필수적이다. 이를 위해 위성 이미지 및 항공 사진 데이터를 활용하여 옥상 탐지 모델을 개발하고, 탐지된 옥상의 위치 정보를 주소 데이터와 매핑하여 실질적인 건물 선정이 가능하도록 한다. 본 연구에서는 1) SAM-2 기반 탐지 모델 구축과 2) 데이터 매핑 및 마스크 주소 추출의 두 단계로 구성하여 수행하였다.옥상면적 탐지모델 구축과정은 다음 <그림>과 같다.

<그림> 옥상면적 탐지모델 구축 과정



자료: 저자작성

1) Rooftop Detection SAM2

본 연구의 목표는 천광 시스템의 최적 설치 위치를 선정하기 위해 건물 옥상의 면적을 정밀하게 탐지할 수 있는 AI 모델을 구축하는 것이다. 이를 위해 SAM-2(Segment Anything Model-2)를 기반으로 Fine-Tuning을 수행(김동은, 2025)하여 모델을 최적화하고, 건물 옥상을 효과적으로 탐지할 수 있도록 한다.

SAM-2는 Meta에서 2024년 7월에 출시된 최신 세그멘테이션(이미지 분할) 모델로, 기존 SAM 모델 대비 6배 빠른 연산 속도와 향상된 정확도를 제공한다. 특히, 제로샷(Zero-Shot) 성능이 강화되어 사전 학습된 데이터셋에 포함되지 않은 새로운 객체도 실시간으로 탐지할 수 있는 특징을 갖고 있어, 건물 객체 탐지 및 옥상 면적 분석에 최적화된 모델로 평가된다.

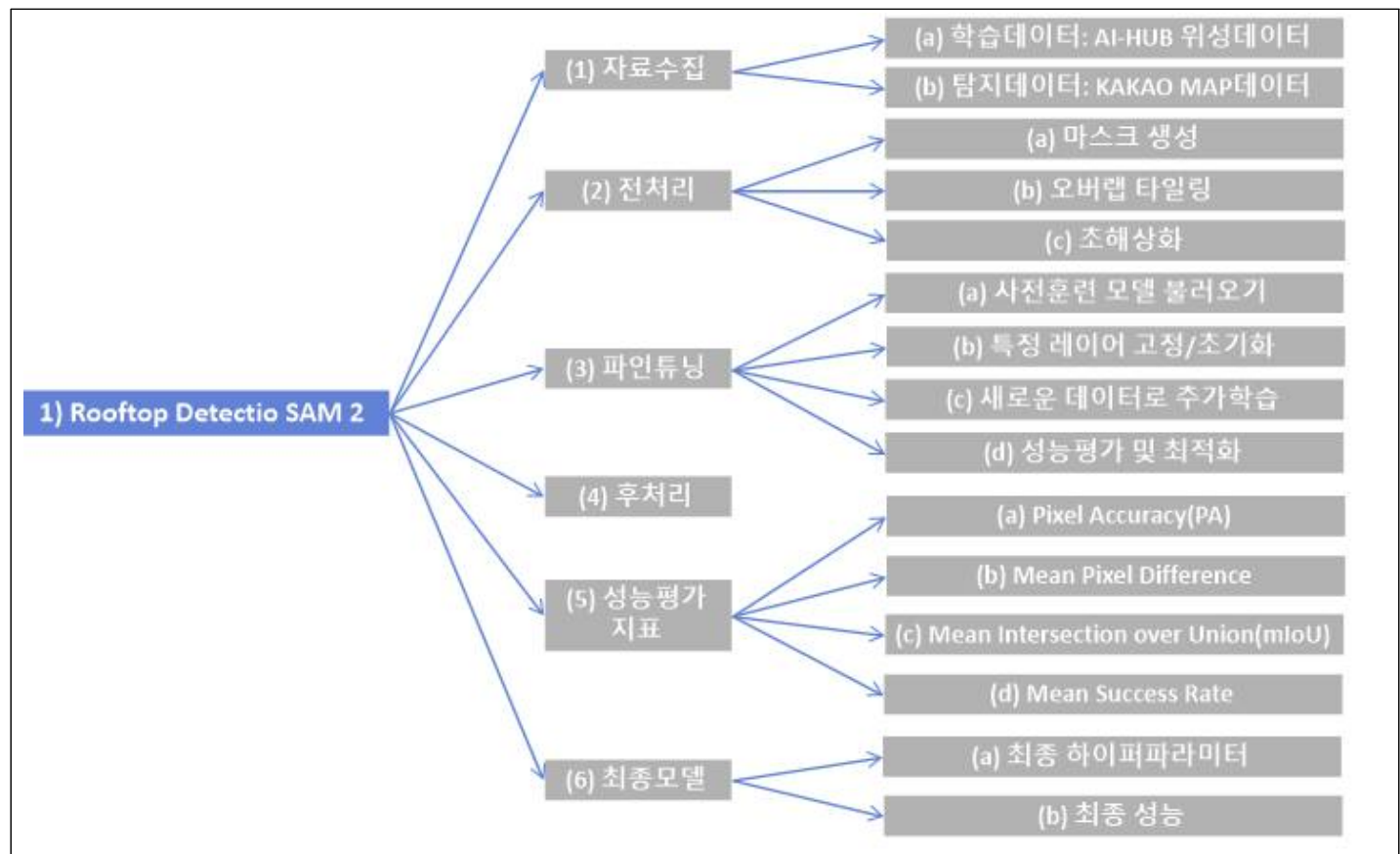
본 연구에서는 서울 외곽 3km 지점을 중심으로 천광 시스템 설치를 위한 최적의 건물 옥상을 탐지하는 모델을 개발하는 것을 핵심 목표로 설정하였다. 이를 위해, 위성 이미지에서 건물 옥상을 정확히 분할하고 분석할 수 있는 최적의 세그멘테이션 모델을 선정해야 했다. 다양한 최신 모델을 비교 분석한 결과, Meta에서 출시한 SAM-2 모델이 가장 높은 성능을 보이는 것으로 평가되어 최종적으로 채택하였다.

위성 이미지에는 건물뿐만 아니라 도로, 주차장, 가로수 등 다양한 객체가 혼재되어 있어 건물 옥상을 정확하게 분할하는 것이 매우 어려운 문제이다. 기존의 객체 탐지 모델들은 일반적인 도시 환경에서는 높은 성능을 보였지만, 위성 이미지처럼 객체 간 경계가 모호한 환경에서는 탐지 성능이 저하되는 문제가 존재하였다. SAM-2는 위성 이미지에서도 강력한 세그멘테이션 성능을 발휘하며, 복잡한 환경에서도 건물 옥상을 정확하게 분할할 수 있는 능력을 갖추고 있어 본 연구의 요구 사항을 충족하는 모델로 선정되었다.

천광 시스템 설치를 위한 건물 옥상 탐지 모델에서는 정확한 면적 측정이 필수적이며, 탐지 오류를 최소화해야 한다. 기존의 Mask R-CNN과 같은 객체 탐지 모델들은 학습된 데이터셋에서는 높은 성능을 보였지만, 다중 단계 구조로 인해 연산량이 많아 속도가 느리고 실시간 객체 탐지에는 적합하지 않은 모델이다.(Kaiming He, 2017). 이에 반해, SAM-2는 제로샷(Zero-Shot) 성능이 강화되어 사전 학습된 데이터셋에 없는 새로운 객체도 실시간으로 탐지할 수 있으며, 다양한 환경에서도 높은 정확도를 유지할 수 있는 강점을 보인다.

본 연구에서는 SAM-2 모델을 Fine-Tuning하여 위성 이미지를 활용한 건물 옥상 탐지 모델을 구축하고, 이를 통해 천광 시스템 설치를 위한 최적의 옥상 위치를 선정하는 과정을 모형화하였다. 이를 위해 전체 프로세스를 자료 수집, 전처리, 파인튜닝, 성능 평가, 최종 모델 선정의 5단계로 구분하였다.

<그림> Rooftop Detection SAM-2 모델 구축 및 최적화 과정



자료: 저자작성

(1) 자료수집(Data Collection)

① 학습데이터: AI-Hub 위성 데이터 활용

- AI-Hub에서 제공하는 ‘토지 피복지도 항공위성 이미지’를 활용하여 수도권 지역을 대상으로 위성 데이터를 수집한다. 해당 데이터는 픽셀 해상도 0.51m, 1024×1024 해상도의 고해상도 위성 이미지 3,300장을 포함하며, 이를 통해 수도권 내 건물과 지형 정보를 정밀하게 분석할 수 있다. 또한, 건

물, 주차장, 도로, 가로수 등의 라벨링 이미지가 포함되어 있어, 정확한 객체 분류 및 분석이 가능하도록 지원한다. 이러한 데이터를 활용하여 옥상 면적 탐지 및 건물 적합성 평가를 수행할 수 있으며, 방공 시스템 구축을 위한 최적의 후보지를 선별하는 데 활용된다.

② 탐지데이터: Kakao Map 데이터 추가 수집

- 위성 이미지의 보완을 위해 Kakao Map의 건물 데이터를 추가로 활용하여 보다 정밀한 분석이 가능하도록 구성한다. AI-Hub의 위성 이미지는 수도권 전역을 대상으로 제공되지만, 보다 높은 해상도의 건물 정보와 도심 내 세부적인 지형 데이터를 확보하기 위해 Kakao Map 데이터를 병행하여 수집한다.
- Kakao Map의 도로, 건물 높이, 지형 특성 등 상세한 공간 데이터를 활용하여 위성 이미지에서 부족한 정보를 보완하며, 이를 통해 천광 시스템의 최적 배치 위치를 선정하는 데 보다 정밀한 의사결정이 가능해진다. 또한, 서울을 격자로 나누어 지도 데이터를 자동 수집하는 시스템과 연계하여, 일정한 좌표를 기반으로 지도 이미지와 건물 데이터를 효과적으로 확보할 수 있도록 한다.
- 이를 통해, 서울 외곽 3km 지점을 기점으로 무인 항공기의 진입을 차단하는 천광 시스템의 최적 배치 위치를 선정하고, 효과적인 방어 거점을 구축하는 데 필요한 핵심 데이터 기반을 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

(2) 데이터 전처리(Preprocessing)

① 마스크 생성 (Mask Generation)

- AI-Hub에서 제공하는 라벨링 데이터에는 건물, 도로, 주차장, 가로수 등 다양한 객체가 포함되어 있어, 천광 배치를 위한 건물 객체만을 필터링하여 활용해야 한다.
- 이를 위해 건물 객체만을 선택적으로 추출하여 마스크(Mask)를 생성하고, 탐지 모델이 건물 영역을 명확하게 학습할 수 있도록 데이터를 정제한다.
- 마스크 생성 과정에서는 라벨링 데이터의 Gray Scale 값을 활용하여 건물 픽셀만 필터링하며, 이를 이진화(Binarization)(김용민 외, 2012) 처리하여 탐지 성능을 향상시킨다.

<표> 클래스 항목별 코드 및 Gray scale값

ann_code	ann_name	GrayScale	비고
10	건물	10	항공/위성
20	주차장	20	항공
30	도로	30	항공/위성
40	가로수	40	항공
50	논	50	항공/위성
60	밭	60	항공/위성
70	산림	70	항공/위성
80	나지	80	항공
0	비대상지	100	항공/위성

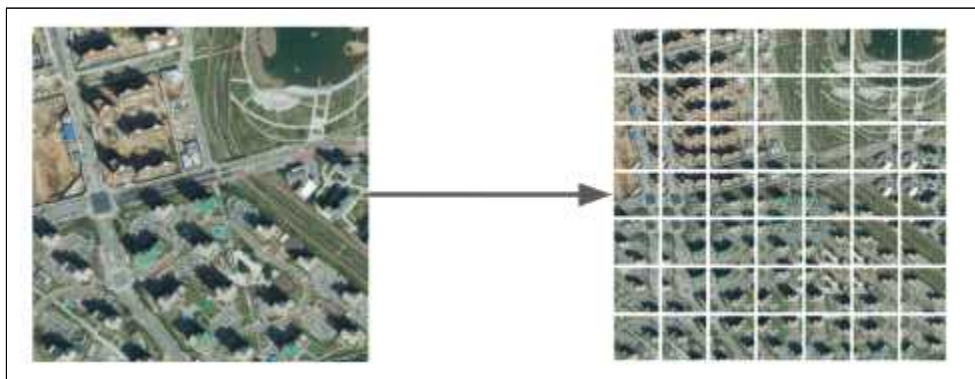
자료: AI-Hub 토지 피복지도 항공위성 이미지(수도권) 데이터 설명서

- AI-Hub에서는 항공사진과 함께 라벨 데이터를 제공하며, 해당 라벨 데이터는 Gray Scale 값을 기반으로 객체를 구분한다. 각 객체 유형은 고유한 Gray Scale 값을 가지며, 이를 활용하여 특정 객체(예: 건물, 도로, 주차장 등)를 분리할 수 있다. 위 표는 객체의 종류와 그에 따른 Gray Scale 값을 정리한 것이다.

② 오버랩 타일(Overlap-tile)

- AI-Hub에서 제공하는 위성 이미지는 1024×1024 해상도이며, 개별 건물이 이미지 내에서 차지하는 비율이 상대적으로 작아 탐지 성능이 저하될 수 있다. 이를 해결하기 위해 이미지를 일정 크기로 분할하는 ‘오버랩 타일(Overlap-tile)’(최선빈 외, 2021) 기법을 적용하여 건물 객체의 비율을 증가시킨다.

<그림> 위성 이미지 → 오버랩 타일



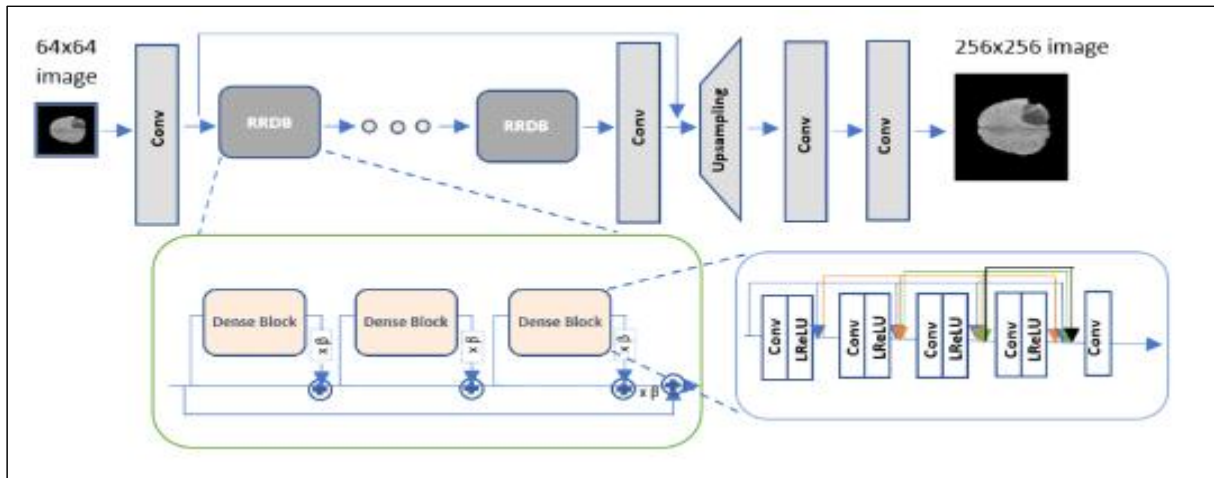
자료: AI-Hub 토지 피복지도. <https://www.aihub.or.kr/>(검색일:)

- 특히, 건물 경계에서 잘리는 문제를 방지하기 위해 ‘오버랩 타일(Overlap-tile)’ 기법을 적용하여 50% 중첩된 타일을 생성한다.
- 예시: 원본 이미지 → 512×512 크기의 타일로 분할, 각 타일은 50%씩 겹쳐서 생성됨
- 중첩된 영역을 활용하여 건물 경계 부분도 탐지 가능하도록 개선

③ 초해상화 (Super-Resolution)

- 타일링된 이미지는 원본 대비 화질이 저하될 수밖에 없으며, 이는 객체 탐지 성능에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 화질을 개선하는 과정이 필요하며, 이를 ‘초해상화(Super-Resolution)’라고 한다. 초해상화는 저해상도 이미지를 고해상도로 변환하는 기법(최현진 외, 2023)으로, 객체의 경계를 보다 뚜렷하게 만들어 모델이 정확하게 탐지할 수 있도록 돕는다.

<그림> Real-ESRGAN의 구조



자료: Single MR image super-resolution using generative adversarial network(Rashid, S. I. 외, 2022)

- Real-ESRGAN은 기존의 ESRGAN(Enhanced Super-Resolution GAN) 모델을 개선한 딥러닝 기반 모델로, 실제(real-world) 저해상도 이미지에서도 강건한 복원 성능을 보이는 것이 특징이다. 이를 활용하여 타일링된 이미지의 해상도를 향상(김혜주 외, 2023)시키고, 보다 선명한 입력 데이터를 제공함으로써 객체 탐지 모델의 성능을 극대화하고자 하였다.

<그림> 초해상화



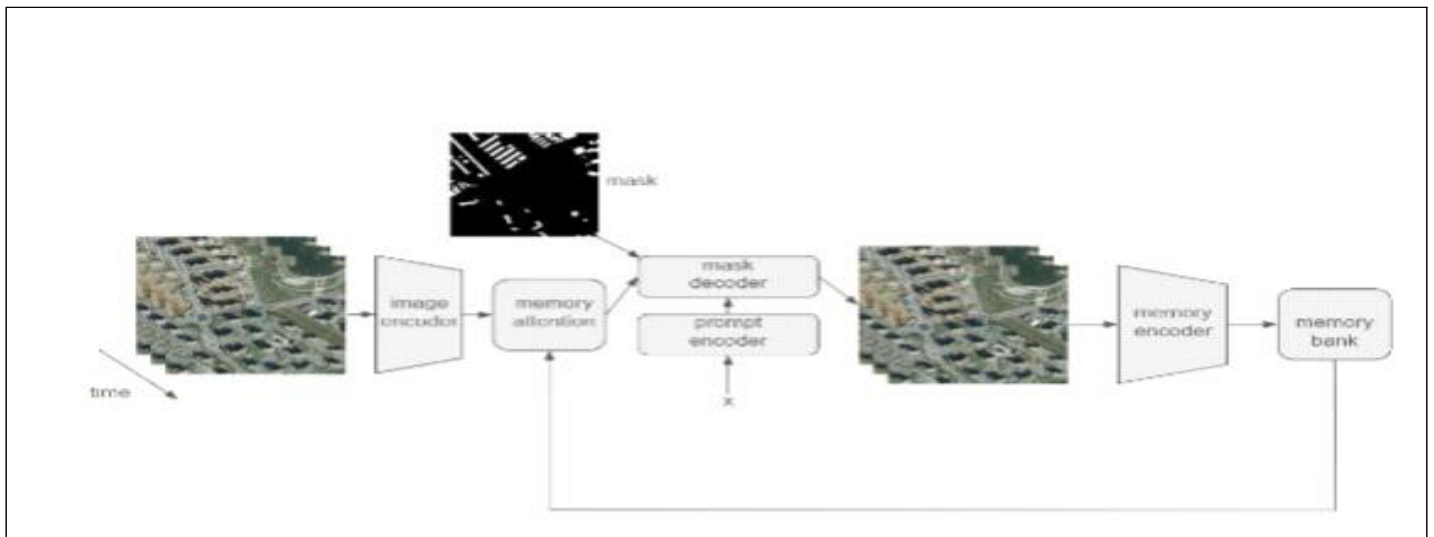
자료: AI-hub 토지 피복지도

- 위 그림은 AI-Hub에서 수집한 토지 피복지도 데이터를 타일링한 후, 초해상화를 적용하여 화질을 개선한 결과이다. 타일링 과정에서 해상도가 낮아진 이미지는 초해상화를 통해 보다 선명한 형태로 복원되었으며, 특히 객체의 경계가 뚜렷해지고 색감이 강화되는 특징을 보인다. 이를 통해 모델이 객체를 보다 정확하게 탐지할 수 있도록 도와주며, 작은 객체의 디테일이 보존되는 효과도 기대할 수 있다.

(3) 파인튜닝(Fine-Tuning)

파인튜닝(Fine-Tuning)은 사전 학습된 SAM-2(Segment Anything Model-2) 모델을 위성 이미지 기반 건물 옥상 탐지 작업에 최적화하는 과정이다. 기존의 가중치를 유지하면서도 새로운 데이터셋에 맞춰 미세 조정(Fine-Tuning)하여 정확도를 극대화하는 것이 목표이다. 이를 위해 본 연구에서는 (1) 학습 준비 단계, (2) 이미지 인코더 적용, (3) 프롬프트 인코더 생략, (4) 마스크 디코더 적용, (5) 어텐션 메커니즘 적용의 5 단계에 걸쳐 파인튜닝을 수행하였다. 각 단계의 학습주요 과정은 다음 <그림>과 같다.

<그림> SAM-2 Fine-Tuning 학습주요 과정



자료: 저자 작성

1단계 학습준비 단계로 SAM-2 모델을 활용하여 위성 이미지에서 건물 옥상을 탐지하는 작업을 수행한다. 이를 위해 학습 데이터셋을 구성하고, 최적의 학습 환경을 설정하는 과정이 필요하다. 따라서 학습 이미지와 마스크 데이터를 정확히 매핑하여 모델이 건물 옥상을 효과적으로 인식할 수 있도록 데이터셋을 구축한다. 그리고 하이퍼파라미터 최적화 작업을 수행하여 모델 학습 성능을 극대화한다. 여기에는 학습률(Learning Rate), 오차율(Error Rate), 스케일러(Scaler), 에포크(Epochs), 배치 크기(Batch Size) 등의 조정이 포함된다. 이러한 설정을 통해 모델이 건물 옥상을 보다 정확하게 탐지하고, 다양한 환경에서도 일관된 성능을 유지할 수 있도록 한다.

2단계 이미지 인코더 (Image Encoder)로 SAM-2 모델은 ViT(Vision Transformer) 기반의 인코더 구조를 활용하여 위성 이미지를 처리하며, 건물 옥상을 정밀하게 탐지하기 위해 이미지를 작은 패치(Patch) 단위로 분할한 후, 이를 임베딩(Embedding)하여 학습 가능하도록 변환하는 과정을 수행한다. 이러한 방식은 모델이 전체 이미지의 구조를 이해하고, 건물 옥상과 배경(도로, 주차장, 가로수 등)을 효과적으로 구별하는데 중요한 역할을 한다. 또한, 위치 인코딩(Position Encoding) 기법을 적용하여 건물 객체의 공간적 관계를 유지하면서 모델이 학습할 수 있도록 하며, 이를 통해 건물 옥상의 상대적 위치를 인식하고 인접한 건물과의 관계를 분석하여 탐지 성능을 향상시킨다. 특히, 멀티헤드 어텐션(Multi-Head Attention) 메커니즘을

활용하여, 이미지 내 다양한 부분을 동시에 분석하고 건물 옥상의 경계를 보다 명확하게 구분할 수 있도록 한다. 위성 이미지에서는 건물과 도로, 주차장 등의 배경 요소가 혼재되어 있기 때문에, 어텐션 메커니즘을 적용하면 건물 객체와 배경을 효과적으로 구별할 수 있으며, 탐지 정확도를 극대화할 수 있다. 이를 통해, 위성 이미지에서 건물 옥상을 더욱 정밀하게 탐지하고, 천광 시스템 설치를 위한 최적의 위치를 선정할 수 있도록 지원한다

3단계인 프롬프트 인코더 (Prompt Encoder)는 본 연구에서 생략한다. SAM-2 모델은 다양한 입력 방식 (점(Point), 박스(Box), 마스크(Mask))을 활용하여 객체를 탐지하는 기능을 제공하지만, 본 연구에서는 건물 옥상을 전체적으로 탐지하는 작업이므로, 특정 지점에 대한 프롬프트 입력이 필요하지 않는다. 따라서 프롬프트 인코딩 과정을 생략하고, 전체 위성 이미지에서 자동으로 객체를 분할하는 방식으로 Fine-Tuning을 진행한다. 이를 통해 보다 직관적인 방식으로 건물 옥상 탐지를 수행하고, 불필요한 추가 입력 없이 모델을 최적화할 수 있다.

4단계인 마스크 디코더 (Mask Decoder)는 SAM-2 모델에서 마스크 디코더는 이미지의 특징(Feature)과 프롬프트 정보를 결합하여 최종적으로 객체를 분할하는 역할을 수행한다. 트랜스포머(Transformer) 기반의 구조를 활용하여, 위성 이미지 내 복잡한 공간적 관계를 효과적으로 모델링한다. 건물 옥상의 경계를 명확하게 구분하고, 배경 요소(도로, 주차장, 가로수 등)와 혼동되지 않도록 탐지 성능을 향상시킨다. 이러한 과정은 천광 시스템이 설치될 건물 옥상을 정확하게 인식하는 데 중요한 역할을 한다.

5단계인 어텐션 메커니즘 (Attention Mechanism) 적용으로 SAM-2 모델은 어텐션 메커니즘을 활용하여 위성 이미지에서 건물 옥상을 더욱 정밀하게 탐지할 수 있도록 한다. 멀티헤드 크로스 어텐션 (Multi-Head Cross Attention)을 적용하여 이미지의 특징과 건물 옥상 탐지 정보를 학습한다. 또한, 자기 어텐션(Self-Attention) 기법을 활용하여, 건물 옥상의 구조적 일관성을 유지하고 탐지 성능을 최적화한다. 이를 통해, 다양한 환경에서도 건물 옥상의 경계를 정확히 탐지하고, 일정한 품질을 유지하는 모델을 구축할 수 있다.

Fine-Tuning을 통해 학습된 Rooftop Detection SAM-2 모델은 위성 이미지에서 건물 옥상을 정밀하게 탐지하고 면적을 분석할 수 있도록 최적화되었다. 이미지 인코더를 활용하여 건물 객체를 보다 명확하게 분석하고, 마스크 디코더를 통해 옥상 탐지 성능을 향상시켰다. 어텐션 메커니즘을 활용하여 건물 옥상의 구조를 더욱 정밀하게 인식하며, 서울 외곽 3km 방공망 구축을 위한 최적의 천광 설치 위치를 선정하는 데 활용할 수 있다. 이를 통해, 천광 시스템 배치를 위한 데이터 기반 분석의 신뢰성을 높이고, 위성 이미지 기반 옥상 탐지 모델의 정확도를 극대화할 수 있을 것으로 기대된다.

(4) 후처리

(1) 형태학적 연산(Morphological Operations) 적용

- 형태학적 연산은 이미지의 형태나 구조를 변형하는 비선형 연산 기법으로, 본 연구에서는 탐지된 마스크의 성능을 향상시키기 위해 적용된다. 특히, 건물 옥상 탐지 과정에서 발생할 수 있는 노이즈를 제거하고 경계를 보다 명확하게 하기 위해 열림(Opening)과 닫힘(Closing) 연산을 수행(김휘송 외, 2022)한다. 이를 통해 탐지된 건물 옥상의 형태를 보존하면서도 불필요한 오차를 최소화할 수

있다.

① 열림 연산 (Opening): 열림 연산은 침식(Erosion) 후 팽창(Dilation)을 순차적으로 적용하는 과정으로, 객체 내부의 작은 구멍을 메우고 경계를 부드럽게 하는 역할

- 열린 영상(Opening)은 침식(Erosion) 연산 후 팽창(Dilation) 연산을 순차적으로 적용하는 방식으로, 주로 작은 노이즈를 제거하고 객체 내부의 작은 구멍을 메우는 데 활용된다. 본 연구에서는 위성 이미지에서 건물 옥상을 보다 명확하게 탐지하기 위해 열린 영상 기법을 적용하였다. 이를 통해 탐지된 건물 옥상 내의 작은 결함을 제거하고, 인접한 건물 경계를 보다 부드럽게 조정함으로써 최적의 탐지 성능을 확보할 수 있다. 특히, 탐지된 옥상 영역이 불완전하게 연결되어 있을 경우, 열린 영상 기법을 통해 세부 구조를 유지하면서도 건물의 형태를 보다 정확하게 복원하는 것이 가능하다. 또한, 열린 영상 연산을 통해 인접한 옥상 객체들이 부드럽게 연결되며, 건물 외곽의 경계선이 보다 자연스럽게 형성된다.

② 닫힘 연산 (Closing) :닫힘 연산은 팽창(Dilation) 후 침식(Erosion)을 순차적으로 적용하는 과정으로, 작은 물체나 돌기를 제거하고 불필요한 노이즈를 줄이는 역할

- 닫힌 영상(Closing)은 팽창(Dilation) 연산 후 침식(Erosion) 연산을 순차적으로 적용하는 방식으로, 탐지된 건물 옥상의 외곽선을 강화하고, 불필요한 작은 틈이나 간격을 제거하는 역할을 한다. 본 연구에서는 건물 옥상의 탐지 결과에서 발생할 수 있는 미세한 단절을 보완하고, 객체를 보다 명확하게 구분하기 위해 닫힌 영상 기법을 적용하였다. 닫힘 연산을 통해 탐지된 건물 옥상의 형태를 보다 선명하게 만들고, 불필요한 작은 물체나 돌출된 부분을 정리함으로써 탐지 성능을 최적화할 수 있다. 특히, 탐지된 건물 영역의 경계가 불규칙하거나 조밀한 구조를 가질 경우, 닫힌 영상 기법을 활용하여 객체를 보다 일관되게 유지할 수 있으며, 이를 통해 천광 시스템 배치를 위한 건물 적합성 평가의 신뢰도를 높일 수 있다.

(5) 성능평가 지표

① Pixel Accuracy(PA): 전체 픽셀 중 올바르게 예측된 픽셀 비율

- 객체의 면적을 탐지하는 모델에서 기본적인 분할 성능을 확인하기 위한 지표로 Pixel Accuracy(PA)를 사용(박혁진 외, 2023)한다. PA는 전체 픽셀 중 올바르게 예측된 픽셀의 비율을 나타내며, 배경 픽셀과 객체 픽셀을 포함하여 모델이 얼마나 정확하게 분류했는지를 평가하는 척도이다.

$$PA = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

- TP(True Positive): 객체를 올바르게 예측한 픽셀 수

- TN(True Negative): 배경을 올바르게 예측한 픽셀 수
- FP(False Positive): 배경을 객체로 잘못 예측한 픽셀 수
- FN(False Negative): 객체를 배경으로 잘못 예측한 픽셀 수

• PA 값이 높을수록 모델이 전체적으로 정확한 예측을 수행했음을 의미하지만, 이는 클래스 간 불균형이 존재할 경우 과대평가될 수 있는 한계를 가진다. 예를 들어, 배경 픽셀이 객체 픽셀보다 압도적으로 많은 경우, 단순히 배경을 잘 예측하는 것만으로도 높은 PA 값을 얻을 수 있다. 따라서, PA는 모델의 전반적인 정확도를 확인하는 데 유용하지만, 객체의 분할 성능을 보다 정밀하게 평가하기 위해서는 IoU(Intersection over Union) 등 다른 지표와 함께 고려하는 것이 바람직하다.

② Intersection over Union(IoU): 모델이 예측한 객체 영역과 실제 객체 영역이 겹치는 비율

- 객체의 분할 성능을 정밀하게 평가하기 어려운 Pixel Accuracy(PA)를 보완하기 위해, Intersection over Union(IoU) 성능 지표(Sina Mohammadi 외, 2021)를 활용하는 것이 중요하다. IoU는 객체 영역의 정확도를 측정하는 대표적인 지표로, 모델이 예측한 객체 영역과 실제 객체 영역이 얼마나 겹치는지를 평가하는 척도이다

$$IoU = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \qquad IoU = \frac{TP}{TP + FP + FN}$$

*A: Ground Truth(실제 객체 영역), B: Prediction(예측한 객체 영역)
 *AB: 예측과 실체가 겹치는 영역(True Positive), A B: 예측과 실제의 합집합 영역

- IoU 값은 예측된 영역과 실제 객체 영역의 교집합을 합집합으로 나눈 비율로 계산되며, 값이 1에 가까울수록 예측이 정확함을 의미한다. 일반적으로 IoU 값이 0.5 이상일 경우 모델이 충분히 좋은 성능을 보였다고 간주된다. IoU는 객체 탐지 및 분할 문제에서 특히 중요한 성능 지표로, Pixel Accuracy와 함께 사용함으로써 모델의 분할 정확도를 보다 종합적으로 평가할 수 있다.

③ Mean IoU(mIoU): 모든 객체(건물)에 대한 IoU 값을 평균 계산하여 모델의 일관된 성능 평가

- 한 이미지에서 탐지된 건물을 개별 클래스로 간주하는 Instance Segmentation 모델에서는 모든 클래스에서 평이한 수준의 성능을 보이는지 확인할 필요가 있다. 이를 위해 mIoU(Mean Intersection over Union) 성능 지표(박혁진 외, 2023)를 사용한다.

$$mIoU = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N IoU_i$$

- mIoU는 각 클래스별 IoU를 계산한 후, 그 값을 평균하여 모델의 전체적인 성능을 평가하는 방법이다. 이를 통해 모델이 다양한 객체 클래스에서 얼마나 고르게 성능을 발휘하는지를 파악할 수 있으며, 특정 클래스에서 성능이 떨어지는 문제를 식별하는 데 유용하다. mIoU 값이 높을수록 모델이 여러 클래스에서 일관되게 정확한 예측을 수행하고 있음을 나타낸다.

- ④ Mean Pixel Difference: 실제 객체 영역(Ground Truth)와 예측한 객체의 영역(Prediction)의 픽셀 수 차이

$$mPD = \sum_{i=1}^1 (M_{gt} \neq M_{pred})$$

- ⑤ Mean Success Rate: 실제 객체 영역(Ground Truth) 중 모델이 예측한 객체의 영역(Prediction)의 비율

$$MeanSuccessRate = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^1 \left(\frac{Prediction_i}{GroundTruth_i} \cdot 100 \right)$$

- MSR은 선행 연구 객체 검출 및 추적 성능을 평가하는 유용한 지표이지만, 몇 가지 한계를 가진다. 첫째, 작은 객체의 경우 예측 박스가 실제 객체와 약간만 어긋나도 SR 값이 급격히 감소할 수 있다. 둘째, 객체의 모양과 크기가 변하는 경우 MSR이 이를 충분히 반영하지 못할 수 있다. 이를 보완하기 위해 IoU와 MSR을 함께 고려하는 복합 평가 방법이 제안된다.

(6) 최종모델

① 최종 하이퍼파라미터

- 본 연구에서는 회차 실험을 수행하여 휴리스틱한 방법으로 최적의 하이퍼파라미터를 도출하였다. 초기 설정값을 기반으로 다양한 조합을 실험적으로 탐색하였으며, 각 실험 결과를 분석하여 최적의 성능을 보이는 파라미터를 선정하였다.
- 각 실험은 독립적으로 수행되었으며, 성능 평가 지표(mPA, mIoU, mPD, mSR)를 기반으로 최적의 조합을 도출하였다.
 - model: sam2_hiera_base_plus.pt
 - epoch: 2
 - batch_size: 4
 - learning_rate: 1e-4
 - loss: 0.05
 - post-processing: open-closed
 - weight decay: 4e-5

② 최종 성능

- 본 연구에서는 위성 이미지 기반 건물 옥상 탐지 모델의 성능을 정량화하기 위해 다양한 성능 지표를 활용하였다. 모델의 분할 정확도를 분석하기 위해 Mean Pixel Accuracy(MPA), Intersection over Union(IoU), Mean IoU(mIoU), Mean Pixel Difference(MPD), Mean Success Rate(MSR) 등의 평가 지표를 적용하였으며, 이를 통해 모델이 실제 환경에서 얼마나 안정적으로 건물 옥상을 탐지할 수 있는지를 검증하였다.

<주요 성능 지표>

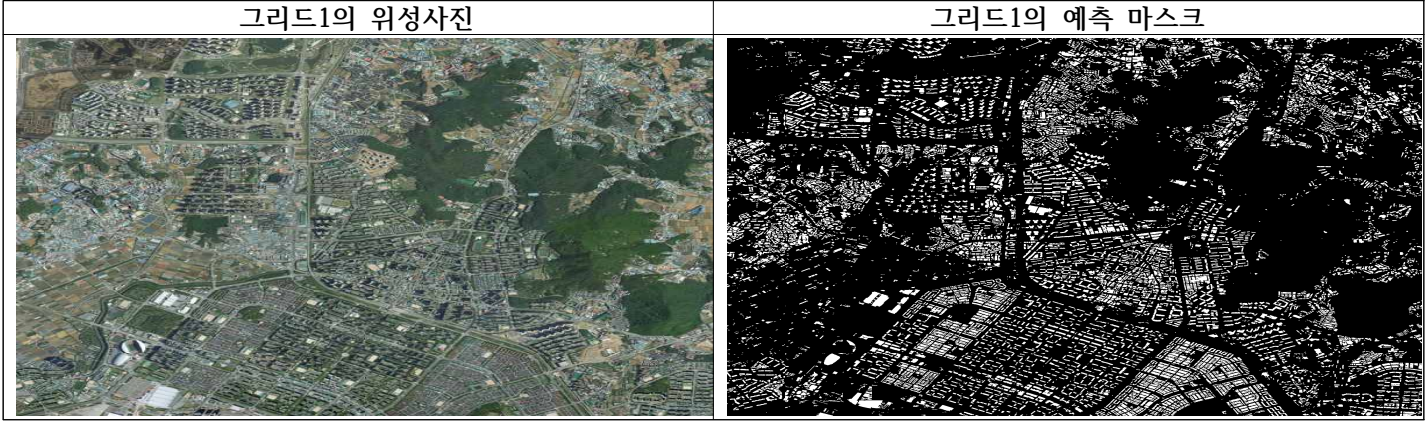
Mean Pixel Accuracy	Mean IoU	Mean Mean IoU	Mean Pixel Difference	Mean Success Rate
0.9507	0.5665	0.7547	12929.7335	78.6255

자료: 저자 작성

- Mean Pixel Accuracy(MPA)는 전체 픽셀 중에서 올바르게 분류된 픽셀의 비율을 의미하며, 본 연구에서 95.07%의 높은 값을 기록하였다. 이는 모델이 대부분의 건물 영역을 정확하게 탐지하고 있으며, 픽셀 단위에서 높은 정확도를 유지하고 있음을 시사 한다. 높은 MPA 값은 특히 위성 영상에서 건물 옥상을 탐지하는 데 있어 신뢰도가 높다는 것을 의미하며, 모델이 세부적인 건물 경계까지도 효과적으로 구별하고 있음을 보여준다.
- Intersection over Union(IoU)는 모델이 예측한 건물 영역과 실제 건물 영역(Ground Truth)이 얼마나 일치하는지를 측정하는 지표로, 56.65%의 결과를 보였다. 이는 모델이 상당한 수준의 객체 분할 성능을 갖추고 있지만, 일부 경계 영역에서 오차가 발생할 가능성이 있음을 나타낸다.
- 그러나, 모든 건물 크기에서 IoU를 평균적으로 측정한 Mean Mean IoU(mIoU) 값은 75.47%로 확인되었다. 이는 다양한 건물 크기에서도 모델이 일정 수준 이상의 성능을 유지하고 있으며, 대부분의 건물을 안정적으로 탐지할 수 있음을 의미 한다. 특히, IoU 값이 특정 크기의 건물에서만 높은 것이 아니라 다양한 형태의 건물에서도 균형 잡힌 성능을 발휘하고 있음을 확인 할 수 있다.
- Mean Success Rate(MSR)은 모델이 실제 건물 영역을 얼마나 안정적으로 탐지할 수 있는지를 평가하는 지표이다. 본 연구에서는 78.63%의 MSR을 기록하였으며, 이는 모델이 일관된 성능을 유지하면서도 신뢰할 수 있는 건물 탐지를 수행하고 있음을 의미 한다.
- 특히, 위성 이미지 환경에서 건물 탐지는 배경(도로, 주차장 등)과의 경계가 모호한 경우가 많지만, 본 모델은 이러한 어려운 조건에서도 상당한 수준의 탐지 성공률을 보이며 안정적인 성능을 유지하고 있음을 보여준다.
- Mean Pixel Difference(MPD)는 실제 건물 영역과 모델이 예측한 건물 영역 간의 픽셀 차이를 측정하는 지표이다. 본 연구에서는 12929.7335 픽셀의 차이를 기록 하였으며, 이는 모델이 특정 경계 부분에서 미세한 차이를 보일 가능성을 나타낸다.
- MPD 값이 높은 것은 모델이 일부 지역에서 세밀한 픽셀 수준의 탐지 오차를 발생시킬 가능성이 있음을 시사하지만, 육안으로 분석한 결과 모델이 건물 영역을 매우 정밀하게 분할하고 있으며, 시

각적으로도 높은 품질의 탐지 성능을 보이고 있음이 확인 되었다. 따라서, 일부 미세한 오차를 보완하기 위해 후처리 과정을 추가하면 더욱 높은 정확도를 기대할 수 있을 것이다.

<그림> 그리드1의 위성사진과 예측 마스크



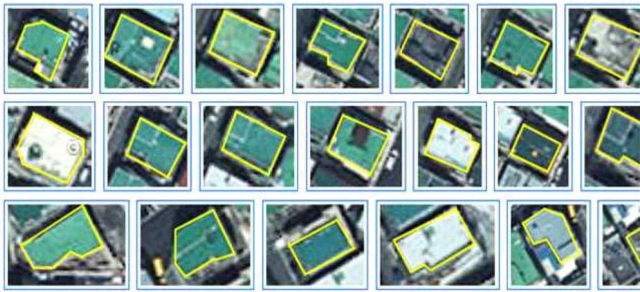

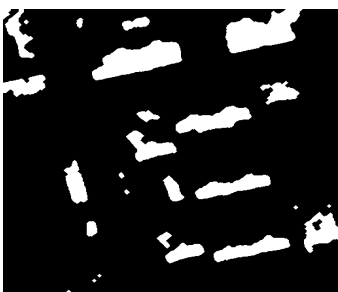
자료: 카카오맵 API

- 모델의 성능 평가 지표를 수치적으로 분석한 것뿐만 아니라, 탐지된 결과를 실제 위성 이미지에서 육안으로 검토한 결과에서도 높은 품질을 유지하고 있음을 확인 하였다. 즉, 모델이 숫자로 평가되는 지표뿐만 아니라 실제 활용 가능성 측면에서도 안정적인 성능을 보이고 있음이 입증되었다.

(7) 선행연구와 비교분석

본 연구에서 구축한 Rooftop Area Detection SAM-2 모델의 성능을 기존 연구 결과와 비교하여 분석한 결과, 객체 탐지 성능에서 일부 차이가 존재한다. 이를 구체적으로 살펴보면 다음과 <그림>과 같다.

<표> 선행연구 결과와의 비교

Mask R-CNN 모델		SAM2 모델	
			
mPA		mPA	0.9502
mPD		mPD	11737.17
mSR	84.36	mSR	78.65

자료: 딥러닝을 활용한 건물 옥상 면적 계산 모델(이현우 외, 2019)

본 연구에서 수행한 SAM-2 기반 Rooftop Area Detection의 탐지 성능을 기존 연구(이현우 외, 2019)와 비교한 결과, 기존 연구(이현우 외, 2019)에서 보고된 성능보다 상대적으로 낮은 값이 도출되었다. 기존 연구에서는 Mask R-CNN 모델을 활용하여 객체 탐지를 수행하였으며, Mean Success Rate(mSR)이 84.36%로 높은 수준의 탐지 성능을 기록한 것으로 나타났다. 반면, 본 연구에서는 SAM-2 모델을 활용하여 탐지를 수행한 결과, 전체적인 탐지 성능이 78.65%로 기존 연구의 성능에 미치지 못하는 것으로 분석되었다.

이러한 성능 차이는 여러 요인에서 기인한 것으로 보인다. 우선, 기존 연구에서는 상대적으로 단순한 환경에서 탐지를 수행하였으며, 탐지 대상이 되는 건물이 명확하게 구별될 수 있는 조건에서 실험이 진행되었다. 즉, 단일 건물 또는 분리된 건물들만을 탐지 대상으로 설정하여 모델의 정확도가 높게 측정될 수 있었다. 반면, 본 연구에서는 이미지 속에 다수의 객체가 혼재된 복잡한 환경에서 탐지를 수행하였다. 위성 이미지에서는 건물 외에도 도로, 주차장, 가로수, 기타 인프라 시설이 함께 존재하며, 이러한 요소들이 탐지 성능에 영향을 미친 것으로 판단된다. 특히, 여러 개의 건물이 중첩되거나 경계가 불분명한 상황에서 탐지 모델이 정확하게 건물 옥상을 구별하는 데 어려움을 겪었을 가능성이 크다.

또한, 모델의 학습 데이터 구성 방식에서도 차이가 존재할 수 있다. 기존 연구에서 사용한 모델은 특정 데이터셋에 맞춰 최적화된 상태에서 평가되었으며, 사전 훈련된 가중치를 활용하여 높은 성능을 확보할 수 있었다. 반면, 본 연구에서는 SAM-2 모델을 활용하여 다양한 환경에서 탐지를 수행하였으며, 특히 위성 이미지 기반 탐지에서 데이터의 다양성과 복잡성이 성능에 영향을 미쳤을 가능성이 높다. 특히, SAM-2 모델은 제로샷(Zero-Shot) 학습 성능이 강화된 모델로, 기존 연구에서 사용한 특정 데이터셋보다 더 다양한 데이터에 적용할 수 있는 장점을 가지고 있지만, 특정 도메인에 대한 최적화가 부족할 경우 기존 연구 대비 성능 저하가 발생할 수 있다.

추가적으로, 본 연구에서는 후처리 기법의 차이도 성능 차이를 유발한 요인 중 하나로 분석된다. 기존 연구에서는 탐지된 객체에 대해 정밀한 후처리 과정을 거쳐 모델의 최종 성능을 보정하는 방식이 적용되었을 가능성이 있다. 반면, 본 연구에서는 후처리 과정에서 Open-Closed 연산 방식을 적용하였으나, 경계가 모호한 건물들에 대한 보정이 충분히 이루어지지 않았을 가능성이 있다. 따라서, 후처리 기법을 보완하여 탐지된 건물 옥상의 경계를 보다 명확하게 조정할 필요성이 있다.

결론적으로, 본 연구와 기존 연구 간 탐지 성능 차이는 탐지 대상의 복잡성, 데이터 구성 방식, 모델 최적화 수준, 후처리 기법의 차이에서 기인한 것으로 분석된다. 기존 연구에서는 비교적 단순한 환경에서 탐지를 수행하여 높은 mSR 값을 기록한 반면, 본 연구에서는 다수의 객체가 포함된 복잡한 위성 이미지 환경에서 탐지를 수행함으로써 성능이 다소 낮게 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로, 향후 연구에서는 SAM-2 모델의 추가적인 파인튜닝(Fine-Tuning), 데이터셋의 정교한 구축, 후처리 기법 개선 등을 통해 탐지 성능을 더욱 향상시킬 필요가 있다. 이를 통해, 보다 현실적인 환경에서 높은 탐지 정확도를 유지할 수 있는 옥상 탐지 모델을 구축하고, 천광 시스템 배치의 최적화를 위한 신뢰성 높은 데이터를 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

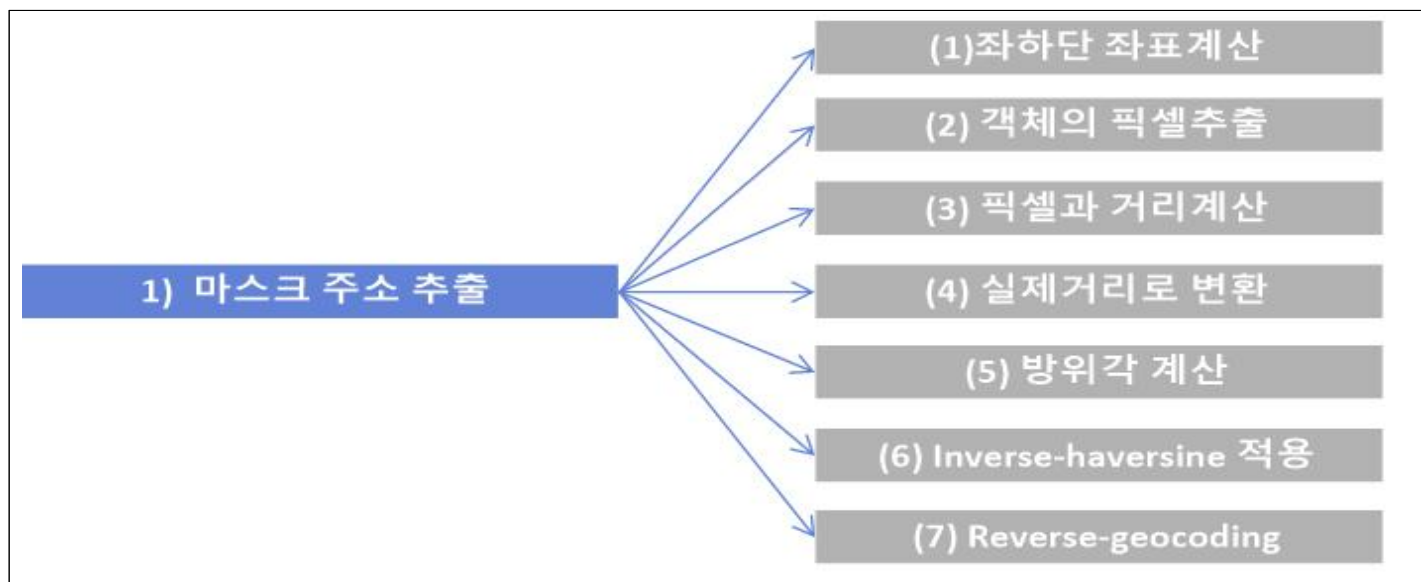
2) 데이터 매핑

(1) 마스크 주소 추출

천광 시스템을 설치하기 위해 탐지된 옥상 객체의 정확한 위치를 도출하고 이를 실제 주소와 매핑하는 과정이 필요하다. 이를 위해 위성 이미지 기반으로 생성된 마스크 데이터를 활용하여 건물의 위치를 정밀하게 분석한다. 본 연구에서는 Haversine 및 Inverse Haversine 공식을 적용하여 좌표 변환을 수행한 후, Reverse Geocoding을 활용하여 최종 주소를 도출하는 방식으로 데이터를 매핑하였다. 마스크에서 주소를

추출하는 과정은 크게 7단계로 구성된다(참조 그림)

<그림>마스크 주소 추출과정



자료: 저자작성

① 좌하단 좌표 계산(Bottom-left Coordinate Calculation)

- 탐지된 객체의 정확한 위치를 산출하기 위해, 먼저 이미지 내 그리드의 좌하단 좌표를 계산한다. 본 연구에서는 1024×1024 해상도의 위성 이미지를 사용하며, 한 픽셀당 약 0.51m의 실제 거리로 환산할 수 있다. 중심 좌표를(A_{lat} , A_{lon})이라고 할 때, 좌하단 좌표(B_{lat} , B_{lon})은 위도 1도당 111km, 경도 1도당 88km임을 가정하여 다음과 같이 산출된다.

$$B_{lat} = A_{lat} - \frac{((0.51 \cdot 1024)/111000)}{2} \quad B_{lon} = A_{lon} - \frac{((0.51 \cdot 1024)/88000)}{2}$$

- 이렇게 구한 좌하단 좌표는 이후 탐지된 객체의 위치를 변환하는 기준점이 된다.

② 객체의 픽셀 추출

- 탐지된 객체의 픽셀을 추출하고, 이를 이용하여 좌하단 좌표로부터 거리와 위치를 분석한다. 우선, OpenCV의 `cv2.connectedComponentsWithStats` 함수를 활용하여 객체의 픽셀을 추출한다. `centroids`값을 사용하여 중심 좌표를 결정한다. 그리고 4-이웃 연결(4-neighbor connectivity) 방식을 적용하여 객체의 영역을 정밀하게 탐지한다. 픽셀 간 거리 계산은 유클리드 거리(Euclidean Distance) 공식을 사용하여, 좌하단 좌표로부터 객체까지의 거리(d)를 계산한다.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

- 또한, 픽셀 간 거리를 실제 거리로 변환: 구한 픽셀 간의 거리에 픽셀당 실제 거리를 반영하여 연산하면, 그리드의 좌하단 지점으로부터 객체까지의 실제 거리를 도출할 수 있다.

③ 픽셀과 거리계산

- 탐지된 객체의 중심 픽셀과 좌하단 좌표 간의 거리를 계산하기 위해, 유클리드 거리(Euclidean Distance) 공식을 사용한다. 유클리드 거리 공식은 다음과 같다.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

- 여기서,
- (x_1, y_1) : 좌하단 좌표의 픽셀 위치
- (x_2, y_2) : 탐지된 객체의 중심 픽셀 위치
- d : 픽셀 단위 거리

④ 실제거리로 변환

- 구한 픽셀 간의 거리에 픽셀당 실제 거리인 0.51m를 반영하여 계산하면, 그리드의 좌하단 지점으로부터 객체까지의 실제 거리를 도출할 수 있다. 이를 통해 객체의 위치를 보다 정밀하게 추정할 수 있으며, 이후 Inverse Haversine 공식을 적용하여 해당 객체의 위도와 경도를 계산하는 데 활용할 수 있다. 이러한 과정은 정확한 지리적 좌표를 확보하는 데 필수적이며, 최종적으로 Reverse Geocoding을 통해 객체의 주소를 도출하는 기반이 된다.

⑤ 방위각 계산

- 그리드의 좌하단에서 객체까지 잇는 직선과 그리드의 좌하단에서 우하단까지 잇는 직선 사이의 각도를 계산한 후, 이를 방위각으로 변환하면 Inverse Haversine 공식에서 사용되는 방위각을 얻을 수 있다. 이를 위해 두 개의 직선을 벡터로 표현하고, 내적을 이용하여 각도를 구하는 과정을 거친다. 동쪽(x축)을 기준으로 계산된 각도는 다음과 같다.

$$v_1 \cdot v_2 = (x_2 - x_1) \cdot (x_4 - x_3) + (y_2 - y_1) \cdot (y_4 - y_3) \text{----- (1)}$$

- (1)의 식은 두 벡터의 내적을 이용하여 벡터 간의 유사도를 측정하는 공식으로 이를 통해, 두 벡터가 이루는 각도의 코사인 값을 구할 수 있다. 이 과정에서 벡터 간의 방향성을 고려하여 각도를 추정할 수 있다.

$$\|v_1\| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad \|v_2\| = \sqrt{(x_4 - x_3)^2 + (y_4 - y_3)^2} \quad \text{-----} \quad (2)$$

- (2)의 식은 각 벡터의 크기를 계산하는 과정으로, 피타고라스의 정리를 활용하여 벡터의 크기를 유클리드 거리로 표현한다. 이를 통해 벡터 간 내적을 정규화하여 방향성이 반영된 각도를 구할 수 있다.

$$\cos\theta = \frac{v_1 \cdot v_2}{\|v_1\| \|v_2\|} \quad \text{-----} \quad (3)$$

- (3)의 식은 내적과 벡터 크기를 이용하여 두 벡터 사이의 각도를 계산하는 공식이다. 아크코사인 함수를 적용하여 라디안 단위의 각도를 도출하며, 이를 방위각으로 변환하여 Inverse Haversine 공식을 적용하는 데 활용할 수 있다.

- 계산된 각도는 동쪽(x축)을 기준으로 하므로, 방위각으로 변환하기 위해서는 이를 북쪽(y축) 기준으로 변환하는 과정이 필요하다. 계산된 각도를 angle이라고 할 때, 방위각을 구하는 공식은 다음과 같다.

⑥ Inverse Haversine 적용

- 좌하단 좌표(위도, 경도)를 알고 있으며, 앞선 과정에서 거리와 방위각을 도출했기 때문에, 이를 Inverse Haversine 공식에 적용하여 객체의 좌표를 계산할 수 있다. Inverse Haversine 공식은 특정 지점에서 주어진 거리와 방향(방위각)을 이용하여 새로운 좌표를 구하는 방식으로, 이를 통해 건물 객체의 정확한 위치를 추정할 수 있다.
- 계산된 방위각과 거리 값을 활용하여 위도와 경도를 조정하면, 그리드 내 객체의 실제 지리적 좌표를 도출할 수 있으며, 이를 이후 Reverse Geocoding 과정에서 주소 정보로 변환할 수 있다.

⑦ Reverse Geocoding (역지오코딩)

- Reverse Geocoding은 주어진 위도와 경도 좌표를 이용하여 해당 위치의 주소로 변환하는 과정이다. Inverse Haversine 공식을 적용하여 도출한 객체의 좌표는 Reverse Geocoding 작업을 거쳐 실제 주소로 변환될 수 있다.
- 이 과정에서는 Kakao의 Map API를 활용하며, 특정 좌표를 입력으로 요청하면 해당 좌표에 대응하는 지번 주소를 반환받을 수 있다. 이를 통해 항공사진에서 탐지된 건물 객체의 위치를 보다 직관적으로 해석할 수 있으며, 추가적인 분석이나 매핑 작업에 활용할 수 있다.

(2) 건물 정보 데이터 매핑

① 옥상 인스턴스 탐지

- 위성 사진에서 건물 옥상을 정확히 식별하기 위해 Rooftop Detection SAM-2 모델을 활용한다. SAM-2 모델은 최첨단 세그멘테이션(Segmentation) 기술을 적용하여 위성 이미지 내 개별 옥상의 실루엣을 효과적으로 추출할 수 있다. 모델이 탐지한 옥상 인스턴스는 각 건물별로 개별 마스크로 저장되며, 이를 바탕으로 옥상의 크기 및 형태를 정량적으로 분석할 수 있다. 본 과정에서는 객체 탐지 성능을 최적화하기 위해 초해상화(Super-Resolution) 기술을 적용하여 보다 선명한 옥상 경계를 확보하고, 후처리 기법(열림·닫힘 연산)을 활용하여 정확도를 높인다.

② 면적 계산

- 탐지된 각 옥상 인스턴스의 픽셀 수를 계산
 - 픽셀 수와 위성 이미지의 해상도(resolution)를 이용하여 실제 면적을 계산
- 예: 면적 = 픽셀 수 * (픽셀당 실제 거리)²

본 과정을 통해 옥상별 면적을 정량적으로 산출하며, 이를 바탕으로 천광 시스템 배치에 적합한 건물을 선별하는 데 활용할 수 있다.

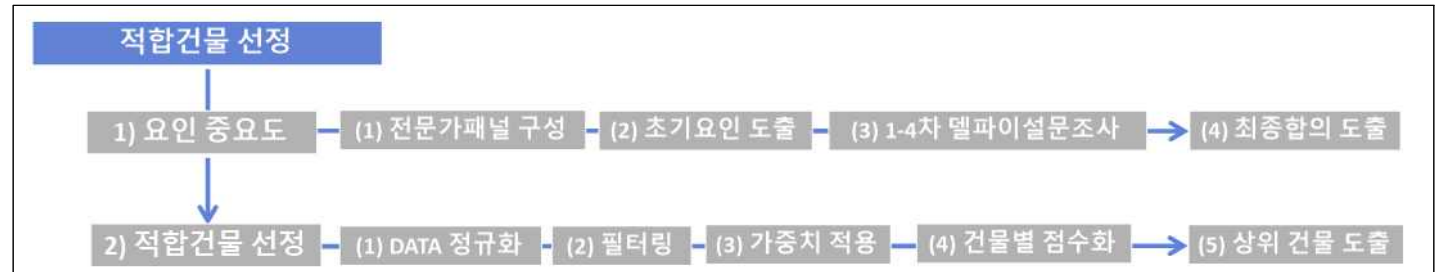
3. 적합 건물 선정

천광 시스템의 효과적인 운영을 위해서는 구조적 안정성, 지리적 위치, 유지보수 편의성등 다양한 요소를 종합적으로 고려해야 한다. 특히, 수도권 내 최적의 건물을 선정하기 위해서는 객관적인 평가 기준을 확립하고, 과학적 분석을 기반으로 한 의사결정이 필요하다. 이에 본 연구에서는 Delphi 기법을 활용하여 건물 평가에 영향을 미치는 주요 요인을 도출하고, 이를 기반으로 가중치를 적용한 점수 평가를 수행하여 최적 후보지를 선정하고자 한다.

이 과정은 크게 두 단계로 진행된다. 첫 번째로, Delphi 기법을 활용하여 건물의 구조적·환경적 요인에 대한 전문가 의견을 수렴하고, 중요도를 평가하여 최종적으로 고려해야 할 평가 기준을 확립한다. 두 번째로, 도출된 평가 요인을 정량화하고 가중치를 반영하여 각 건물을 점수화한 후, 최적의 천광 시스템 설치 후보지를 선정하는 분석을 수행한다.

이러한 접근 방식을 통해 천광 시스템의 설치가 구체적인 평가 지표와 과학적 근거를 바탕으로 이루어질 수 있도록 하며, 수도권 방공망의 효과적인 구축을 위한 최적의 건물 위치를 도출하는 데 기여하고자 한다. 적합건물 선정을 위한 연구 과정은 다음 그림<>과 같습니다.

<그림> 적합건물 선정 과정



자료: 저자 작성

1) 요인 중요도 도출

무인 항공기(UAV)의 증가로 인해 도심 내 안보 및 방어 체계 강화의 필요성이 대두되고 있다. 특히, 서울과 같은 대도시에서는 주요 시설 보호를 위한 효과적인 감시 및 대응 시스템 구축이 필수적이다. 이에 따라, 천광 시스템을 활용한 방어 체계 구축이 하나의 대안으로 제시되고 있다.

천광 시스템은 효과적인 공중 감시 및 대응을 위해 높은 위치에 설치되어야 하며, 건물의 구조적 요소(높이, 내진 설계 등)와 입지적 요소(주요 시설과의 거리 등)를 고려한 최적의 설치 기준이 필요하다. 그러나 해당 분야에 대한 선행 연구가 부족하고, 다양한 전문가들의 의견을 종합할 필요성이 있다. 이에 따라 본 연구에서는 전문가 합의를 도출하는 데 효과적인 Delphi 기법을 활용하여 천광 시스템 설치 시 고려해야 할 주요 요인의 중요도를 도출하고, 최적의 설치 지점을 선정하는 것을 목표로 한다.

Delphi 기법은 정량적 데이터 확보가 어려운 정책·전략 수립 과정에서 유용한 방법론으로, 반복적인 설문과 피드백을 통해 전문가들의 의견을 수렴하고 합의를 도출하는 방식이다. 본 연구에서는 건축 및 구조공학, 국방, 방산 분야의 전문가 5명을 대상으로 2월 4일부터 2월 12일까지 설문을 진행하여, 천광 시스템 설

치에 고려해야 할 요소들을 체계적으로 정리하고, 최적의 기준을 도출하였다.

(1) 전문가패널 구성

- 본 연구는 Delphi 기법을 활용하여 총 4차에 걸친 설문조사를 실시하였다. 단일 설문만으로는 전문가들의 의견이 충분히 수렴되기 어려우므로, 반복적인 피드백 과정을 거쳐 합의를 도출하였다. 각 설문에서는 전문가 패널(건축·구조공학, 방산, 국방 분야 전문가 5인이 참여하여 천광 시스템 설치에 대한 요인을 평가하였다. 다만, 시간적 제약 요건으로 인해 대면 미팅으로 하는 것이 아니라 설문조사로 대체하였다. 연구의 전체 과정은 다음과 같이 진행되었다(참조 표).

<표> 설문 단계별 목표 및 주요 내용

설문 단계	목표 및 주요 내용
1차 설문	천광 시스템 설치 시 고려해야 할 추가요인을 도출하고, 중요도를 평가
2차 설문	1차 설문에서 합의된 요인을 제외하고, 합의되지 않은 요인들을 재평가
3차 설문	합의되지 않은 요인들을 보다 정밀하게 평가하기 위해 세부 질문 추가
4차 설문	동일한 점수를 받은 요인들의 상대적 중요도를 평가하여 최종 우선순위 확정

자료: 저자 작성

- ① 1차 설문(고려 요인 도출 및 중요도 평가): 천광 시스템 설치 시 고려해야 할 주요 요인들을 도출하고, 중요도를 평가하는 설문을 실시하였다. 전문가들의 의견을 종합하여 각 요인의 필요성을 분석하였다.
- ② 2차 설문(중요도 재평가 및 합의 도출): 1차 설문 결과를 바탕으로 도출된 요인의 중요도를 재평가하였다. 전문가들의 의견이 일치되지 않은 항목을 중심으로 추가 논의를 진행하였다. 설문 응답 시 각 요인별 평가 근거를 서술형으로 작성하도록 하여, 논리를 보다 명확히 정리하였다.
- ③ 3차 설문(불일치 항목 재조정 및 심층 분석): 2차 설문에서 의견이 일치되지 않은 항목을 중심으로 재조정 및 중요도를 평가하였다. 전문가 간 논의를 거쳐 보다 정교한 기준을 마련하였다.
- ④ 4차 설문(최종 합의 도출): 3차 설문 결과를 반영하여 수정된 항목들을 평가하고, 최종적으로 일관된 기준을 확립하였다. 이를 통해 천광 시스템 설치에 필요한 최적의 기준을 명확하게 설정하였다.
 - 설문 문항은 기존 문헌 및 선행 연구를 참고하여 초안을 구성한 후, 전문가 인터뷰를 통해 보완하였다. 특히, 천광 시스템의 효과적인 운영을 위해 건물 구조적 요소(건물 높이, 내진 설계 등)와 입지적 요소(주요 시설과의 거리, 시야각 확보 등)가 중요하다는 점을 반영하였다. 연구의 신뢰도를 높이기 위해 각 차수별로 전문가 피드백을 반영하여 설문을 수정·보완하였다.
 - 본 연구의 결과는 천광 시스템 설치 기준 수립 및 정책적 의사결정에 기여할 것으로 기대된다. 이를 통해 도심 내 방어 체계를 강화하고, 무인 항공기를 활용한 위협에 효과적으로 대응할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

(2) 초기 요인 도출

• 천광 시스템의 설치 및 운영에 영향을 미치는 다양한 요인을 체계적으로 도출하기 위해 기존 연구 및 관련 자료를 분석하였다. 이를 통해 건물의 물리적 특성, 주변 환경, 건물의 용도, 주요시설과의 거리, 구조적 안정성, 그리고 시야각 등 여러 측면이 천광 시스템의 효과적 운용과 직접적인 관련이 있음을 확인하였다. 이러한 요소들은 설치 가능성뿐만 아니라 시스템의 효율성, 유지보수의 용이성, 방공 기능 강화 여부에도 중요한 영향을 미친다.

① 층수: 건물의 층수는 천광 시스템의 배치 가능성과 운영 효율성을 결정짓는 중요한 요소로 나타났다. 층수가 높을수록 넓은 시야각을 확보할 수 있어 천광 시스템의 감시 및 대응 능력이 향상되지만, 구조적 제약이 발생할 가능성이 있으며 설치 및 유지보수 비용이 증가할 수 있다. 반면, 낮은 층수의 건물은 설치 비용이 상대적으로 적게 들지만, 주변 건물에 의해 시야가 차단될 가능성이 커지는 단점이 존재한다.

<표> 층수별 주요 특징

분류	장점	단점
높은 층수 (예: 15층 이상)	<ul style="list-style-type: none">넓은 가시권을 확보할 수 있어 천광 시스템의 효율성이 높음.주변 건물로 인한 시야각 방해가 적음.	<ul style="list-style-type: none">구조적 제약이 있을 수 있음 (예: 하중 지원 능력, 건물 구조).설치 및 유지보수 비용이 높을 수 있음.
중간 층수 (예: 10~14층)	<ul style="list-style-type: none">적당한 가시권을 확보할 수 있음.구조적 제약이 상대적으로 적음.설치 및 유지보수 비용이 적당함.	<ul style="list-style-type: none">주변 건물로 인한 시야각 방해가 부분적으로 있을 수 있음.
낮은 층수 (1~9층)	<ul style="list-style-type: none">설치 및 유지보수 비용이 낮음	<ul style="list-style-type: none">가시권이 제한적이며, 주변 건물로 인해 시야각이 가려질 수 있음.

자료: 저자작성

② 건물용도: 건물의 용도 또한 중요한 고려 요인으로 분석되었다. 공공시설은 정부 소유로 인해 행정적 절차가 간소화되며, 정책적 강제력과 예산 지원이 가능하기 때문에 천광 시스템을 효과적으로 도입할 수 있다. 반면, 상업 건물은 설치 가능성이 높더라도 소유주와의 협의 절차가 필요하며 경제적 타당성이 중요한 변수가 된다. 민간 건물의 경우 개인 소유로 인해 정부 개입이 어렵고, 경제적 부담과 미관상의 이유로 설치가 더욱 어려울 수 있다.

<표> 건물용도 주요 특징

분류	장점	단점
공공시설(1순위)	<ul style="list-style-type: none">정부 소유로 행정 절차가 간단하고 정책적 강제성이 있음.정부 예산 지원, 대규모 설치 가능	<ul style="list-style-type: none">공공시설 수가 제한적일 수 있음.
상업건물 (2순위)	<ul style="list-style-type: none">개인·기업 소유, 정부 강제 불가, 경제적 타당성 중요.설치면적이 넓은 경우가 많기 때문에 설치 가능 건물 수가 많음.	<ul style="list-style-type: none">소유주 협의·보상 절차 필요, 행정 절차 복잡.
민간 건물 (3순위)	<ul style="list-style-type: none">개인 소유, 정부 강제 불가, 경제적 부담과 미관 고려 중요	<ul style="list-style-type: none">경제적 부담 큼, 협의 절차 복잡.

자료: 저자작성

- ③ 주요시설: 주요시설과의 거리는 천광 시스템 설치의 우선순위를 결정하는 핵심 요소 중 하나로 확인되었다. 주요 군사 및 공공시설과의 거리는 천광 시스템의 전략적 배치를 결정하는 중요한 기준이 된다. 천광 시스템은 발사 가능한 거리가 3km 이내이므로, 주요시설이 3km 반경 내에 위치할 경우 설치 우선순위가 높아진다. 이에 따라 주요시설을 중요도에 따라 A, B, C 등급으로 구분하고, 가장 높은 등급의 시설과 가까운 건물일수록 설치 우선순위를 높게 설정해야 한다.

<표> 국가중요시설의 분류

구분	내용	분류
“가”급	적에 의하여 점령 또는 파괴되거나, 기능 마비시 국민생활에 심대한 영향을 미칠 수 있는 시설.	대통령실(용산, 이미 설치), 국회의사당(여의도), 대법원(서초), 정부중앙청사(서울, 과천, 대전), 국방부(용산), 국기정보원 청사(서초), 한국은행 본점(광화문), 한국조폐공사(대전 유성), 정유업체(SK이노베이션-증평, 청주, GS칼텍스-인천 서구, 여수, 에스오일-울산 울주), 제철소, 조선소(삼성중공업, 대우중공업-거제, 현대중공업-울산), LPG인수기지(SK가스-울산) 등
“나”급	적에 의하여 점령 또는 파괴되거나, 기능 마비시 국민생활에 중대한 영향을 미칠 수 있는 시설.	중앙행정기관 각 부처 및 이에 준하는 기관, 대검찰청-서초, 경찰청-서대문구, 기상청-동작, 한국수출입은행 본점-여의도, 한국산업은행 본점-여의도, 발전소(GS동해전력-동해) 등
“다”급	적에 의하여 점령 또는 파괴되거나, 기능 마비시 국민생활에 상당한 영향을 미칠 수 있는 시설	국가정보원 지부(대외비), 한국은행 각 지역 본부, 다수의 정부기관이 입주한 남북출입관리시설(고성), 기타 중요 국공립 기관 등

*방위산업체는 회사별 상이

자료: 「국가중요시설 지정및방호훈령」(2021) 저자 재구성

- ④ 구조: 건물의 구조적 특성은 천광 시스템의 설치 방식과 안전성에 직접적인 영향을 미친다. 구조적으로 견고한 건물은 시스템의 무게와 외부 하중(예: 바람, 지진)에 대한 저항력이 높아 안정적인 운용이 가능하다. 특히 철근콘크리트 구조는 내구성이 뛰어나며 유지보수가 용이한 반면, 철골 구조는 유연성이 뛰어나지만 부식 가능성이 있어 추가적인 유지보수 관리가 필요하다. 목조 등의 기타 구조는 내구성이 약해 천광 시스템 설치에 적합하지 않다고 판단된다.

<표> 구조적 특성 평가 기준

구조유형	특성	내구성	유연성	유지보수 용이성
철근콘크리트	• 높은 압축 강도와 인장 강도를 가짐. 내구성이 뛰어나며 유지보수가 용이함.	매우높음	보통	용이함
철골 구조	• 높은 인장 강도와 유연성을 가짐. 대형 구조물에 적합하나 부식 가능성이 있음.	보통	높음	중간
기타구조 (목조 등)	• 천광 시스템 설치에 적합하지 않음.	낮음	낮음	어려움

자료: 저자작성

- ⑤ 시야각: 시야각은 천광 시스템의 감시 기능을 극대화하기 위한 필수 요소로 분석되었다. 시야각이 넓을수록 방공사각지대를 최소화하고, 외부 위협에 대한 즉각적인 대응 능력이 향상된다. 따라서, 설치 지점을 중심으로 주변 건물 및 지형을 분석하여 높은 건물이나 산이 시야를 제한하는지를 평가해야 한다. 이를 정량적으로 측정하기 위해 시야각 점수화 방식을 적용하며, 시야가 제한적일 경우 점수를 낮게, 방해 요소가 없는 경우 점수를 높게 부여하는 평가 방법을 도입하였다.

<표>시야각 평가 방법

단계	설명
• 1단계: 주변 환경 분석	• 천광 시스템 설치 지점을 중심으로 주변 건물 및 지형을 분석. 높은 건물, 산, 기타 장애물이 시야각을 제한하는지 확인.
• 2단계: 시야각 점수화	• 시야각 범위에 따라 점수를 부여. 점수 범위: 1~5점 (1점: 매우 제한적, 5점: 매우 넓은).
• 3단계: 장애물 영향 반영	• 주변 장애물의 높이와 거리를 고려하여 점수 조정. 주변에 높은 건물이 많을수록 점수 감점. 장애물이 없을 경우 점수 유지 또는 가산.

자료: 저자 작성

- 이러한 요인들은 상호 연관성을 가지며 천광 시스템 설치의 적합성을 결정하는 데 핵심적인 역할을 한다. 이에 따라 본 연구에서는 이러한 요인들을 종합적으로 고려하여 최적의 설치 조건을 분석하고, 효과적인 배치 전략을 도출하는 데 중점을 두었다.

(3) 1-4차 델파이 설문조사

① 1차 설문조사 및 결과 분석

- 1차 설문의 주요 목적은 천광 시스템 설치 시 고려해야 할 주요 요인의 중요도를 평가하고, 선행 연구에서 도출되지 않은 추가적인 고려 요소를 탐색하는 것이었다. 선행 연구를 통해 천광 시스템 설치에 영향을 미치는 주요 요인들이 도출된 상태였으나, 실제 적용 과정에서 추가적으로 고려해야 할 요소가 있을 가능성이 존재하기 때문에, 전문가들의 의견을 반영하여 새로운 요인을 도출하는 것도 또한 중요한 목표였다.

<표> 설문조사 대상 인적 사항 및 결과

분류	성별	연령	분야	종사 기간	층수	용도	면적	노후화	구조	주요 시설	시야각	내진 설계
A	남성	40대	방산	20년이상	5	5	4	3	4	5	5	5
B	남성	40대	방산	5년미만	4	3	4	4	3	5	5	5
C	남성	20대	건축 및 구조공학	5년미만	3	5	4	5	5	3	5	4
D	남성	50대	건축 및 구조공학	20년이상	5	2	4	5	5	4	5	5

E	남성	40대	국방	20년이상	4	4	4	4	5	4	5	5
---	----	-----	----	-------	---	---	---	---	---	---	---	---

자료: 저자 작성

- 설문 결과, 전문가들은 시야각 확보, 내진 설계 여부를 천광 시스템 설치에서 가장 중요한 고려 요소로 평가하였다. 이는 천광 시스템이 효과적으로 작동하기 위해서는 넓은 시야각이 확보된 위치에 배치되어야 하며, 지진이나 외부 충격 등에도 안정적으로 운용될 수 있도록 건물의 내진 설계 여부가 필수적이라는 점에서 전문가들의 공통된 합의가 이루어진 것이다.
- 반면, 건물 용도, 건물 노후화 정도, 주요 시설과의 거리 등 일부 요인에 대해서는 전문가들 간 의견이 엇갈렸다. 건물 용도에 대해서는 일부 전문가들은 군사시설이나 공공기관과 같은 특정 용도의 건물이 방어 체계 구축 및 운용의 효율성을 높일 수 있기 때문에 중요한 요소로 고려해야 한다고 평가한 반면, 다른 전문가들은 건물의 용도 자체보다는 구조적 안정성과 입지 조건이 더 중요한 요소라고 판단하였다.
- 건물 노후화 정도에 대해 일부 전문가들은 노후화된 건물은 구조적 안전성이 낮아 천광 시스템 설치가 어렵다고 평가했으나, 다른 전문가들은 노후 건물이라도 구조적 보강이 가능하다면 충분히 설치가 가능하기 때문에 노후화 자체는 결정적인 요소가 아니라고 보았다.
- 주요 시설과의 거리 역시 일부 전문가들은 방어 대상과의 거리가 가까울수록 방어 효율성이 높아진다고 평가하였지만, 다른 전문가들은 거리보다 위협체의 기동 방식과 방어 체계와의 연계를 고려하는 것이 더 중요하다고 판단하였다.
- 한편, 설문을 통해 선행 연구에서 도출된 요인 외에 추가적으로 고려해야 할 새로운 요인은 발견되지 않았다. 이는 기존 연구에서 이미 천광 시스템 설치에 필요한 주요 요소들이 충분히 반영되었으며, 전문가 패널 또한 해당 요인들이 실질적인 평가 기준으로 적절하다고 판단했기 때문으로 보인다.
- 그러나 건물 용도, 건물 노후화 정도, 주요 시설과의 거리 등의 요인에 대해서는 전문가 간 의견 차이가 존재하였으며, 이에 따라 2차 설문에서는 1차 설문에서 합의된 요인들을 제외하고, 의견이 엇갈린 요인들을 대상으로 재평가를 진행하여 보다 명확한 기준을 도출하고자 하였다.

② 2차 설문조사 및 결과 분석

- 2차 설문의 목표는 1차 설문에서 이미 합의된 요인을 제외하고, 의견이 엇갈린 요인들에 대한 중요도를 재평가하는 것이었다.
- 1차 설문에서는 시야각 확보와 내진 설계 여부가 천광 시스템 설치에서 가장 중요한 요인으로 평가되었으며, 전문가들 간 높은 합의가 이루어졌다. 따라서 2차 설문에서는 이 두 가지 요인을 제외하고, 1차 설문에서 의견이 갈린 건물 층수 및 높이, 건물 용도, 건물 노후화 정도, 주요 시설과의 거리 등을 대상으로 다시 평가를 진행하였다.
- 1차 설문과 2차 설문의 차이점은, 1차 설문에서는 각 요인에 대한 중요도를 평가하고 서술형 응답을 통해 전문가들의 판단 근거를 수집한 반면, 2차 설문에서는 1차 설문의 결과를 요약하여 전문가

들에게 제공한 후, 의견이 엇갈린 부분을 중심으로 다시 평가를 진행했다는 점이다. 이를 통해 각 요인에 대한 전문가들의 의견을 보다 정교하게 정리하고, 중요도의 상대적 우선순위를 보다 명확히 도출하는 과정을 거쳤다.

<표> 1-2차 델파이 설문조사 대상 인적 사항 및 조사 결과

분류	총수		용도		노후화		구조		주요시설		내진설계	
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차
A	5	5	5	3	3	4	4	4	5	5	5	5
B	4	5	3	4	4	4	3	4	5	5	5	5
C	3	4	5	4	5	4	5	5	3	4	4	5
D	5	4	2	4	5	4	5	4	4	4	5	5
E	4	5	4	2	4	3	5	5	4	5	5	5

자료: 저자 작성

③ 3차 설문조사 및 결과 분석

- 본 연구에서는 1차 및 2차 델파이 설문을 통해 일부 요인(예: 시야각, 내진설계)에 대한 전문가들의 높은 합의를 도출하였으나, 특정 요인에 대해서는 여전히 의견이 일치되지 않는 부분이 존재하였다. 이에 따라, 3차 설문에서는 합의되지 않은 요인들을 보다 세분화하여 평가하는 방식을 도입하였다.
- 3차 설문의 핵심 목표는 1~2차 설문에서 전문가들이 일치된 의견을 도출하지 못한 요인들에 대한 보다 정밀한 분석을 진행하는 것이다. 이를 위해, 합의되지 않은 각 요인별 질문을 기존의 단일 질문에서 3개의 세부 질문으로 확장하여 구성하였다. 이는 전문가들이 특정 요인에 대해 일관된 답변을 하지 않은 이유가 해당 요인의 다양한 측면을 충분히 고려하지 못했기 때문일 가능성이 높다고 판단했기 때문이다.
- 특히, 1차 및 2차 설문에서는 각 질문에 대해 전문가들이 5점 척도 설문조사와 더불어 해당 응답을 선택한 이유도 함께 서술하도록 하였다. 이를 통해, 전문가들의 응답 이면에 존재하는 논리적 근거와 판단 기준을 보다 구체적으로 파악할 수 있었다.
- 이러한 의견들은 추가적인 분석을 거쳐 3차 설문에서 보다 심층적인 질문을 구성하는 데 반영되었다. 즉, 기존의 단일 질문이었던 요인을 보다 구체적으로 분해하여 3개의 하위 질문으로 구성함으로써, 전문가들이 특정 요인에 대해 더 명확하고 정밀한 평가를 할 수 있도록 설문을 설계하였다.
- 설문 결과 분석에서는 각 요인별로 확장된 3개의 질문에 대한 전문가 응답을 평균 내어 해당 요인의 최종 점수로 산정하였다. 이를 통해, 기존의 단일 질문 방식보다 각 요인의 다양한 측면을 보다 정밀하게 반영할 수 있도록 설문 구조를 개선하였다. 또한, 전문가들의 응답 패턴을 분석함으로써 특정 요인에 대한 합의 가능성을 높이고, 보다 객관적이고 신뢰성 있는 연구 결과를 도출할 수 있도록 하였다.
- 결론적으로, 3차 델파이 설문에서는 1~2차 설문에서 합의되지 않았던 요인들을 보다 체계적으로 분석하고, 다각적인 질문을 통해 전문가들의 평가를 보다 정밀하게 반영하는 과정으로 진행되었으며, 이 과정에서 1~2차 설문에서 전문가들이 제시한 의견을 종합적으로 분석하여 추가 질문지를 구성함

으로써 연구의 신뢰성과 타당성을 한층 강화할 수 있었다.

<표> 1-3차 델파이 설문조사 대상 인적 사항 및 결과

분류	층수			용도			노후화			구조			주요시설		
	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차
A	5	5	3	5	3	3	3	4	2.3	4	4	3.3	5	5	4
B	4	5	2	3	4	4.6	4	4	4	3	4	2.3	5	5	3.6
C	3	4	4	5	4	4	5	4	4.3	5	5	3.6	3	4	4.6
D	5	4	2.3	2	4	1.3	5	4	5	5	4	3	4	4	3.3
E	4	5	2.6	4	2	4	4	3	3.6	5	5	4.3	4	5	4.3

자료: 저자 작성

- 3차 설문 결과, 건물 층수 및 높이, 건물 용도 등의 요소는 1~2차 설문에서의 평가보다 상대적으로 중요도가 낮아졌으며, 반대로 건물 구조적 안정성, 내진 설계 여부, 주요 시설과의 거리 등의 요인이 보다 중요한 고려 요소로 평가되었다. 이는 천광 시스템의 운영과 방어 효율성을 극대화하기 위해서는 물리적인 조건보다는 구조적 안정성과 방어 환경을 고려한 요소들이 더욱 중요하게 작용한다는 점이 전문가들 간 합의된 결과라 할 수 있다.
- 먼저, 건물 층수 및 높이에 대한 평가가 다소 낮아진 이유는, 천광 시스템이 높은 위치에 설치된다고 해서 반드시 방어 효율성이 증가하는 것은 아니라는 점이 강조되었기 때문이다. 1~2차 설문에서는 높은 건물일수록 감시 및 요격 시야가 확보될 수 있으며, 요격 가능 거리를 극대화할 수 있다는 점에서 높은 평가를 받았다. 그러나 3차 설문에서는 건물의 층수 자체가 아닌, 주변 환경과 장애물 여부가 더 중요한 요소로 작용한다는 점이 부각되었다. 즉, 고층 건물이라 하더라도 주변에 더 높은 건물이 존재하면 방어 효율성이 떨어질 수 있으며, 반대로 저층 건물이라도 시야가 확보된다면 효과적인 요격이 가능하다는 것이다.
- 또한, 고층 건물에 설치할 경우 유지보수 및 긴급 대응이 어려워질 수 있다는 점도 중요한 고려 사항으로 지적되었다. 전시 상황이나 긴급 대응이 필요한 경우, 지나치게 높은 건물에 설치하면 유지보수 인력의 접근성이 저하될 가능성이 크며, 이는 방공 시스템의 운용 효율성에도 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 결론적으로, 건물 층수 자체는 고려해야 할 요소이지만, 절대적인 기준이 될 수 없으며, 주변 환경과 장애물 여부를 함께 평가해야 한다는 점이 강조되었다.
- 다음으로, 건물 용도에 대한 중요도도 1~2차 설문에 비해 다소 낮아졌다. 1~2차 설문에서는 천광 시스템의 설치가 특정 건물 용도(예: 군사시설, 공공기관, 민간시설 등)에 따라 제한될 수 있으며, 군사시설과 정부기관이 우선 고려될 필요가 있다는 의견이 많았다. 그러나 3차 설문에서는 건물 용도가 직접적인 결정 요소가 되지는 않으며, 최적의 방어 효율성을 제공할 수 있는지가 더 중요한 고려 요인이라는 평가가 다수였다. 즉, 천광 시스템이 작전 수행을 위해 설치되는 것이므로, 군사시설인지 민간시설인지 여부보다는 실제 운영상 적절한 방어 환경을 제공할 수 있는지가 우선적으로 평가되어야 한다는 점이 강조되었다.
- 반면, 건물 노후화 정도는 1~2차 설문에서보다 상대적으로 중요도가 증가하였다. 초기 설문에서는

건물의 노후화 정도가 천광 시스템 설치에 미치는 영향이 크지 않다고 평가되었으나, 3차 설문에서는 건물의 구조적 안전성, 내진 설계 여부, 재개발 가능성 등을 추가적으로 고려해야 한다는 의견이 반영되었다. 특히, 내진 설계가 적용되지 않은 노후 건물에 천광 시스템을 설치할 경우, 지진이나 전시 상황에서 구조적 붕괴 위험이 증가할 가능성이 높다는 점이 강조되었다. 또한, 서울과 같은 대도시에서 노후 건물들은 재개발 가능성이 높아 장기적인 방어 체계를 구축하기에 불안정할 수 있다는 우려도 제기되었다.

- 함께, 건물 구조에 대한 중요성도 더욱 강조되었다. 1~2차 설문에서는 철근콘크리트(RC) 구조와 철골 구조 중 어느 것이 더 적합한지에 대한 논의가 이루어졌으나, 3차 설문에서는 구조적 안정성과 내진 설계 여부가 더 중요한 요소로 평가되었다. 전문가들은 천광 시스템이 일정한 하중을 견뎌야 하므로, 구조적 안전성이 확보되지 않은 건물에서는 설치가 불가능할 가능성이 높으며, 장기적인 운용을 위해서라도 구조적 안정성이 검증된 건물이 우선 고려되어야 한다는 점을 강조하였다.
- 또한, 주요 시설과의 거리는 1~2차 설문에 비해 보다 중요하게 평가되었다. 1~2차 설문에서는 주요 시설과의 거리가 천광 시스템 설치에 미치는 영향이 상대적으로 적다고 평가되었으나, 3차 설문에서는 위협체의 특성과 방어 전략을 고려한 적정 거리 설정의 중요성이 강조되었다. 전문가들은 위협체의 이동 경로와 속도를 고려하여, 천광 시스템이 효과적으로 대응할 수 있도록 최적의 거리 설정이 필요하다는 점을 강조하였다.
- 설문을 통해 건물 층수 및 용도의 중요도는 상대적으로 낮아졌으며, 건물 구조적 안정성, 내진 설계 여부, 주요 시설과의 거리 등 방어 효율성을 극대화할 수 있는 요인들이 더욱 중요하게 고려되었다. 이는 천광 시스템이 단순히 높은 위치에 설치된다고 해서 방어 효율성이 보장되는 것이 아니라, 최적의 방어 환경을 제공할 수 있는 건물 구조 및 배치 전략이 함께 고려되어야 한다는 점을 전문가들이 공통적으로 인식하고 있음을 의미한다.
- 결과적으로, 3차 설문을 통해 천광 시스템의 효과적인 배치를 위한 보다 구체적인 기준이 마련될 수 있었으며, 향후 4차 설문에서는 이러한 결과를 바탕으로 최종적인 중요도 평가 및 우선순위 조정이 이루어질 필요가 있다.

④ 4차 설문조사 및 결과 분석

- 본 연구에서는 1차 및 2차 델파이 설문을 통해 전문가들의 높은 합의를 도출한 요인들에 대해 우선순위를 먼저 확정하고, 3차 설문을 통해 세부적인 평가 점수를 산출하였다. 그러나 3차 설문 결과에서 일부 요인들이 동일한 평균 점수를 기록하여 최종적인 우선순위를 결정하는 데 한계가 있었다. 이에 따라, 동일한 점수를 받은 요인들의 상대적인 중요도를 평가하여 최종 순위를 확정하기 위해 4차 설문조사를 실시하였다.
- 4차 설문의 핵심 목표는 3차 설문에서 동일한 점수를 받은 요인들 간의 우선순위를 구체적으로 조정하는 것이었다. 이를 위해, 1~2차 설문에서 이미 우선순위가 정해진 요인들은 그대로 유지하고, 3차 설문에서 동일한 점수를 받은 요인들에 대해서만 추가적인 비교 평가를 진행하였다.
- 예를 들어, 3차 설문에서 특정 두 개의 요인이 평균 4점으로 동일한 점수를 받았을 경우, 단순히

동일한 순위로 두는 것이 아니라, 해당 요인들에 대한 최종 우선순위를 4차 설문에서 확정하도록 설계하였다. 이를 위해, 전문가들에게 동일한 점수를 받은 요인들을 다시 제시하고, 상대적인 중요도를 평가하도록 하였으며, 최종적으로 다수의 전문가들이 더 높은 순위로 평가한 요인을 앞순위에 배치하는 방식으로 최종 순위를 결정하였다.

- 설문 결과 분석에서는 다수결의 원칙을 적용하여 동일한 점수를 받은 요인들 중 전문가들의 의견이 더 많이 모인 항목을 우선순위 상위로 배치하였으며, 순차적으로 4순위, 5순위 등의 최종 순위를 결정하였다. 이를 통해, 기존의 점수 기반 방식이 가지는 한계를 보완하고, 전문가들의 의견을 보다 정교하게 반영할 수 있도록 하였다.
- 4차 설문조사를 끝으로, 천광 시스템 설치를 위해 고려해야 할 요인들의 중요도를 최종적으로 도출할 수 있었다. 이를 통해 천광 시스템 배치 전략을 보다 구체적으로 수립할 수 있는 근거를 확보하였으며, 최적의 설치 위치 선정 과정에서 보다 정량적이고 객관적인 평가가 가능하도록 하였다.

<표> 4차 델파이 조사 동일점수 최종 순위

중요도 점수	주요 고려 요소	순위
5점	시야각 확보	1
	내진 설계 여부	2
4점	주요 시설과의 거리	3
	옥상면적	4
	건물 노후화 정도	5

자료: 저자 작성

- 4차 설문조사 결과, 시야각 확보가 가장 중요한 요소로 선정되었으며, 내진 설계 여부가 동일한 5점이지만 상대적으로 중요도가 낮아 2순위로 확정되었다. 이어서, 주요 시설과의 거리, 옥상면적, 건물 노후화 정도가 각각 4점을 기록하며 3순위, 4순위, 5순위로 최종 결정되었다.
- 결론적으로, 4차 델파이 설문조사는 기존 연구 결과를 종합적으로 분석하고, 3차 설문에서 동점을 기록한 요인들에 대한 최종적인 우선순위를 확정하는 과정으로 진행되었다. 이를 통해 천광 시스템 설치를 위한 고려 요인들의 최종적인 중요도를 결정하고, 보다 합리적이고 정량적인 방공 시스템 배치 전략을 수립하는 데 기여하였다.
- 특히, 설문 항목 중 동일한 점수를 받은 요소들은 추가적인 전문가 의견을 반영하여 순위를 조정함으로써, 기존 점수 기반 평가 방식의 한계를 극복하고 보다 정밀한 우선순위를 도출할 수 있었다. 이를 통해 천광 시스템의 최적 설치 위치를 선정하는 과정에서 보다 체계적이고 객관적인 평가가 가능해졌으며, 실질적인 배치 전략 수립에 중요한 근거를 확보할 수 있었다.

(4) 최종결과 도출

본 연구에서는 천광 시스템의 최적 배치를 위한 핵심 고려 요소를 도출하고, 전문가들의 의견을 기반으로 우선순위를 정량적으로 평가하였다. 4차 델파이 설문조사를 통해 최종적으로 도출된 고려 요소들의 중요도 순위는 다음과 같다.

<표>1-4차 델파이 조사를 통해 도출된 주요고려요소 순위

순위	주요 고려 요소
1	시야각
2	내진설계
3	주요시설
4	면적
5	노후화
6	용도
7	구조
8	층수

자료: 저자 작성

① 최우선 고려 요소: 작전적 운용 가능성 극대화

- 시야각 확보 (1순위): 가장 중요한 고려 요소로 시야각 확보가 선정되었다. 이는 천광 시스템이 적대적 위협을 탐지하고 요격 작전을 효과적으로 수행하기 위해 필수적인 요건이기 때문이다. 시야각이 제한될 경우 감시 및 대응 능력이 저하되어 시스템의 운영 효율성이 크게 감소할 수 있다. 따라서 천광 시스템의 배치를 고려할 때, 장애물이 없는 개방된 시야를 확보할 수 있는 위치가 최우선적으로 평가되어야 한다.
- 내진 설계 여부 (2순위): 내진 설계는 천광 시스템의 지속 가능성과 안정성을 보장하는 핵심 요소로 평가되었다. 자연재해(예: 지진, 강풍)나 전시 상황에서 건물의 구조적 안전성이 확보되지 않으면, 시스템이 손상되거나 무력화될 위험이 높아진다. 따라서 내진 설계가 적용된 건물에 천광 시스템을 설치하는 것이 필수적이라는 점에서 전문가들의 높은 합의가 이루어졌다.

② 전략적 위치 선정: 방어 및 대응 능력 극대화

- 주요 시설과의 거리 (3순위): 천광 시스템의 배치가 효과적으로 이루어지려면 방어해야 할 주요 시설과의 거리가 전략적으로 설정되어야 한다. 주요 군사시설, 정부청사, 발전소 등 국가 안보 및 필수 기능을 수행하는 시설을 보호하기 위해 적절한 방어 거리 확보가 필요하다. 방어 대상과의 거리가 지나치게 멀거나 가까우면 요격 작전의 효율성이 감소할 수 있기 때문에, 적정 거리를 유지하는 것이 중요하다.
- 옥상 면적 (4순위): 천광 시스템이 안정적으로 설치되고 유지보수가 원활하게 이루어지기 위해서는 충분한 옥상 면적이 확보되어야 한다. 작은 면적의 옥상은 장비 배치와 유지보수에 어려움을 초래할 수 있으며, 장기적인 운용에 불리할 수 있다. 따라서 설치 공간 확보가 가능한 건물이 상대적으로 더 적합한 것으로 평가되었다.

③ 추가적인 고려 사항

- 건물 노후화 정도 (5순위): 건물의 노후화 정도는 구조적 안전성과 관련이 있지만, 보강 공사를 통해 해결이 가능하기 때문에 최우선 요소로 고려되지는 않았다. 다만, 노후 건물은 내진 설계가 적용되지 않은 경우가 많아 구조적 보강이 필요할 가능성이 높으며, 유지보수 비용이 증가할 수 있다는

점에서 상대적인 중요성이 평가되었다.

- 건물 용도 (6순위): 건물 용도는 천광 시스템의 설치 및 운영에 영향을 미치는 요소이지만, 결정적인 요인은 아니라는 점에서 비교적 낮은 순위를 기록하였다. 공공시설이나 군사시설이 우선 고려될 가능성이 높으나, 건물의 물리적·구조적 요건이 더 중요한 변수로 작용한다는 점이 강조되었다.
- 건물 구조 (7순위): 건물 구조는 설치 안정성에 영향을 미치지만, 철근콘크리트(RC)나 철골구조(Steel) 등 다양한 건축 공법이 사용될 수 있어 상대적으로 덜 중요한 요소로 평가되었다. 다만, 설치 중량과 하중을 감안했을 때 내구성이 높은 건물이 더 적합할 가능성이 크다.
- 층수 (8순위): 건물의 층수는 설치 가능성을 결정하는 요소 중 하나지만, 절대적인 기준이 될 수 없으며 주변 환경과 장애물 여부가 더 중요한 변수라는 점에서 최하위 순위로 평가되었다. 고층 건물은 넓은 시야 확보에 유리할 수 있으나, 유지보수와 긴급 대응이 어려울 수 있고, 주변 건물이 더 높은 경우 방해받을 수 있기 때문이다. 따라서 층수 자체보다는 주변 건물과의 상대적 높이와 시야 확보 여부가 더 중요한 변수로 작용한다.

본 연구를 통해 천광 시스템의 배치를 위한 주요 고려 요소들을 정량적으로 도출하였으며, 이를 기반으로 천광 시스템의 최적 배치 전략을 수립하는 데 있어 중요한 기준을 마련할 수 있었다. 천광 시스템의 설치 후보지를 선정할 때, 시야각 확보와 내진 설계 여부가 최우선적으로 평가되어야 한다. 주요 시설과의 거리 및 옥상 면적 등의 환경적 요인을 고려하여 방어 및 유지보수 효율성을 극대화할 수 있는 위치를 선정해야 한다. 건물 노후화, 용도, 구조, 층수 등의 보조적인 요인들도 함께 고려하여, 실질적으로 운영이 가능한 방어 거점을 구축할 필요가 있다.

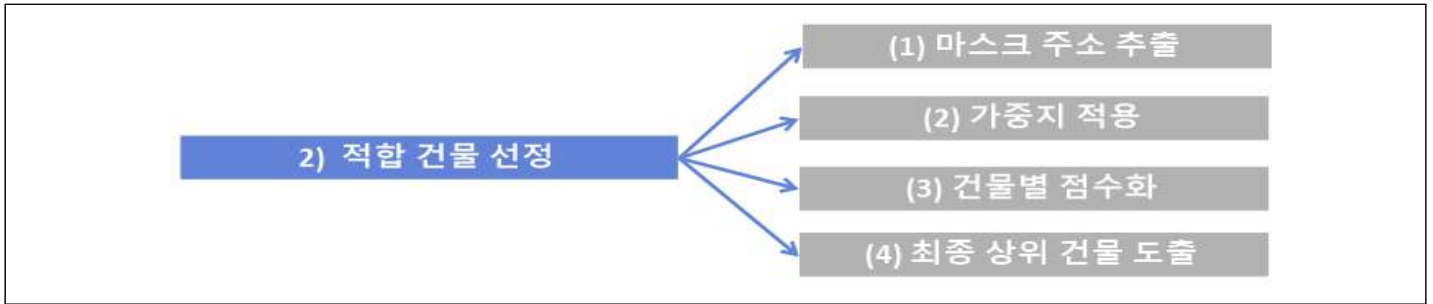
이를 통해 수도권 방공망을 더욱 효과적으로 구축하고, 드론 및 무인 항공기 위협에 대한 대응 역량을 극대화할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 연구에서는 이러한 고려 요소들을 실제 건물 데이터에 적용하여 최적의 배치 후보지를 선정하는 실증 연구가 필요하며, 이를 통해 보다 정교한 방어 체계를 수립할 수 있을 것이다.

2) 적합 건물 선정

천광 시스템의 효과적인 운용을 위해서는 건물의 물리적 특성과 방어적 요인을 종합적으로 고려한 최적 건물 선정이 필수적이다. 이에 본 연구에서는 건축적 요소(층수, 구조, 내진 설계 등)와 방어적 요소(시야각, 주요시설과의 거리 등)를 정량적으로 분석하는 평가 모델을 구축하고, 이를 기반으로 최적 건물을 선정하는 과정을 수행하였다.

이를 위해 Delphi 기법을 통해 도출된 중요도를 반영하고, 정규화된 데이터와 가중치를 결합하여 개별 건물의 종합 점수를 산출한 후, 최적 후보지를 도출하는 4단계 평가 방식을 적용하였다.

<그림> 적합 건물 선정



자료: 저자작성

(1) 1단계: 데이터 정규화

- 천광 시스템의 설치에 건물에 다양한 물리적 속성과 주변 환경을 종합적으로 고려해야 하는 복합적인 과정이다. 그러나, 속성이 서로 다른 단위를 가지므로, 직접적인 비교가 어려우며, 특정 속성이 평가 결과에 과도한 영향을 미치는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 모든 변수를 동일한 기준(0~1)으로 변환하는 정규화 과정이 필수적이다.
- 예를 들면, 아래와 같은 값의 범위를 가진 변수가 있다고 가정해보면, 층수(건물 높이)가 1에서 50층, 옥상면적이 500~500~50,000㎡와 노후화 정도(경과 일수)가 1000일에서 30,000일일 때 변수별 값의 범위가 크게 차이가 나므로, 평가 시 공정성을 확보하기 위해서는 모든 변수를 동일한 범위(0~1)로 변환해야 한다. 이를 통해, 각 변수 간 영향력이 균형을 이루도록 조정할 수 있다.

<변수 원본 값(예시) 및 단위>

변수	원본 값 (예시)	단위
층수	11	층
옥상 면적	393	m2
노후화일수	21542	일
시아각	5	개
주요시설거리	1	개

자료: 저자 작성

- 위와 같이 변수별 값이 범위가 크게 차이나므로, 정규화를 통해 동일한 기준(0~1)으로 변환하여 비교할 수 있도록 해야 한다.
- 본 연구에서는 Min-Max정규화 방식을 적용하여 모든 변수를 0~1범위로 변환하였다. 이를 통해, 모든 변수를 일괄된 척도로 변환하여 공정한 비교가 가능하도록 조정하였다. Min-Max 정규화의 공식은 다음과 같다.

$$X' = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

- 여기서,
 - X = 원본 데이터 값
 - X_{min} = 해당 변수의 최소값
 - X_{max} = 해당 변수의 최대값
 - X' = 정규화된 값 (0~1 사이)
- 이 공식은 각 변수의 최소값을 0, 최대값을 1로 변환하여 모든 데이터가 동일한 스케일 내에서 비교될 수 있도록 조정하는 역할을 한다.
 - Min-Max 정규화 방식 선택한 이유는 다음과 같다. 우선, Min-Max 정규화는 변환된 값이 0에 가까울수록 해당 속성이 불리한 건물, 1에 가까울수록 유리한 건물로 해석할 수 있도록 만든다. 예를 들어, 층수가 가장 높은 건물은 1, 가장 낮은 건물은 0으로 정규화된 값이 클수록 천광 시스템 설치에 유리한 건물이라고 해석할 수 있다.
 - 서로 다른 단위를 가진 변수들이 동일한 범위 내에서 비교 가능하도록 변환되므로, 특정 변수가 평가가 결과에 과도한 영향을 미치는 문제를 방지할 수 있다. 예를 들어, 층수(15)와 주요시설과의 거리(200m)가 그대로 적용될 경우, 거리 변수가 평가 점수에 더 큰 영향을 미칠 가능성이 있다. 그러나 Min-max정규화를 적용하면 두 변수의 값이 0~1 범위내에서 비교될 수 있어 공정한 평가가 가능해진다.
 - Z-score 정규화는 평균과 표준편차를 이용하여 정규화하는 방식이지만, 극단적인 데이터(이상치)가 존재할 경우, 해당 이상치가 최종 결과에 크게 영향을 미칠 수 있는 단점이 있다.
 - 반면, Min-max 정규화는 이상치가 존재하더라도 전체 데이터 범위 내에서 정규화되므로, 이상치에 덜 민감하여 안정적인 결과를 도출할 수 있다.
 - 예를 들어, 노후화 점수가 0.8이라면, 해당 건물은 전체 건물 중 80%보다 오래된 건물이라는 의미로 해석할 수 있다. 또한 가중치를 적용한 후에도 점수의 스케일의 유지되므로, 평가 결과의 일관성을 유지할 수 있다.
 - 일부 변수는 값이 클수록 불리한 영향을 미칠 가능성이 있으므로, 이를 반영하기 위해 역방향 정규화를 적용하였다.

$$X' = 1 - \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

- 이를 통해, 값이 클수록 불리한 변수의 경우, 값이 클수록 낮은 점수를 부여하도록 변환하였다.

<표> 역방향 정규화 적용 대상 변수

변수	적용 방식	설명
노후화 정도	역방향 정규화	오래된 건물일수록 불리하므로, 값이 클수록 낮은 점수 부여
시여각 제한 요소(주변 건물 높이)	역방향 정규화	높은 건물이 많을수록 불리하므로, 값이 클수록 낮은 점수 부여
주요시설과의 거리	역방향 정규화	방어 대상 시설이 멀수록 불리하므로, 값이 클수록 낮은 점수 부여

자료: 저자 작성

(2) 2단계: 가중치 적용

- 델파이 기법을 통해 도출된 요인별 중요도 가중치를 각 요인에 적용하여, 건물별 평가 점수를 계산한다. 중요도가 높은 요인일수록 상대적으로 높은 가중치를 부여하여, 평가 점수에 더 큰 영향을 미치도록 함.
- 가중치 계산법
 - 델파이 기법을 통해 도출된 요인별 중요도 점수(I_i)를 바탕으로 가중치(W_j)를 계산.
 - 계산식

$$W'_j = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^n W_j}$$

- W'_j : 고려 요소 j 의 정규화된 가중치
- W_j : 원래 가중치
- $\sum_{j=1}^n W_j$: 전체 가중치의 합

$$\sum_{j=1}^8 W_j = 2.00 + 1.75 + 1.50 + 1.25 + 1.00 + 0.75 + 0.50 + 0.25$$

- 본 연구에서는 천광 시스템 설치를 위한 건물 평가 과정에서 각 요인의 상대적 중요도를 반영하기 위해 델파이 기법을 통해 가중치를 도출하였다. 그러나 도출된 가중치는 각 요소별 절대적인 중요도를 나타낼뿐, 서로 다른 크기의 값으로 인해 점수 계산 과정에서 균형적인 비교가 어려울 수 있다. 따라서 모든 가중치의 합이 1이 되도록 정규화(normalization)하는 과정이 필요하다.
- 가중치의 정규화의 필요성인 각 요인의 원래 가중치($w_{original}$)는 다음과 같이 설정되었다.

$$W_{original} = [0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00]$$

- 이 값들은 델파이 기법을 통해 도출된 요인별 중요도 순위에 따라 부여된 것이지만, 가중치 합이 1이 아니기 때문에 점수 계산시 특정 요소가 과도하게 영향을 미칠 가능성이 있다. 이를 방지하고 모든 요소의 영향을 동일한 척도에서 평가하기 위해, 가중치를 정규화하는 과정을 수행하였다.
- 우선, 정규화를 위해, 먼저 모든 가중치의 합을 구한다.

$$W_{sum} = 0.25 + 0.50 + 0.75 + 1.00 + 1.25 + 1.50 + 1.75 + 2.00 = 9.00$$

- 각 요소의 정규화된 가중치는 다음 공식에 따라 계산된다.

$$W_{normalized_i} = \frac{W_{original_j}}{W_{sum}}$$

- 각 원래 가중치를 총합(9.00)으로 나누어 정규화된 값을 얻는다. 이를 적용하면, 각 요인의 정규화된 가중치는 다음과 같다.

<표> 정규화된 가중치

순위	고려 요소	가중치	가중치 정규화 값
1	시야각	2.00	2.00/9.00= 0.2222
2	내진설계	1.75	1.75/9.00= 0.1944
3	주요시설거리	1.50	1.50/9.00= 0.1677
4	옥상 면적	1.25	1.25/9.00=0.1389
5	노후화	1.00	1.00/9.00=0.1111
6	건물 용도	0.75	0.75/9.00=0.0833
7	건물 구조	0.50	0.50/9.00=0.0556
8	층수	0.25	0.25/9.00=0.0278

자료: 저자 작성

- 이제 모든 요인의 가중치 합이 1.0이 되도록 정규화되었으며, 상대적인 중요도를 반영한 가중치가 적용되었다. 가중치가 높을수록 해당 요인이 건물 평가에 더 큰 영향을 미치며, 시야각, 내진설계, 주요 시설 등 방공 시스템 설치에 중요한 요인들이 최종 점수에 더 큰 비중을 차지하도록 설계되었다.
- 이제 모든 가중치의 합이 정확히 1이 되도록 조정되었으며, 각 요소가 점수 계산 과정에서 적절한 영향을 미칠 수 있도록 균형이 맞추어졌다. 즉, 정규화된 가중치를 사용함으로써, 각 요인의 상대적인 중요도는 유지하면서도, 점수 계산 시 특정 요소가 과도한 영향을 미치는 문제를 방지할 수 있다. 이러한 과정은 건물 평가의 공정성을 높이고, 객관적인 최적 건물 선정이 가능하도록 하는 중요한 절차라고 할 수 있다.

(3) 3단계: 건물별 점수화

- 천광 시스템 설치에 적합한 건물을 선정하기 위해, 앞서 정규화된 가중치를 각 건물의 정규화된 요인 값과 결합하여 최종 점수를 산출하였다. 이를 통해, 개별 요인이 건물 평가에 미치는 영향을 반영하면서도 공정한 비교가 가능하도록 하였다.
- 각 건물의 최종 점수는 다음의 가중합 방식으로 계산된다.

$$S_i = \sum_{j=1}^n (W_j' \times X_{ij})$$

- S_i : 건물 I의 최종 평가 점수
 - W_j : 고려요인 j의 정규화된 가중치
 - X_{ij} : 건물 I의 고려요소 j정규화된 값
 - n : 고려하는 요인의 개수
- 이 공식은 각 요인의 중요도(가중치)를 고려하여 건물의 평가 점수를 도출하는 방식으로, 천광 시스템 설치에 적합한 건물을 선별하는데 활용된다. 각 건물의 점수를 다음과 같이 산출한다.

가중치 정규화(합이 1이 되도록 변환)

- $W_{\text{original}}=[0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00]$
- 전체가중치의 합 계산
- $W_{\text{sum}}=0.25+0.50+0.75+1.00+1.25+1.50+1.75+2.00=9.00$
- 각 가중치를 전체 합으로 나눠서 정규화:

$$W_{\text{normalized}} = \frac{W_{\text{original}}}{W_{\text{sum}}}$$
- 즉, 각 가중치를 9.00으로 나누면 다음과 같은 정규화된 가중치를 얻는다.
- $W_{\text{normalized}}=[0.0278, 0.0556, 0.0883, 0.0111, 0.1389, 0.1667, 0.1944, 0.2222]$
- 이제 모든 요인의 가중치 합이 정확히 1이 된다.

정규화된 가중치를 적용하여 건물 A,B 점수 산출:

- $S_A=(0.0278 \times 0.5)+(0.1389 \times 0.6)+(0.1111 \times 0.8)+(0.2222 \times 0.4)+(0.0833 \times 5.0)+(0.0556 \times 5.0)+(0.1667 \times 0.9)+(0.1944 \times 1.0)$
- $S_A=0.0139+0.0833+0.0889+0.0889+0.4167+0.2778+0.1500+0.1944=1.3139$
- $S_B=(0.0278 \times 0.7)+(0.1389 \times 0.4)+(0.1111 \times 0.5)+(0.2222 \times 0.6)+(0.0833 \times 3.0)+(0.0556 \times 4.0)+(0.1667 \times 0.8)+(0.1944 \times 0.0)$
- $S_B=0.0194+0.0556+0.0556+0.1333+0.2500+0.2222+0.1333+0.0000=0.8294$
- 이를 통해, 건물 A는 총 1.3139의 점수를 가지며, 천광 시스템 설치에 적합한 후보 건물 중 하나임을 알 수 있다. 건물B는 최종 0.8294의 점수를 기록하며, 건물 A보다 상대적으로 낮은 점수를 나타냈다.

- 건물 A와 B의 개별 요인 값 및 최종 점수를 정리하면 다음과 같다.

<표> 건물 A, B 개별요인 값 및 최종 점수(예시)

건물	층수	면적	노후화	시야각	용도	구조	주요시설 과의 거리	내진설계	최종점수
A	0.5	0.6	0.8	0.4	5.0	5.0	0.9	1.0	1.3139
B	0.7	0.4	0.5	0.6	3.0	4.0	0.8	0.0	0.8294

자료: 저자 작성

- 건물 A는 시야각(0.4), 옥상 면적(5.0), 건물 용도(5.0), 내진설계(1.0) 등의 요인에서 건물 B보다 높은 점수를 기록하였다. 반면, 건물 B는 층수(0.7)와 시야각(0.6)에서 상대적으로 높은 값을 가졌으나, 전체 점수에서는 건물 A보다 낮았다. 특히, 건물 A는 주요시설 거리(0.9) 및 내진설계(1.0)에서 건물 B보다 높은 점수를 기록하였으며, 이는 건물 선정에 중요한 요인으로 작용하였다.
- 정규화된 가중치를 적용함으로써 점수의 크기는 조정되지만, 개별 건물의 상대적인 순위에는 영향을 주지 않는다. 즉, 원래 가중치를 사용하든 정규화된 가중치를 사용하든, 건물 A가 B보다 더 높은 점수

를 기록하는 결과는 동일하게 유지된다. 이를 통해 본 연구에서 활용한 평가 방식이 신뢰성이 있으며, 특정 요인의 크기 차이로 인해 평가 결과가 왜곡되지 않도록 설계되었음을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 종합하면, 건물 A가 천광 시스템 설치에 보다 적합한 후보지로 선정될 수 있으며, 이를 바탕으로 최종 상위권 건물을 도출하는 단계로 진행할 수 있다.

(4) 4단계: 최종 상위권 건물 도출

- 천광 시스템의 효율적인 배치를 위해, 건물의 구조적 적합성과 방어 효과를 종합적으로 고려하여 4단계의 평가 및 선정 절차를 수행하였다. 천광 시스템의 효율적인 배치를 위해, 본 연구에서는 건물의 구조적 적합성과 전략적 방어 효과를 종합적으로 고려하여 4단계 평가 및 선정 절차를 수행하였다.

① 1단계: 적합 지점 필터링

- 천광 시스템을 안정적으로 설치할 수 있는 건물을 선정하기 위해, 세 가지 필터링 기준을 적용하였다. 우선 첫 번째는 천광의 최소 면적 충족 여부로서, 천광시스템은 $9\text{m} \times 3\text{m} \times 3\text{m}$ (총 27m^2)의 면적을 필요로 하므로, 건물 옥상이 이 기준을 충족하는지 여부를 평가하였다. 옥상의 가용 면적이 부족하거나, 구조적으로 설치가 불가능한 건물은 배제하였다. 두 번째는 서울 내부 지역을 제외하는 부분으로서, 천광의 주요목표는 서울 외곽에서 서울을 방어하는 것이므로, 서울 내부에 위치한 건물은 평가 대상에서 제외하였다. 다만, 서울과 인접한 경계지역의 경우, 방어효율성을 고려하여 평가 대상에 포함하였다. 세 번째는 설치가 가능한 지붕 구조 확인 부분으로서, 천광은 안정적으로 배치하기 위해서 옥상의 구조적 적합성을 평가하였다. 그리고 옥상에 기계실, 주거공간, 기타 설비가 존재하는 경우 설치가 어렵기 때문에 개방된 옥상을 가진 건물만 유지하였다.

② 2단계: 설치 후보지 점수화

- 필터링을 거친 후보지에 대해 전략적인 평가를 위해서 수행한 방식을 적용하였다.

$$S_i = \sum_{j=1}^n (W_j' \times X_{ij})$$

- S_i : 건물 I의 최종 평가 점수
- W_j : 고려요인 j의 정규화된 가중치
- X_{ij} : 건물 I의 고려요소 j정규화된 값
- n: 고려하는 요인의 개수
- 이 계산식을 통해 건물의 입지적 특성과 구조적 적합성을 수치화하고, 객관적인 비교가 가능하도록 하였다.

③ 그리드별 최적 설치 지점 선정

- 천광 시스템은 최대 사거리 3km 내에서 효과적인 방어가 가능하므로, 이를 고려하여 $6\text{km} \times 6\text{km}$ 의 격자(Grid) 영역을 설정하였다. 각 격자 내에서 점수가 가장 높은 건물을 해당 지역의 최적 설치 지점으로 선정하였다. 선정된 최적 지점 예시는 다음과 같다.

<그림> 선정된 최적 지점 예시



자료: 저자 작성

- 이와 같이 각 Grid 내에서 가장 높은 점수를 기록한 건물을 우선적으로 고려함으로써, 천광 배치를 최적화하였다.

④ 4단계: 상위 설치 지점 도출

- 천광 시스템의 효과적인 배치를 위해 각 건물별 점수를 기반으로 최적의 설치 지점을 선정하였다. 단순히 점수가 높은 건물을 선택하는 것이 아니라, 방어 효과, 설치 가능성, 지리적 균형 등의 요소를 종합적으로 고려하여 최적의 설치 후보지를 도출하였다.
- 천광의 배치 최적화를 위해 적용한 세가지 핵심 기준은 3가지이다, 첫번째 건물별 점수 기반 상위 건물 선정, 두 번째는 방어효과 극대화, 세 번째는 균형잡힌 지리적 분포이다. 우선 첫 번째인 건물별 점수 기반 상위 건물 선정부분은 정량적 평가를 반영하여 앞서 점수화 과정을 거친 건물 중 최고 점수를 기록한 건물을 선정하였다. 이를 위해 앞서 점수화된 건물 중 높은 평가 점수를 기록한 건물을 선정하였다. 그리고 건물 옥상의 구조가 안정적이며, 천광의 최소 설치 면적을 확보할 수 있는지를 고려하였다. 마지막으로 천광의 사거리(3km)를 고려하여 서울의 주요 진입 경로를 효과적으로 방어할 수 있는 건물을 우선 배치하는 것이다.
- 두 번째는 방어효과 극대화부분으로서, 천광의 배치는 단순히 특정 건물에 집중하는 것이 아니라, 서울로 접근하는 주요 경로를 차단할 수 있도록 효과적으로 배치되어야 한다. 이를 위해 다음과 같은 방어효과를 고려하여 건물을 선정하였다. 3km 내 주요시설 건물이 있는 건물을 우선순위를 하였다. 또한, 천광 시스템의 배치 목표는 서울 외곽에서 방어하는 전략이므로, 서울 내부 건물은 배제하였다. 다만, 서울과 인접한 경계지역은 포함하여 방어망을 강화한다.
- 세 번째는 균형잡힌 지리적 분포 부분으로서, 먼저, 서울로 접근하는 주요 경로(서쪽, 남쪽, 동쪽)에 균형 배치하여 공백을 최소화하였다. 다만, 상위 5대 건물에는 북쪽 지역이 상위 설치 지점에서 제외되었는데, 이는 최종 선정된 상위 지점들은 건물점수(설치 가능성, 방어효과, 지리적 적합성) 기준에서 높은 점수를 기록한 후보지들이다. 그러나 북쪽지역(경기 북부인 의정부, 구리, 남양주, 파주 등)에서는 점수가 상대적으로 낮아 최종 5위 안에 포함되지 않을 가능성이 있다. 북쪽에서 점수가 높은 건물들 중 추가 배치를 고려할 후보지를 선정하는 후속작업이 필요해 보인다. 이러한 기준을 반영하여 최종적으로 선정된 설치 지점은 다음 <표>와 같다.

<표> 상위 5개 설치 지점 주소 및 최종 점수

순위	주소	최종점수	참고사항
1	경기도 과천시 과천대로 12길 117 아이티센타워	1.1847	정부과천청사와 1.18km 거리
2	경기도 과천시 별양로 180-1 관문초등학교	1.1349	정부과천청사와 1.29km 거리
3	경기도 김포시 풍무1로 73	1.1282	서울특별시의 남서쪽에 위치
4	경기 남양주시 다산중앙로82번안길 40 다산별빛초등학교	1.1035	서울특별시의 북서쪽에 위치
5	경기 하남시 감일백제로 45 감일초등학교	1.1021	서울특별시의 남동쪽에 위치

자료: 저자 작성

- 수도권 방어망 강화를 위한 주요 지역 분석 결과, 최종적으로 선정된 상위 5개 지점은 과천(1·2위), 김포(3위), 남양주(4위), 하남(5위)로 나타났다. 이러한 배치는 서울의 서쪽(김포), 동쪽(하남), 중앙(과천)을 중심으로 이루어져 있으며, 정부 기관 보호 및 주요 진입로 차단과 같은 전략적 목적을 고려한 결과로 볼 수 있다.
- 우선 1·2순위인 과천을 보면 정부과천청사를 비롯한 핵심 행정기관이 위치한 지역으로, 국가 주요 시설 보호를 위한 전략적 가치차 크다. 그렇기 때문에 정부기관이 밀집된 지역인 만큼, 외부 위협으로부터 안전을 확보하기 위한 방어망 강화를 고려해야 한다.
- 3순위인 김포는 서울과 인천을 연결하는 중요한 관문이며, 남서쪽 방어망의 핵심 지역으로 평가된다. 김포는 인천국제공항과 김포국제공항으로 이어지는 항로를 방어하는데 있어 전략적으로 중요한 위치를 차지한다.
- 4위 남양주와 5위 하남은 수도권으로 향하는 주요 집입 경로에 위치하고 있어, 외부 위협이 유입될 가능성을 최소화하는 역할을 한다. 수도권 동쪽 지역의 방어망을 보완하는 역할을 하며, 기존 방어체계와의 조화를 이루는 배치로 볼 수 있다.

다만, 현재 선정된 5개 지역은 수도권의 서쪽, 동쪽, 중앙을 중심으로 배치되었으나, 서울 북쪽(의정부, 양주, 파주 등)에서 방어 공백이 발생할 가능성이 있다. 수도권 북부는 역사적으로 군사적 요충지이며, 북한과의 지리적 인접성으로 인해 전략적 중요성이 크다. 따라서 추가적인 배치 검토가 필요하다.

우선, 북쪽지역이 포함되지 않은 이유 첫 번째는 방어망 설치 후보지는 특정 건물 조건(높이, 위치 등)에 따라 점수를 부여받는데, 수도권 북부지역에서는 점수가 높은 건물이 상대적으로 적었을 가능성이 있다. 그리고 두 번째 경기 북부 지역은 산악지형이 많아 고층 건물의 밀집도가 상대적으로 다른 지역에 비해 낮아 방어망 설치가 어려운 것으로 추정되어 진다.

따라서 고양시, 의정부 등의 지역에서 방어망 설치 가능성이 높은 건물을 추가 분석하여 전력적 가치가 있는 위치를 선별해야 한다. 그리고 서울로 이어지는 주요 진입로(고속도로, 국도, 철도)를 고려하여, 최적의 방어망 배치 전략을 수립해야 한다. 북한과 직접적인 거리가 가까운 지역일수록 방어망의 밀도가 중요하

로, 의정부와 고양시 등 북부 지역의 핵심 거점을 선정하는 것이 필요해보인다.

또한, 건물 점수체계 개선 및 필터링 작업을 통해, 수도권 북부 지역에서 설치 가능한 건물이 존재하는지 추가 분석이 요구된다. 방어 공백이 발생하지 않도록, 기존 방어망과의 조화를 이루는 최적의 배치 전략을 마련해야 한다.

현재 수도권 방어망은 서울의 서쪽, 동쪽, 중앙을 중심으로 배치되었으며, 정부 기관 보호와 주요 진입로 차단을 주요 목표로 설정하였다. 그러나 서울 북쪽(의정부, 양주, 파주 등)에서 방어 공백이 발생할 가능성이 크므로, 추가적인 배치 검토가 필요하다. 이를 위해 수도권 북부 지역의 후보지를 재검토하고, 기존 방어망과 조화를 이루는 전략적 배치를 통해 수도권 방어망의 완성도를 높여야 할 것이다

V. 연구결과의 기대효과 및 활용방안

본 연구는 천광 시스템의 수도권 내 최적 배치를 위한 AI 기반 건물 탐지 및 적합성 평가 모델을 구축하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 방공망 구축의 효율성을 높이고, 드론 위협에 대한 대응 능력을 강화하는 실질적인 성과를 도출할 것으로 기대된다. 본 장에서는 연구결과가 기대되는 효과와 활용 방안을 제시한다.

1. 연구결과의 기대효과

1) 수도권 방공망의 효과적 구축 및 드론 방어력 강화

- 기존의 미사일 중심 방공 체계의 한계를 극복하고, 레이저 기반 천광 시스템을 활용한 신속한 드론 요격이 가능함.
- 수도권 내 다층 방공 시스템을 구축함으로써 북한의 드론 위협을 실질적으로 차단할 수 있음.
- AI 기반 탐지 모델을 활용하여 천광 시스템 설치를 위한 최적의 건물을 선정, 수도권 내 방공망을 보다 정밀하게 운영할 수 있음.

2) AI 기반 위성 이미지 분석의 방공 분야 적용 확대

- AI 기반 위성 이미지 분석 기술을 적용하여 건물 옥상 면적을 자동 탐지하고, 이를 방공 시스템 구축에 활용하는 새로운 접근 방식을 제시함.
- 기존의 수동 평가 방식과 비교하여 보다 신속하고 정밀한 분석이 가능하며, 실시간 업데이트를 통해 변동 사항을 반영할 수 있음.
- 위성 데이터와 AI 모델을 결합함으로써 군사·안보 분야뿐만 아니라 도시 계획, 재난 대응 등 다양한 분야로 확장 가능함.

3) 객관적이고 정량적인 건물 적합성 평가 모델 도입

- 전문가 의견(Delphi 기법)을 반영하여 천광 시스템 설치에 적합한 건물 평가 기준을 정립함.
- 데이터 정규화 및 점수 평가 기법을 활용하여 객관적이고 정량적인 건물 적합성 평가가 가능함.
- 수도권 내 최적의 건물을 선별함으로써, 제한된 자원을 효율적으로 활용하고 방어 효과를 극대화할 수 있음.

2. 연구결과의 활용방안

1) 수도권 방공망 구축 및 천광 시스템 운영 전략 수립

- 본 연구의 결과를 활용하여 천광 시스템 배치를 위한 전략적 로드맵을 수립할 수 있음.
- 최적의 방어 거점을 중심으로 단계별 방공 시스템(1~3단계) 구축 계획을 세울 수 있으며, 실시간 탐지 시스템과 연계하여 더욱 정밀한 방어가 가능함.
- AI 기반 건물 탐지 및 적합성 평가 모델을 다른 군사 시설 및 도시 방어 체계에도 적용할 수 있음.

2) 군사·국방 분야에서 AI 기반 방공 시스템 개발에 활용

- 본 연구에서 제안한 AI 기반 옥상 탐지 모델 및 건물 평가 시스템을 군사적 방공 시스템 구축에 적용할 수 있음.

- 위성 데이터 기반 분석을 통해 적군의 군사 시설 탐지, 주요 방어 거점 선정 등 다양한 군사 전략 수립에 기여할 수 있음.
- 실시간 위성 데이터 및 AI 모델을 결합하면 적 드론 및 미사일 위협에 대한 사전 탐지 및 대응 능력을 향상시킬 수 있음.

3) 재난 대응 및 도시 방재 시스템 구축에 활용

- 본 연구의 AI 기반 탐지 기술은 지진, 홍수, 대형 화재 등 재난 발생 시 구조물의 안정성을 평가하는 데 활용될 수 있음.
- 도심 내 재난 대비를 위한 방재 시스템 구축 및 고층 건물 안전성 평가에도 적용 가능함.
- 위성 이미지 분석을 통한 건물 구조 및 손상 탐지 기술과 결합하여, 재난 발생 시 신속한 대응이 가능하도록 지원할 수 있음.

3. 향후 연구 방향

본 연구는 수도권 내 최적의 천광 시스템 설치 위치를 선정하기 위해 AI 기반 위성 이미지 분석과 Delphi 기법을 적용하는 새로운 방식을 제안하였다. 향후 연구에서는 다음과 같은 발전 방향을 고려할 수 있다.

- 실시간 위성 데이터 연계 및 자동 업데이트 시스템 개발
→ 현재 연구에서는 정적인 위성 데이터를 활용하였으나, 실시간 데이터 연계를 통해 자동 업데이트가 가능한 방공 시스템 구축이 필요함.
- 다양한 AI 모델 비교 및 성능 향상 연구
→ 본 연구에서는 SAM-2 모델을 활용하였으나, Mask R-CNN, U-Net 등 다른 세분화 모델과의 성능 비교 및 최적화가 필요함.
- 방공 시스템의 확장 및 추가 요인 고려
→ 건물 적합성 평가 시 건축물의 내진 성능, 풍속 영향, 도심 내 드론 경로 예측 등의 요소를 추가 분석하는 연구가 필요함.

4. 결론

본 연구는 AI 기반 위성 이미지 분석과 건물 적합성 평가 모델을 활용하여 수도권 내 천광 시스템의 최적 배치 방안을 도출하였다. 연구 결과를 통해 다음과 같은 성과를 기대할 수 있다.

- 과학적이고 정량적인 분석을 기반으로 수도권 방공망의 효율적인 구축이 가능하다.
- AI 기술을 방공망 배치뿐만 아니라 국방, 재난 대응, 스마트시티 등 다양한 분야에 적용할 수 있다.
- 천광 시스템의 최적 배치를 통해 드론 위협에 대한 신속한 대응이 가능하며, 수도권의 방어 능력을 극대화할 수 있다.

향후 연구에서는 실시간 위성 데이터 및 다양한 AI 모델을 결합하여 더욱 정밀하고 최적화된 방공망 구축

방안을 개발할 필요가 있다.본 연구가 AI 기반 국방 및 방공 기술 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 연구추진 일정

기 간 (추진년월일)	연구 단계	주요 활동
01/08 ~ 01/20	기획	PJ 이해 및 범위 설정 (주제 선정, 문제 정의, 목표 설정)
01/10 ~ 01/20		프로젝트 정의 및 계획 수립 (기획서 작성, 일정 수립, 협업 톨 설정)
01/09 ~ 01/15	데이터 수집 및 전처리	필요 데이터 정의 (출처 확인, 데이터 활용 가능성 검토)
01/10 ~ 02/04		데이터 수집 및 정합성 검증 (크롤링, API 활용, 데이터 정리)
01/23 ~ 02/12		데이터 정제 및 전처리 (이상치 처리, 데이터 변환, 라벨링)
01/31 ~ 02/03	탐색적 데이터 분석 (EDA)	변수 분포 확인, 상관관계 분석, 데이터 시각화
01/13 ~ 02/03	모델링 및 분석	모델 선정 및 설계 (옥상 탐지, 포인트 탐지, 랭킹 모델)
01/22 ~ 01/22		데이터셋 분할 및 학습 준비 (Train/Test/Validation 설정)
01/24 ~ 02/10		모델 학습 및 최적화 (하이퍼파라미터 튜닝, Feature Importance 분석)
02/12 ~ 02/17		모델 평가 및 검증 (성능 평가, 비교 및 개선, 테스트)
02/03 ~ 02/07	델파이 기법 및 설문조사	델파이 기법 기반 특성 중요도 평가 및 전문가 설문조사 진행
02/08 ~ 02/11		설문조사 결과 분석 및 모델 필터링 적용
02/11 ~ 02/14	분석 결과 적용	모델 예측 결과 시각화, 인사이트 도출, PJ 적용 가능성 분석
02/14 ~ 02/16		분석 결과 대시보드 구축 및 활용 방안 마련
02/17 ~ 02/20	분석 결과 보고	보고서 작성 및 내부 공유, 최종 발표 및 피드백 반영
02/19 ~ 02/20		후속 연구 및 개선 방향 제안

V. 참고문헌

1. 논문

- 김동은, “국내 항공영상에서 건물 변화탐지를 위한 딥러닝 ChangeFormer 모델의 파인튜닝 학습” 『서강대학교 AI.SW대학원 석사학위논문』, 2025.
- 김용민·장안진·김용일, “분할과 중첩 기법을 이용한 항공 사진 상의 빌딩 경계 추출”, 『한국측량학회지』, 제 30권 1호, 한국측량학회, 2012.
- 김혜주·나재호, “고해상도 텍스처 맵 생성을 위한 딥러닝 기반 초해상도 기법들의 비교 분석 연구”, 『한국컴퓨터그래픽스학회논문지』, 제 29권 5호, 한국컴퓨터그래픽스학회, 2023.
- 김희송·김덕진·김준우, “형태학적 연산과 경계추출 학습이 강화된 U-Net을 활용한 Sentinel-1 영상 기반 수체탐지”, 『대한원격탐사학회지』, 제 38권 5호, 대한원격탐사학회, 2022.
- 김학기, “우크라이나 전쟁과 드론, 한국산업에 대한 시사점”, 『월간 KIET 산업경제』 제2권, 산업연구원, 2023.
- 박혁진·권동원·상완규 외, “딥러닝 기반 옥수수 포장의 잡초 면적 평가”, 『한국농림기상학회지』, 제 25권 1호, 한국농림기상학회, 2023.
- 백경혁·이영우·장훈, “저고도 방공 레이더 최적 배치에 관한 연구”, 『한국군사과학기술학회지』 제 17권 2호, 한국군사과학기술학회, 2017.
- 서강일·김기원·김종훈·조상근·박상혁 “소형드론 위협 사례와 대드론체계 발전방향”, 『The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)』, 제 9권 2호, 국제문화기술진흥원, 2023.
- 석상묵·이지영, “우리나라 도로명주소를 활용한 지오코딩 및 역 지오코딩 기법 개발”, 『한국측량학회지』, 제 34권 1호, 한국측량학회, 2016.
- 우병오·오재인 “델파이 조사와 AHP 분석을 활용한 인공지능 기반 SaMD 도입 의사결정 요인에 관한 연구”, 『한국빅데이터학회지』 제 8권 1호, 한국빅데이터학회, 2023.
- 윤승환·김수환, “유전자 알고리즘을 이용한 한국형 미사일 방어체계 최적 배치에 관한 연구”, 『체계공학』, 국방대학교, 2015.
- 이경행 “레이저를 활용한 대테러 안티드론 전략 연구”, 『한국테러학회보』 제 15권 4호, 한국테러학회, 2022.
- 이남일, “對드론(Counter-Drone)체계 구축을 위한 영향요인 분석 - 국가중요시설을 중심으로” 『The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)』, 제 10권 4호, 국제문화기술진흥원, 2024.
- 이현우·양준호·송명수·김송·김재현, “딥러닝을 활용한 건물 옥상 면적 계산 모델”, 『한국통신학회 학술대회논문집』, 한국통신학회, 2019.

- 양 철·전우훈·문 필, "Inverse Haversine Method를 활용한 거리 기반 좌표 계산에 관한 연구", 『디지털콘텐츠학회논문지』, 제 20권 10호, 디지털콘텐츠학회, 2019.
- 최선빈·나한일·이기학·문현준, "U-Net을 이용한 딥러닝 기반 조적벽 균열 탐지", 『한국 차세대컴퓨팅학회 춘계학술대회』, pp.405-408, 한국차세대컴퓨팅학회, 2021.
- 최현진·이송희·우현아·김민영·노성진, "고해상도 도시 침수 해석을 위한 딥러닝 기반 초해상화 기술 적용", 『한국수자원학회논문집』, 제 56권 10호, 한국수자원학회, 2023.
- Mohammadi, S., Belgiu, M., Stein, A. "3D Fully Convolutional Neural Networks with Intersection Over Union Loss for Crop Mapping from Multi-Temporal Satellite Images", arXiv preprint arXiv:2102.07280, 2021.
- He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., Girshick, R. "Mask R-CNN", arXiv preprint arXiv:1703.06870, 2017.
- Rashid, S. I., Shakibapour, E., · Ebrahimi, M. "Single MR Image Super-Resolution using Generative Adversarial Network", 『Proceedings of the International Conference E-Health 2022』, IADIS Press, 2022.
- Ravi, N., Gabeur, V., Hu, Y-T., et al. "Segment Anything Model 2: Towards Foundation Models for Image and Video Segmentation", arXiv preprint arXiv:2402.01007, 2024.

2. 온라인 사이트

AI-Hub. <https://www.aihub.or.kr/>(검색일: 20250126)

Kakao Map. <https://map.kakao.com/>(검색일: 20250126)

건축허브. <https://www.hub.go.kr/portal/main.do>(검색일:20250130)

1차 델파이 설문지

설문지 번호			
--------	--	--	--

설문 주제: 1차 델파이 조사(천광 건물 옥상에 설치 시 각 요인별 중요도)

안녕하세요. 한화에어로스페이스 2기 4조입니다.

본 설문은 국방 데이터 분석 과정의 최종 프로젝트(FINAL PJ)의 일환으로, 천광 시스템 설치 시 고려해야 할 주요 요인들의 중요도를 평가하기 위해 진행됩니다. 본 연구는 델파이 기법을 활용하여 전문가 의견을 종합함으로써, 천광 시스템 배치에 적합한 최적의 기준을 도출하고자 합니다.

본 설문은 델파이 1차 설문지이며, 전문가 간 의견 수렴을 위해 향후 추가 설문이 진행될 수 있음을 알려드립니다.

각 문항에는 정답이 없으며, 귀하께서 직접 경험하고 느끼신 대로 솔직하게 응답해 주시면 됩니다. 응답은 해당 칸에 √(체크 표시)를 하여 답변해 주시면 됩니다.

설문답변의 예상시간은 약 5분정도이며, 귀하께서 제공해 주신 모든 응답은 통계법 제33조(비밀 보호 조항)에 따라 철저히 보호됩니다. 응답 내용은 완전히 익명으로 처리되며, 연구 목적 외에는 절대 사용되지 않습니다. 수집된 자료는 오직 학문적 연구 목적으로만 활용되며, 귀하께 어떠한 불이익도 발생하지 않습니다.

각 질문을 보시고 생각하는 해당 항목을 선택해주시면 감사드리겠습니다.

바쁘신 와중에도 설문에 참여해주셔서 감사드립니다 :)

I. 천광 대공 레이저무기에 대한 간략한 설명입니다.*

천광은 대한민국에서 개발한 한국형 레이저 대공 무기체계로, 무인 항공기를 실시간으로 탐지, 추적, 그리고 무력화할 수 있는 첨단 방어 시스템이다. 천광은 고출력 레이저를 활용해 무인 항공기와 같은 공중 위협에 저비용으로 대응하기 위한 최적의 방어체계로 설계되었다.

<주요 스펙>

무게 : 약 15톤

면적 : 27m²

출력 : 20KW

운용방식 : 지상배치(설치)

요격가능거리 : 약 2~3km

1회 발사비용 : 약 1,000~2,000원



□ 확인하였습니다.

Ⅱ. 인구통계학적 특성

1. 성별 ☐남자 ☐여자
2. 연령 ☐20대 ☐30대 ☐40대 ☐50대 ☐60대
3. 분야 ☐건축 ☐구조공학 ☐군사전략 ☐방공시스템 ☐기타(자세히)
4. 종사기간 ☐5년미만 ☐5~10년미만 ☐11~15년 미만 ☐16~20년미만 ☐20년 이상

Ⅲ. 건물 특성 요인 평가

아래 질문들은 천광 설치 시 저희조에서 중요하다고 생각 한 임의 요인들 입니다.

내용을 보시고 각자 생각하시는 답변을 선택해주시면 됩니다.

설문 응답자가 추가로 고려해야 할 요인이나 의견 있다고 생각하면 9번~10번 항목에 작성 부탁드립니다.

1) 높이나 층수가 높을수록 중요하다고 생각하시나요?*

- ☐ 매우 중요하다
☐ 중요하다
☐ 보통이다
☐ 중요하지 않다
☐ 전혀 중요하지 않다

1-2) 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

2) 건물의 용도(공공시설, 상업시설, 민간시설 등)는 설치결정 얼마나 중요하다고 생각하시나요?*

- ☐ 매우 중요하다
☐ 중요하다
☐ 보통이다
☐ 중요하지 않다
☐ 전혀 중요하지 않다

2-2) 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

3) 건물 옥상 면적이 설치 결정에 얼마나 중요하다고 생각하시나요?*

- ☐ 매우 중요하다

- ☐ 중요하다
- ☐ 보통이다
- ☐ 중요하지 않다
- ☐ 전혀 중요하지 않다

3-2) 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

4) 건물의 노후화 정도는 설치결정에 얼마나 중요하다고 생각하시나요?*

- ☐ 매우 중요하다
- ☐ 중요하다
- ☐ 보통이다
- ☐ 중요하지 않다
- ☐ 전혀 중요하지 않다

4-2) 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

5) 건물의 구조(철근콘크리트, 철골구조 등)가 설치시 얼마나 영향을 미친다고 생각하시나요?*

- ☐ 매우 중요하다
- ☐ 중요하다
- ☐ 보통이다
- ☐ 중요하지 않다
- ☐ 전혀 중요하지 않다

5-2) 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

6) 주요시설과의 거리가 얼마나 중요하다고 생각하시나요?*

- ☐ 매우 중요하다
- ☐ 중요하다
- ☐ 보통이다
- ☐ 중요하지 않다
- ☐ 전혀 중요하지 않다

6-2) 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

7) 천광 감시 및 방어 효율성을 극대화 하기 위해 시야각 확보가 얼마나 중요하다고 생각하시나요?*

- ☐ 매우 중요하다

- ☐ 중요하다
- ☐ 보통이다
- ☐ 중요하지 않다
- ☐ 전혀 중요하지 않다

7-2) 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

8) 내진설계 적용 여부가 중요하다고 생각하시나요?*

- ☐ 매우 중요하다
- ☐ 중요하다
- ☐ 보통이다
- ☐ 중요하지 않다
- ☐ 전혀 중요하지 않다

8-2) 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

9) 추가 의견

추가 의견

설문 응답자가 추가로 고려해야 할 요인이 있다고 생각하면 아래에 작성해 주세요.

기타 고려해야 할 요인: -----

추가 의견: -----

귀하의 응답은 연구에 매우 중요한 자료로 활용될 예정입니다.

설문에 응답해 주셔서 진심으로 감사드립니다.

추가적인 문의 사항이 있으면 아래 연락처로 연락해 주시기 바랍니다.

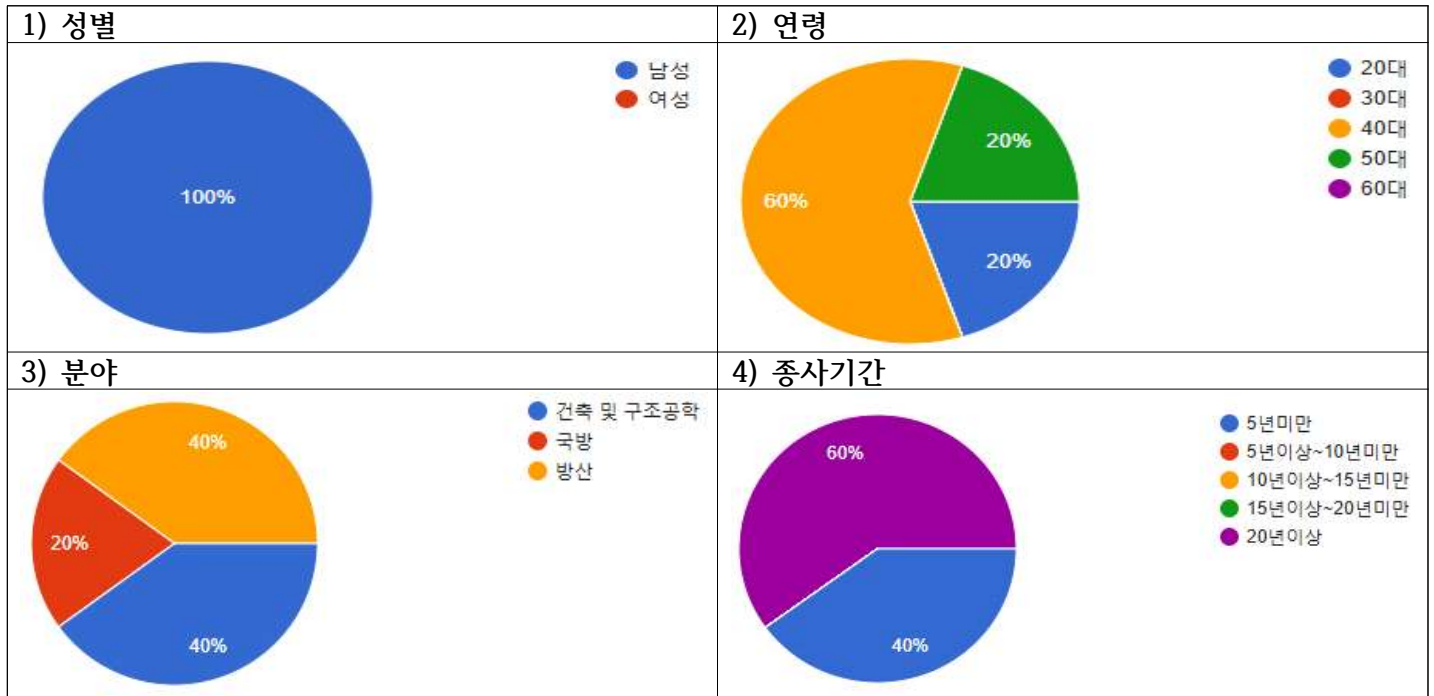
담당자: 유종진

이메일: yyjj9990521@gmail.com

연락처: 010-7979-2854

1차 델파이 설문조사 결과 도표

I. 참여자

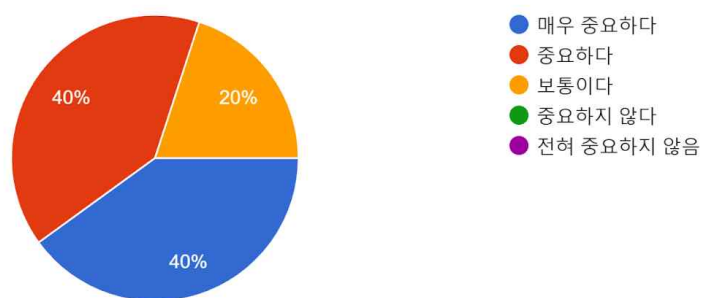


II. 요인별 결과

1-1. 층수 => 평균점수 : 4.2

1. 높이나 층수가 높을수록 중요하다고 생각하시나요?

응답 5개



1-2. 전문가 의견

방사시 장애물이 없도록

하늘침공 이므로 가장높은곳에서 발사해야 지장물의 가림이 줄어든다

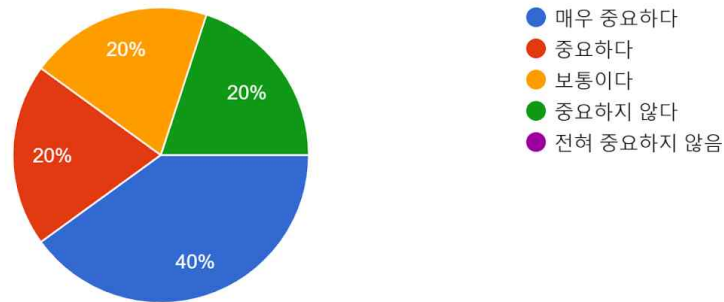
감시정찰 및 레이저빔 조사시 타건물에 의한 방해 방지

비율이 더 중요하기 때문에 다소 중요성이 떨어짐

유효사거리 확보

2-1. 용도 => 평균점수 3.8

2. 건물의 용도(공공시설, 상업시설, 민간시설 등)는 설치결정 얼마나 중요하다고 생각하시나요?
응답 5개

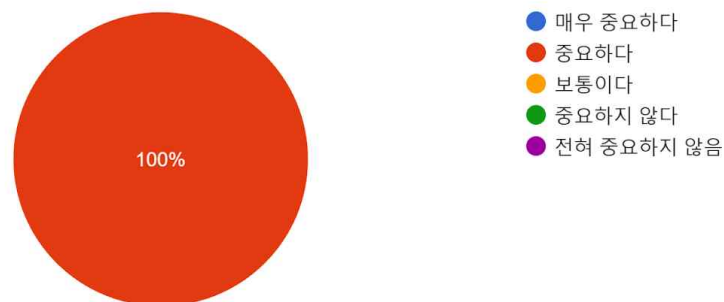


2-2. 전문가 의견

장비보호시설 설치 목적으로 민간시설은 많은 제약
용도보다는 건축물의높이 가장높은곳인지 가 더중요하다
방어 대상에 따라 결정할 문제이지 설치하는 건물은 크게 영향이 없다고 봄
용도별 하중이 있기 때문에
군사적 중요지역, 요충지 등 경찰, 감시, 타격을 위한 무인기 활동이 예상되는 지점에
설치되어야하기때문임.

3-1. 면적 => 평균점수 : 4

3. 건물 옥상 면적이 설치 결정에 얼마나 중요하다고 생각하시나요?
응답 5개



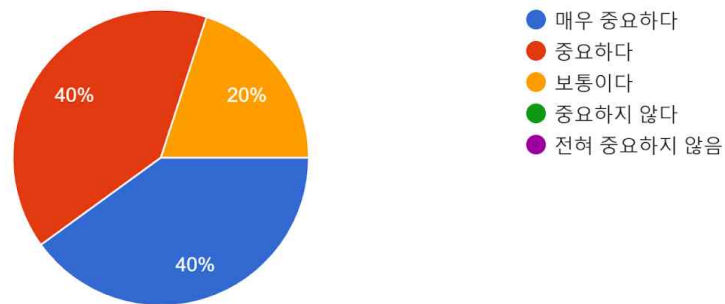
3-2. 전문가 의견

기반시설+경계시설물+정비 등 후속지원을 위한 공간필요
설치의 최소면적이상을 확보되는지 운반방법은 가능한지 검토가 필요하다
천광 운용 및 방호(경계울타리, 운용 병력배치) 공간 필요
넓을 수록 하중을 잘받음
레이저대공무기 제원 기준 운용 환경 조성을 위함.

4-1. 노후화 => 평균점수 : 4.2

4. 건물의 노후화정도는 설치결정에 얼마나 중요하다고 생각하시나요?

응답 5개



4-2. 전문가 의견

지진 등 피해고려

자중및 운전하중을 견디기위해서는 새로지은 건축물이 좋을듯 합니다

추가 하중에 따른 건물 구조 영향성

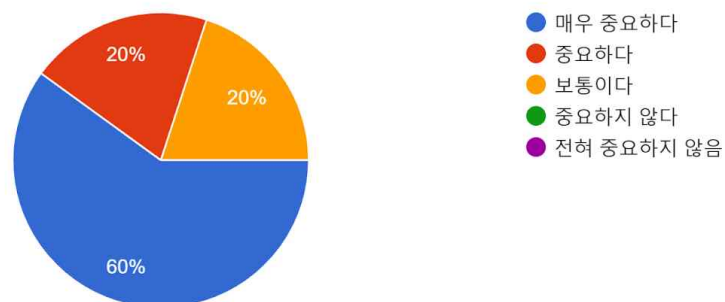
신 건물일수록 튼튼하다

노후화가 건물의 안전성과 연계되었을 경우에 따라 중요도가 달라짐.

5-1. 구조 => 평균점수 : 4점

5. 건물의 구조(철근콘크리트, 철골구조 등)가 설치시 얼마나 영향을 미친다고 생각하시나요?

응답 5개



5-2. 전문가 의견

안정적인 방사를 위하여

구조방법에따라 안전성이 확보된다 가급적 철골 철근콘크리트 혹은 철근 콘크리트조가 좋다

천광에 대한 하중을 견디느냐가 중요하지 건물구조는 중요하지 않음

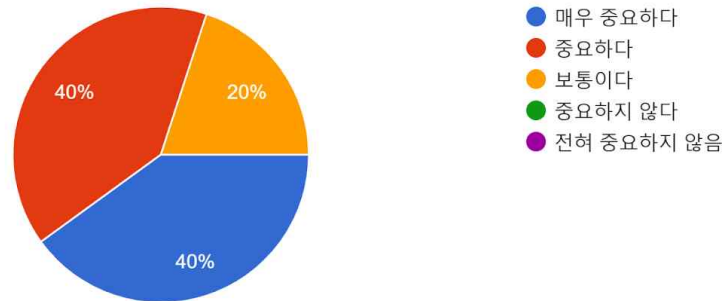
구조마다 특성이 다르기 때문

안정적인 운용 조건을 위한 내진설계 및 튼튼한 구조 필요

6-1. 주요시설 거리 => 평균점수 : 4.2

6. 주요시설과의 거리가 얼마나 중요하다고 생각하시나요?

응답 5개



6-2. 전문가 의견

사각지역이 발생하지 않도록 설치 필요

안전확보를위한 가치가 높은곳으로 생각된다

천광의 레이저빔 조사 가능거리에 따라 운용위치와 방호대상 주요시설과의 거리 결정 필요

거리 보다는 조건에 맞는 건물에 방어선 구축이 필요하다

유효사거리 내 운용을 위해서

7. 시야각 => 평균점수 : 5

7. 천광 감시 및 방어 효율성을 극대화 하기 위해 시야각 확보가 얼마나 중요하다고 생각하시나요?

응답 5개



7-1. 전문가 의견

방사에 사각이 발생하면 안됨

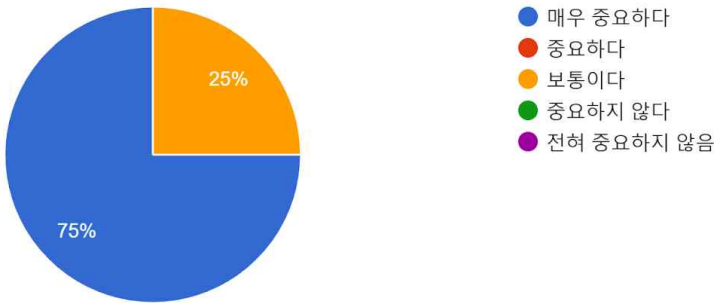
방어형 무기이다보니 타겟 시야확보는 중요할듯

천광의 레이저 조사를 위해 시야각 확보가 매우 중요함

정찰, 감시, 추적, 조준, 격추를 위한 기본조건임.

8-1. 내진설계 => 평균점수 : 4.6

8. 내진설계 적용 여부가 중요하다고 생각하시나요?
응답 4개



안정적인 방사와 장비보호
내진은 흔들림에대한 안전을 확보하는것이다, 천광 의 운전 하중을 확보하기 위해서는 중요하다
레이저 발생장치, 발전기 등의 구성장비에 영향성 고려시 내진설계 중요함
안정적인 운용을 위한 조건으로 판단됨.

8-2. 전문가 의견

9. 1차 델파이 설문 요약

ID	성별	연령	분야	증사기간	총수	용도	면적	노후화	구조	주요시설	시야각	내진설계
1	남성	40대	방산	20년이상	5	5	4	3	4	5	5	5
2	남성	40대	방산	5년미만	4	3	4	4	3	5	5	5
3	남성	20대	건축 및 구조공학	5년미만	3	5	4	5	5	3	5	3
4	남성	50대	건축 및 구조공학	20년이상	5	2	4	5	5	4	5	5
5	남성	40대	국방	20년이상	4	4	4	4	5	4	5	5

2차 델파이 설문지

설문지 번호			
--------	--	--	--

안녕하십니까? 본 설문은 델파이 2차 설문지입니다.

1차 설문에서 전문가 의견이 모두 일치한 2개 문항(옥상 면적, 시야각 확보)은 제외하였으며, 합의되지 않은 6개 항목에 대해서만 재설문을 진행합니다.

각 문항에는 다수 응답자의 의견과 일부 응답자의 의견이 정리되어 있습니다. 이를 참고하시되, 다른 가능성도 함께 고려하신 후 자유롭게 응답해 주시면 됩니다.

본 설문은 전문가 간 의견 수렴을 위한 과정으로, 추가 설문이 진행될 가능성이 있습니다.

정답은 없으며, 귀하의 경험과 견해를 바탕으로 솔직하게 응답해 주시면 됩니다. 응답은 해당 칸에 표시하여 제출해 주시면 됩니다.

귀하의 응답은 통계법 제33조(비밀 보호 조항)에 따라 철저히 보호되며, 연구 목적 외에는 절대 사용되지 않습니다. 모든 응답은 익명으로 처리되며, 연구 이외의 용도로 활용되지 않습니다. 따라서 본 설문에 응답함으로써 귀하께 어떠한 불이익도 발생하지 않습니다.

귀하의 소중한 의견은 본 연구의 중요한 기초 자료로 활용될 예정이므로, 성실하고 적극적인 응답을 부탁드립니다.

바쁘신 와중에도 협조해 주셔서 감사합니다.

I. 천광 대공 레이저무기에 대한 간략한 설명입니다.*

천광은 대한민국에서 개발한 한국형 레이저 대공 무기체계로, 무인 항공기를 실시간으로 탐지, 추적, 그리고 무력화할 수 있는 첨단 방어 시스템이다. 천광은 고출력 레이저를 활용해 무인 항공기와 같은 공중 위협에 저비용으로 대응하기 위한 최적의 방어체계로 설계되었다.

<주요 스펙>

무게 : 약 15톤

면적 : 27m²

출력 : 20KW

운용방식 : 지상배치(설치)

요격가능거리 : 약 2~3km

1회 발사비용 : 약 1,000~2,000원



□ 확인하였습니다.

Ⅱ. 인구통계학적 특성

1. 성별 ☐남자 ☐여자
2. 연령 ☐20대 ☐30대 ☐40대 ☐50대 ☐60대
3. 분야 ☐건축 ☐구조공학 ☐군사전략 ☐방공시스템 ☐기타(자세히)
4. 종사기간 ☐5년미만 ☐5~10년미만 ☐11~15년 미만 ☐16~20년미만 ☐20년 이상

Ⅲ. 건물 특성 요인 평가

천광 시스템의 설치 위치 결정에서 건물 층수의 중요성에 대한 응답자들의 의견은 대체로 높은 평가를 받았습니다. 5명의 응답자 중 4명이 "매우 중요하다" 또는 "중요하다"라고 응답하였으며, 1명은 "보통이다"라고 평가하였습니다.

1. 건물 층수가 중요한 이유 (대다수 응답자 의견)
천광 시스템의 발사 시 장애물을 최소화하기 위해 높은 층이 유리하다는 점이 강조되었습니다. 건물이 높을수록 감시 및 대응이 용이하며, 특히 하늘에서 접근하는 위협을 감지하고 방어하는 데 효과적이라는 의견이 있었습니다. 따라서, 시스템의 운영 효율성을 극대화하려면 가능한 한 높은 위치에 설치하는 것이 바람직하다는 견해가 우세했습니다.

2. 건물 층수의 중요성이 상대적으로 낮을 수도 있다는 의견 (일부 응답자 의견)
반면, 일부 응답자들은 건물 층수 자체보다는 주변 환경(특히 주변 장애물의 유무)이 더 중요할 수 있다는 점을 지적하였습니다. 천광 시스템이 감시·정찰 및 레이저 빔 조사를 수행할 때, 높은 층수보다 "주변 장애물로부터 자유로운 환경"이 더 결정적인 요소가 될 수도 있다는 의견이 있었습니다. 즉, 건물이 높더라도 주변에 더 높은 장애물이 있다면 실질적인 감시 및 방어 효과는 제한될 수 있다는 것입니다.

3. 합의를 위한 정리된 논점
대다수 응답자가 건물 층수의 중요성을 인정하였으나, 일부 응답자는 층수 자체보다 주변 장애물의 영향을 더 중요한 변수로 고려해야 한다고 보았습니다. 따라서, 천광 시스템의 설치 위치를 평가할 때 "건물 층수"와 함께 "주변 장애물 유무"를 동시에 고려하는 것도 중요해보여집니다.

1. 건물의 층수는 천광 시스템의 감시 범위와 운영 효율성에 영향을 미칩니다. 건물 층수는 설치 위치 결정에 얼마나 중요한가요?
- ☐매우 중요하다 ☐중요하다 ☐보통이다 ☐중요하지 않다 ☐전혀 중요하지 않다
-

천광 시스템의 설치 위치 결정에서 건물 용도의 중요성에 대한 응답자들의 의견은 대체로 높은 평가를 받았습니다. 5명의 응답자 중 4명이 "매우 중요하다" 또는 "중요하다"라고 응답하였으며, 1명은 "보통이다"라고 평가하였습니다.

1. 건물 용도가 중요한 이유 (대다수 응답자 의견)

설문 응답자 5명 중 4명이 "매우 중요하다" 또는 "중요하다"라는 응답하였으며, 응답자들은 건물의 용도마다 하중이 다르고 민간시설에 설치시 많은 제약조건들이 있어 건물의 용도가 천광 시스템 설치 시 중요할 것이다 라는 의견이 있었습니다. 특히 군사적 중요지역, 요충지 등 정찰, 감시, 타격을 위한 무인기 활동이 예상되는 지점에 설치되어야 한다는 의견이 있었습니다.

2. 건물 용도의 중요성이 상대적으로 낮을 수도 있다는 의견 (일부 응답자 의견)

반면, 일부 응답자들은 건물 용도보다는 건축물의 높이가 더 중요할 것이며, 방어 대상과의 관계가 더 중요한 요소 라는 응답을 하였습니다. 즉, 건물 용도 자체가 아니라, 해당 건물이 방어 대상과 어떤 관계에 있는지가 더 중요한 판단 요소가 될 수 있다는 것입니다. 또한, 방어 대상이 무엇인지에 따라 최적의 설치 위치가 달라질 수 있기 때문에, 용도보다는 방어전략을 기준으로 결정해야한다는 시각도 있었습니다.

3. 합의를 위한 정리된 논점

건물 용도가 중요하다는 의견이 다수를 차지하였으나, 일부 응답자들은 용도 자체보다는 건물의 높이, 구조적 안정성, 방어 대상과의 관계가 더 중요한 변수일 수 있다고 보았습니다. 따라서, 천광 시스템의 최적 설치 위치를 평가할 때, 설치 건물의 용도(군사시설, 공공시설 등)의 적절성과 주변 장애물 및 방어 대상과의 관계를 고려하는 것이 필요해보입니다.

2. 건물의 용도(공공시설, 상업건물, 민간 건물 등)는 설치 가능성에 영향을 미칩니다. 용도는 설치 결정에 얼마나 중요한가요?

☐매우 중요하다 ☐중요하다 ☐보통이다 ☐중요하지 않다 ☐전혀 중요하지 않다

천광 시스템의 설치 위치 결정에서 건물 노후화에 대한 중요성의 응답은 대체로 높은 평가를 받았습니다. 5명의 응답자 중 4명이 "매우 중요하다" 또는 "중요하다"라고 응답하였으며, 1명은 "보통이다"라고 평가하였습니다.

1. 건물 노후화의 정도가 중요한 이유 (대다수 응답자 의견)

설문 응답자 5명 중 4명이 "매우 중요하다" 또는 "중요하다"라는 응답하였으며, 응답자들은 건물의 노후화정도가 신축 건물일수록 하중을 견딜 수 있는 안정성이 확보되어 있기 때문에 설치에 유리할 것이다 라는 의견이 제시되었습니다. 또한 운용 과정에서 발생하는 하중을 효과적으로 견딜 수 있는 건축 구조를 갖춘 건물이 더 적합하다는 응답도 있었습니다.

2. 건물 노후화의 중요성이 상대적으로 낮을 수도 있다는 의견 (일부 응답자 의견)

반면, 일부 응답자들은 건물 자체의 노후화보다는 해당 건물이 천광을 설치할 수 있는 하중을 견딜 수 있는지 여부가 더 중요한 판단 기준이 될 수 있다는 의견이 있었습니다. 즉, 노후화된 건물이라 하더라도 충분히 보강이 된 건물이라면 충분히 설치가 가능할 수 있다라고 응답하였습니다.

3. 합의를 위한 정리된 논점

대다수 응답자는 천광 시스템을 안정적으로 운영하기 위해 신축 건물이 더 적합하다는 입장이었으나, 일부 응답자는 건물의 노후화 자체보다 구조적 보강 및 내진 설계 여부가 더 중요한 변수일 수 있다고 보았습니다.

4. 건물의 노후화 상태는 구조적 안전성과 유지보수에 영향을 미칠 수 있습니다. 노후화 정도는 설치 결정에 얼마나

중요한가요?

☐매우 중요하다 ☐중요하다 ☐보통이다 ☐중요하지 않다 ☐전혀 중요하지 않다

천광 시스템의 설치 위치 결정에서 건물 구조의 중요성에 대한 응답자들의 의견은 대체로 높은 평가를 받았습니다. 5명의 응답자 중 4명이 "매우 중요하다" 또는 "중요하다"라고 응답하였으며, 1명은 "보통이다"라고 평가하였습니다.

1. 건물 구조가 중요한 이유 (대다수 응답자 의견)
설문 응답자 5명 중 4명이 "매우 중요하다" 또는 "중요하다"라는 응답하였으며, 응답자들은 건물 구조가 중요한 요소라고 평가하였습니다. 특히 철골철근콘크리트 혹은 철근콘크리트 건물 구조가 안정성이 있어 천광을 운용하는데 건물의 용도가 중요하다고 응답하였습니다. 또한, 천광의 안정적인 방사, 운용을 위해서는 튼튼하고 내진설계가 되어있는 건물이 더욱 안전할 것이라고 응답하였습니다.

2. 건물 구조의 중요성이 상대적으로 낮을 수도 있다는 의견 (일부 응답자 의견)
반면, 일부 응답자들은 건물 자체의 구조보단 천광에 대한 하중을 견디는 것이 중요하고 건의 구조는 중요하지 않다고 응답하였습니다.

3. 합의를 위한 정리된 논점
대다수 응답자는 천광 시스템을 안정적으로 운영하기 위해 건물 구조(철골, 철근 콘크리트 등)가 중요한 요소이며, 내진 설계가 적용된 튼튼한 구조가 더욱 적합하다는 입장이었습니다.
반면, 일부 응답자는 건물 구조보다도, 하중을 견딜 수 있는지 여부와 보강 가능성이 더 중요한 요소라고 보았습니다.

5. 철근 콘크리트(RC), 철골 구조 등 건물의 구조적 특성은 천광 시스템의 안정성과 유지보수에 영향을 미칩니다. 구조 유형이 설치 결정에 얼마나 중요한가요?

☐매우 중요하다 ☐중요하다 ☐보통이다 ☐중요하지 않다 ☐전혀 중요하지 않다

Ⅲ. 주변 환경 요인 평가

천광 시스템의 설치 위치 결정에서 시야각 확보의 중요성에 대한 응답자들의 의견은 대체로 높은 평가를 받았습니다. 5명의 응답자 중 4명이 "매우 중요하다" 또는 "중요하다"라고 응답하였으며, 1명은 "보통이다"라고 평가하였습니다.

1. 시야각 확보가 중요한 이유 (대다수 응답자 의견)
설문 응답자 5명 중 4명이 "매우 중요하다" 또는 "중요하다"라는 응답하였으며, 응답자들은 천광의 유효사거리에 따라 운용위치와 방호대상 주요시설과의 거리를 결정하는데에 필요하기 때문이라고 응답하였습니다. 또한, 안전확보를 위한 가치가 높은 위치에 선정해야하며, 사각지역이 발생하지 않도록 설치 위치를 신중히 고려해야 한다고 응답하였습니다.

2. 시야각 확보의 중요성이 상대적으로 낮을 수도 있다는 의견 (일부 응답자 의견)

반면, 일부 응답자들은 주요시설의 거리보다는 방어조건에 맞는 건물에 천광을 설치하여 방어선을 구축하는 것이 더 필요하다고 응답하였습니다. 즉, 주요시설과의 거리가 중요할 수 있으나, 천광 시스템이 방어선을 구축하여 최적의 성능을 발휘할 수 있는 것이 더 우선적으로 고려되어야 한다는 의견이 있었습니다.

3. 합의를 위한 정리된 논점

대다수 응답자는 천광 시스템이 유효 사거리 내에서 효과적으로 운용될 수 있도록 주요시설과의 적절한 거리 확보가 필수적이라는 입장이었습니다. 반면, 일부 응답자는 거리 자체보다는 방어선 구축이 가능한 환경과 조건이 더 중요한 요소라고 보았으며, 천광 유효사거리내에 주요시설이 포함되어 사각지역이 발생하지 않아야하며, 적 무인기 침투를 대비한 방공방어선 구축이 가능한 지점을 동시에 고려하는것이 필요합니다.

6. 천광 시스템의 감시 및 방어 효율성을 극대화하기 위해 주변 장애물이 없는 시야각이 확보되어야 합니다. 시야각이 얼마나 중요한가요?

☐매우 중요하다 ☐중요하다 ☐보통이다 ☐중요하지 않다 ☐전혀 중요하지 않다

천광 시스템의 설치 위치 결정에서 건물 내진설계 적용여부의 중요성에 대한 응답자들의 의견은 대체로 높은 평가를 받았습니다. 5명의 응답자 중 4명이 "매우 중요하다" 라고 응답하였으며, 1명은 "보통이다"라고 평가하였습니다.

1. 건물 내진설계 여부가 중요한 이유 (대다수 응답자 의견)

설문 응답자 5명 중 4명이 "매우 중요하다" 또는 "중요하다"라는 응답하였으며, 응답자들은 내진설계는 흔들림에 대한 안전을 확보하는 것으로 천광의 운전하중을 확보하기 위해서는 중요하다고 응답하였습니다. 또한, 안정적인 운용과 장비보호를 위해 내진설계가 중요하다고 응답하였습니다. 특히, 레이저 발생장치, 발전기 등의 구성장비 영향성을 고려하였을 때, 내진설계가 중요하다는 의견이 있었습니다.

2. 건물 내진설계 여부의 중요성이 상대적으로 낮을 수도 있다는 의견 (일부 응답자 의견)

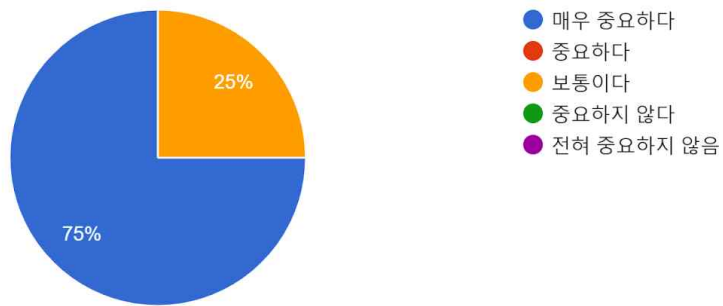
일부 응답자들은 내진설계보다도 방어선 구축이 가능한 환경과 조건이 더 중요한 요소일 수 있다는 의견을 제시하였습니다. 즉, 건물이 내진설계를 갖추었는지 여부보다도, 천광 시스템이 효과적으로 방어할 수 있는 최적의 위치에 배치되는 것이 우선이라는 입장이었습니다.

3. 합의를 위한 정리된 논점

대다수 응답자는 천광 시스템의 안정적인 운용과 장비 보호를 위해 내진설계가 필수적이며, 안전성을 고려한 건물에서 운용하는 것이 중요하다는 입장이었습니다. 반면, 일부 응답자는 내진설계 자체보다도 방어선 구축과 전략적 위치 선정이 더 중요한 요소라고 보았습니다. 따라서, 건물이 내진설계를 갖추고 있고 방어선 구축이 가능한 전략적 위치를 동시에 고려하는것이 필요해보입니다.

8. 내진설계 적용 여부가 중요하다고 생각하시나요?

응답 4개



추가 의견

설문 응답자가 추가로 고려해야 할 요인이 있다고 생각하면 아래에 작성해 주세요.

기타 고려해야 할 요인: _____

추가 의견: _____

귀하의 응답은 연구에 매우 중요한 자료로 활용될 예정입니다.

설문에 응답해 주셔서 진심으로 감사드립니다.

추가적인 문의 사항이 있으면 아래 연락처로 연락해 주시기 바랍니다.

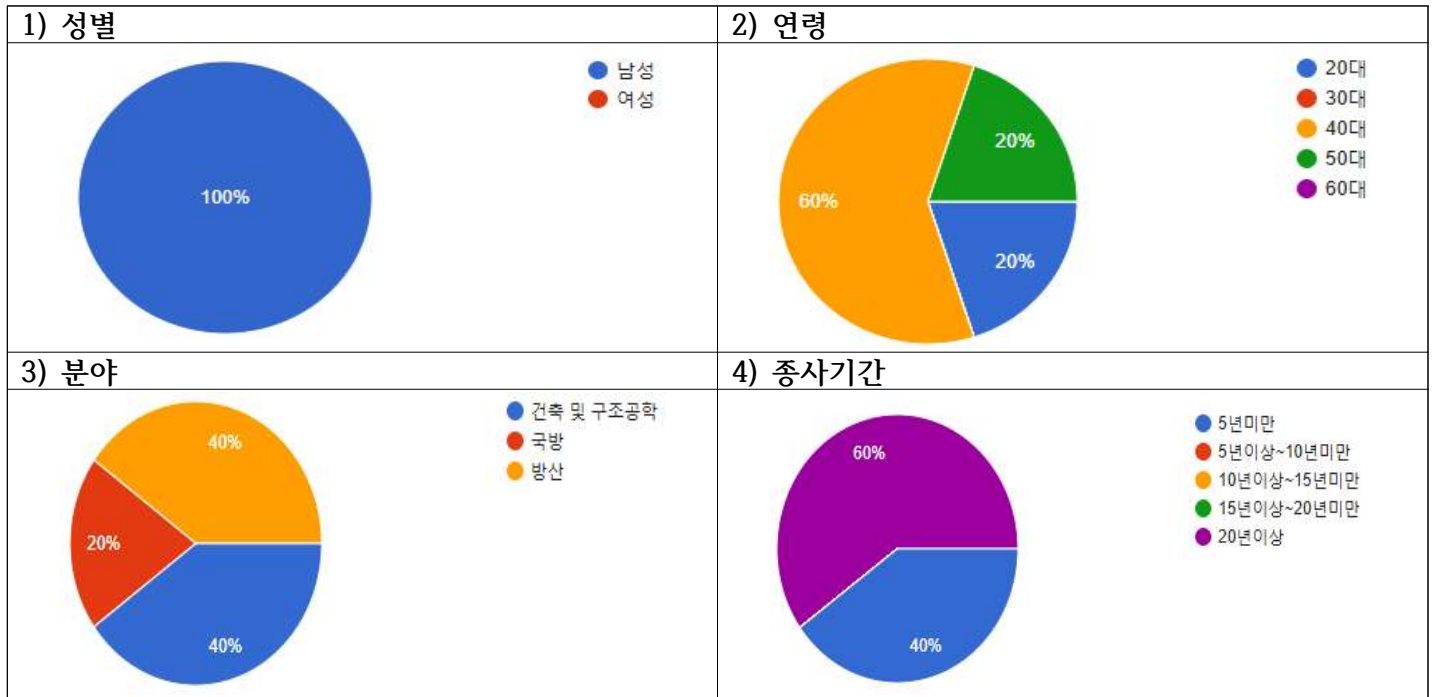
담당자: 김량하

이메일:

연락처:

2차 델파이 설문조사 결과 도표

I. 참여자



II. 요인별 결과

1-1. 층수 => 평균점수 : 4.6

1. 높이나 층수가 높을수록 중요하다고 생각하시나요?

응답 5개



1-2. 전문가 의견

소형 비행체라면 장애물고려가 더 우선이라고 생각합니다.

천광은 방어적 무기이다

따라서 친입하는 드론 격추에 장애물이 없는 장소가 요격 편리에 중요한 요소이다

반면 층수가 높다는 것은 고정된 천광이 적에 노출이 쉬울수 있어 이에대한 대비가 필요하가

합의된 장애물 내용과 동일

장애물이 없다면 비상시 즉각조치(정비, 장비철수 등)를 위해 과하게 높을 필요는 없음

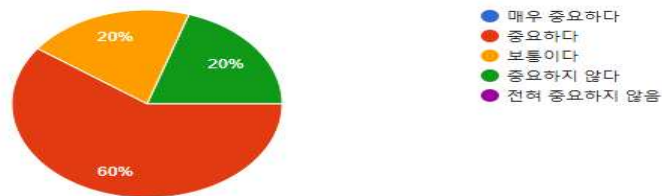
천공 운용을 위해서는 레이저 조사뿐만 아니라 감시추적도 병행되어야 하므로 고층 뿐만 아니라 주변 장애물로 인한 사각지대가 없는 것도 함께 고려되어야 함.

가시거리 확보

2-1. 용도 => 평균점수 : 3.4

2. 건물의 용도(공공시설, 상업시설, 민간시설 등)는 설치결정 얼마나 중요하다고 생각하시나요?

응답 5개



2-2. 전문가 의견

용도가 다른 변수와 비교하면 중요도가 더 낮다고 생각합니다. (구조적 안정성의 하위)

설치건물이 국가보호를 필요한 주요 시설이면 용도가 중요하나 그러한 시설이 아니라면 역시 건축물의 위치나 높이 드론을 격추시키기 위한 주변장애물 유무가 중요하다

천광은 전평시 적 타격대상 이므로 방호 목적상 민간시설은 제한이 있을것임

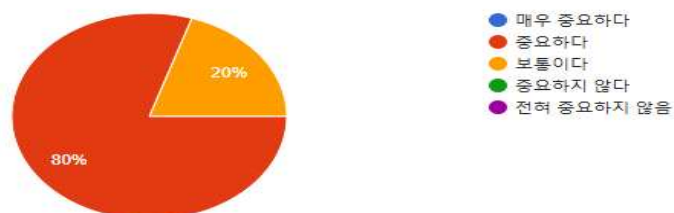
건물의 용도는 천광 설치를 위한 대관/대민협의 편의성, 경계 및 운용병력 배치에 따른 고려요소는 될 수 있으나 직접적으로 천광 성능과는 크게 연관성은 없다고 봄.

건물의 용도 보다는 입지의 용이성이 더 중요

3-1. 노후화 => 평균점수 : 3.8

3. 건물의 노후화정도는 설치결정에 얼마나 중요하다고 생각하시나요?

응답 5개



3-2. 전문가 의견

서울에는 노후화된 건물이 밀집된 지역들이 있기에 이런 지역은 취약할 수 있습니다.

건축물 자체의 노후화보다는 해당 건물이 드른 격추의 위치적 적합성이 더 중요하며 건축물의 노후화 정도는 천광을 설치할 수 있는 하중을 견딜 수만 있으면 된다고 판단된다

15톤 무게와 자연재해 등 고려 건물 안정성 중요

일반적으로 신축건물이 구조적 안정성이 더 보장되기 때문에 유리할수는 있으나, 천광 자체 정하중과 운용간 발생할 수 있는 적의 직접적인 타격에 따른 건물 내구성 등을 종합 고려하여 건물의 구조와 설계하중을 고려하는 것이 더 중요함.

노후화되었다하더라도 내진설계, 안전도가 높다면 노후화된 건물은 크게 영향요인이 아니라고 봄.

4-1. 구조 => 평균점수 : 4.4

4. 건물의 구조(철근콘크리트, 철골구조 등)가 설치시 얼마나 영향을 미친다고 생각하십니까?

응답 5개



4-2. 전문가 의견

장비 운용시 구조재료/구법의 특성이 변수가 될 수 있다고 생각합니다.

천광 시스템을 안정적으로 운영하기 위해 천광 설치 위치의 구조적 안전성은 매우 중요한 요소이다

3번 내용과 동일

일반적으로 신축건물이 구조적 안정성이 더 보장되기 때문에 유리할수는 있으나, 천광 자체 정하중과 운용간 발생할 수 있는 적의 직접적인 타격에 따른 건물 내구성 등을 종합 고려하여 건물의 구조와 설계하중을 고려하는 것이 더 중요함. 건물의 구조는 내진설계와 내화성을 갖추어야 지진, 포격 진동 및 화재에 대한 천광 운용의 안정성을 갖출 수 있음.

철골, 철근 콘크리트구조적 안전성과 내진설계등이 장비운용에 영향을 줄 수 있는 요소임.

5-1. 주요시설 => 평균점수 : 4.6

5. 주요시설과의 거리가 얼마나 중요하다고 생각하십니까?

응답 5개



5-2. 전문가 의견

적절한 거리가 필요하다고 생각합니다.

주요시설물의 안전을 목표로 한다면 당연히 주요시설물의 안전 확보 거리와 천광의 재원을 고려한 위치 선정이 중요하다

사거리 고려 주요시설 내부에서 띄운 드론에 대해서도 방호가 가능하도록 판단

천광을 운용하는 적 위협체(무인기, 미사일, 항공기 등)의 이동속도와 천광 레이저 빔 유효사거리 등을 종합적으로 고려하여 방호하고자 하는 시설과의 거리를 산정하여 배치해야 함. 기본적으로 대공방어는 고도에 따라 다중, 중첩방호를 해야하므로 운용 무기체계의 유효사거리 등 성능을 복합적으로 고려하여 배치 필요함.

사거리 확보를 위한 주변시설물과의 이격 중요

6-1. 내진설계 => 평균점수 : 5

6. 내진설계 적용 여부가 중요하다고 생각하시나요?

응답 5개



6-2. 전문가 의견

진동으로 인해 중요합니다.

내진설계는 흔들림에 대한 저항능력을 반영한 구조이고 내진설계가 적용된 건축물은 천광설치에 더욱더 안전하다고 판단된다

자연재해, 적 포격시 진동 등 고려

천광 운용 개념상 건물의 최상층부에 배치되므로 건물의 구조적 안정성이 매우 중요함. 내진설계는 지진에 대한 설계 뿐만 아니라 건물 및 주변 타격에 의한 진동 등에 대한 부분까지 고려되어야 함. 천광에는 레이저 운용을 위한 민감한 장비(레이저발진기, 발사장치, 냉각장치 등)가 통합운용되므로 내진설계는 매우 중요함.

장비운용의 안전성 고려, 내진설계 중요

7. 2차 델파이 조사 요약

ID	성별	연령	분야	종사기간	층수	용도	노후화	구조	주요시설	내진설계
1	남성	40대	방산	20년이상	5	3	4	4	5	5
2	남성	40대	방산	5년미만	5	4	4	4	5	5
3	남성	20대	건축 및 구조공학	5년미만	4	4	4	5	4	5
4	남성	40대	국방	20년이상	4	4	4	4	4	5
5	남성	50대	건축 및 구조공학	20년이상	5	2	3	5	5	5

3차 델파이 설문조사

설문지 번호			
--------	--	--	--

안녕하십니까? 본 설문은 델파이 3차 설문지입니다.

1차 및 2차 설문을 거친 결과, 여전히 전문가 간 합의되지 않은 요인이 다수 존재하였습니다. 이에 따라 합의되지 않은 요인에 대해 추가적인 분석이 필요하다고 판단하였으며, 각 요인별 세부적인 3가지 질문으로 재구성하여 3차 설문을 진행하게 되었습니다.

각 문항에는 이전 설문에서 나타난 다수 의견과 일부 의견이 요약되어 있습니다. 이를 참고하시되, 다양한 가능성을 고려하여 자유롭게 응답해 주시기 바랍니다.

본 설문은 전문가 간 의견 조율을 위한 과정이며, 필요할 경우 추가적인 설문이 진행될 수 있습니다. 정답이 있는 것이 아니므로, 귀하의 경험과 견해를 바탕으로 솔직하게 응답해 주시면 됩니다.

귀하의 응답은 통계법 제33조(비밀 보호 조항)에 따라 철저히 보호되며, 연구 목적 외에는 절대 사용되지 않습니다. 모든 응답은 익명으로 처리되며, 연구 이외의 용도로 활용되지 않습니다. 따라서 본 설문에 응답함으로써 귀하께 어떠한 불이익도 발생하지 않습니다.

귀하의 소중한 의견은 본 연구의 중요한 기초 자료로 활용될 예정이므로, 성실하고 적극적인 응답을 부탁드립니다.

바쁘신 와중에도 협조해 주셔서 감사합니다.

I. 천광 대공 레이저무기에 대한 간략한 설명입니다.*

천광은 대한민국에서 개발한 한국형 레이저 대공 무기체계로, 무인 항공기를 실시간으로 탐지, 추적, 그리고 무력화할 수 있는 첨단 방어 시스템이다. 천광은 고출력 레이저를 활용해 무인 항공기와 같은 공중 위협에 저비용으로 대응하기 위한 최적의 방어체계로 설계되었다.

<주요 스펙>

무게 : 약 15톤

면적 : 27m²

출력 : 20KW

운용방식 : 지상배치(설치)

요격가능거리 : 약 2~3km

1회 발사비용 : 약 1,000~2,000원



□ 확인하였습니다.

Ⅱ. 인구통계학적 특성

1. 성별 ☐남자 ☐여자
2. 연령 ☐20대 ☐30대 ☐40대 ☐50대 ☐60대
3. 분야 ☐건축 ☐구조공학 ☐군사전략 ☐방공시스템 ☐기타(자세히)
4. 종사기간 ☐5년미만 ☐5~10년미만 ☐11~15년 미만 ☐16~20년미만 ☐20년 이상

Ⅲ. 건물 특성 요인 평가

1. 건물 층수는 천광 시스템의 설치 위치 결정에서 중요한 요소인가?

천광 시스템의 설치 위치 결정에서 건물 층수의 중요성에 대해 응답자들은 대체로 높은 평가를 내렸습니다. 5명의 응답자 중 3명이 "매우 중요하다", 2명이 "중요하다"라고 응답하였으며, "보통이다" 이하의 응답은 없었습니다.

가. 건물 층수가 중요한 이유 (대다수 응답자 의견)

응답자 다수는 천광 시스템의 효과적인 감시 및 요격을 위해 높은 위치가 유리하다는 점을 강조하였습니다.

- 건물 층수가 높을수록 발사 시 장애물을 최소화할 수 있어 감시 및 대응이 용이하며,
- 하늘에서 접근하는 위협을 감지하고 방어하는 데 효과적이라는 의견이 제시되었습니다.
- 따라서, 최대한 높은 위치에 설치하는 것이 시스템의 운영 효율성을 극대화할 수 있는 방법이라는 견해가 우세했습니다.

나. 건물 층수보다 중요한 요소가 있을 수도 있다는 의견 (일부 응답자 의견)

일부 응답자는 건물 층수보다 주변 환경(특히 장애물의 유무)이 더 중요한 요인일 수 있다고 보았습니다.

- 천광 시스템이 감시·정찰 및 레이저 빔 조사를 수행할 때, 높은 위치보다는 '주변 장애물로부터 자유로운 환경'이 더 결정적인 요소가 될 수도 있습니다.
- 즉, 건물이 아무리 높더라도 주변에 더 높은 장애물이 존재한다면 실질적인 감시 및 방어 효과가 제한될 수 있다는 점이 지적되었습니다.
- 또한, 과도하게 높은 위치에 설치하는 경우, 비상시 즉각적인 정비 및 장비 철수가 어려울 수 있다는 의견도 있었습니다.

다. 합의를 위한 정리된 논점

대다수 응답자는 건물 층수의 중요성을 인정했으나, 일부 응답자는 층수 자체보다 주변 장애물과의 관계를 더 중요한 변수로 고려해야 한다고 보았습니다.

따라서, 천광 시스템의 설치 위치를 평가할 때 '건물 층수'와 함께 '주변 장애물 유무'를 동시에 고려하는 것이 필요하며, 높은 층수의 이점과 장애물 회피, 유지보수 용이성 등의 요소를 균형 있게 반영하는 것이 최적의 운영 방안을 도출하는 데 중요할 것으로 보입니다.

1-1-1. 건물의 층수가 높을수록 무인 항공기의 감시 및 대응이 유리하다는 의견이있습니다. 이에 대해 어떻게 생각하십니까? (1~5점, 5점이 높은 점수)*

- 건물 층수가 높을수록 탐지 범위 확대, 감시 사각지대 감소, 조기 대응 가능성 증가 등의 장점이 있을 수 있음
- 반면, 높은 위치에서의 유지보수 및 기상 영향(강풍 등)이 단점으로 작용할 수도 있음

- ☐ 전혀 동의하지 않는다 (건물 층수가 높아도 감시 및 대응 능력에 거의 영향 없음)
- ☐ 거의 영향이 없다 (일부 영향이 있지만, 결정적이지 않음)
- ☐ 보통이다 (층수가 높으면 약간의 이점이 있을 수 있음)
- ☐ 영향이 있다 (층수가 높을수록 감시·대응이 향상됨)
- ☐ 매우 큰 영향이 있다 (층수가 높을수록 감시·대응이 크게 향상됨)

1-1-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

1-2-1. 건물 층수가 높을수록 주변 장애물(고층 건물, 산지 등)의 영향을 받을 가능성이 증가하는가? (1~5점, 5점이 높은 점수)*

- 건물 층수가 높아지면 감시·탐지 범위가 넓어지는 장점이 있지만, 주변 장애물(다른 고층 건물, 산지, 전파 간섭 등)의 영향을 받을 가능성이 증가
- 장애물이 많을 경우 신호 반사, 레이더 성능 저하, 사각지대 증가 등의 문제가 발생할 수 있음

1-2-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

1-3-1. 건물 층수가 높을수록 유지보수 및 설치 작업의 난이도가 증가하는가? (1~5점, 5점이 높은 점수)*

- 건물 층수가 높을수록 장비 설치 및 유지보수를 위해 추가적인 안전 장비(고소작업 장비, 크레인 등)가 필요할 수 있음
- 바람, 기온 변화 등의 기상 요소가 영향을 미쳐 정비 작업이 어려울 가능성이 있음
- 반면, 높은 층에 설치 시 지상 시설과의 간섭이 줄어 유지보수가 더 수월할 수도 있음

1-3-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

2. 건물의 용도(공공시설, 상업시설, 민간시설 등)는 천광 시스템 설치 결정에서 얼마나 중요한 요소인가?

천광 시스템의 설치 위치 결정에서 건물 용도의 중요성에 대해 응답자들의 의견은 다소 엇갈렸습니다. 5명의 응답자 중 3명이 "중요하다", 1명이 "보통이다", 1명이 "중요하지 않다"라고 응답하였으며, "매우 중요하다" 또는 "전혀 중요하지 않다"라는 응답은 없었습니다.

가. 건물 용도가 중요한 이유 (대다수 응답자 의견)

응답자 다수는 건물의 용도에 따라 천광 시스템의 설치 가능성과 운영 방식이 달라질 수 있다고 보았습니다.

- 건물 용도마다 구조적 하중이 다르며, 민간시설에는 설치가 제한될 가능성이 높다는 점이 지적되었습니다.
- 특히 군사적 요충지, 경찰·감시가 필요한 중요 지역에 우선적으로 설치해야 한다는 의견이 있었습니다.
- 방어 시스템의 특성상 군사시설이나 공공시설이 설치에 적합하며, 민간시설에는 제약이 따를 수 있다는 점도 고려되었습니다.

나. 건물 용도의 중요성이 상대적으로 낮을 수도 있다는 의견 (일부 응답자 의견)

일부 응답자들은 건물 용도보다 건축물의 위치나 높이, 방어 대상과의 관계가 더 중요한 요소라고 보았습니다.

- 구조적 안정성이 더 중요한 변수이며, 건물 용도는 그에 비해 영향력이 낮다는 의견이 있었습니다.
- 방어 목적상 천광 시스템이 민간시설에 설치될 가능성은 낮지만, 용도 자체보다는 해당 건물이 방어 대상과 어떤 관계에 있는지가 더 중요한 판단 요소라는 의견이 제시되었습니다.
- 또한, 설치 건물의 입지나 주변 환경이 더 중요하며, 건물 용도는 대관·대민 협의 편의성, 운용병력 배치 등에 영향을 줄 수는 있지만 직접적인 성능과의 연관성은 크지 않다는 의견도 있었습니다.

다. 합의를 위한 정리된 논점

건물 용도가 중요한 요소라는 의견이 우세했으나, 일부 응답자는 건물의 용도보다는 높이, 구조적 안정성, 방어 대상과의 관계를 더 중요한 변수로 고려해야 한다고 보았습니다.

따라서, 천광 시스템의 최적 설치 위치를 결정할 때 '건물의 용도'뿐만 아니라 '건물의 구조적 안정성', '입지의 용이성', '방어 대상과의 관계' 등의 요소를 함께 고려하는 것이 필요하며, 특히 설치 건물의 군사적 중요성과 주변 환경을 균형 있게 반영하는 것이 바람직할 것으로 보입니다.

2-1-1. 건물의 용도(공공시설, 상업건물, 민간 건물 등)에 따라 법적·행정적 제한이 달라질 가능성이 있는가? (1~5점, 5

점이 높은 점수)*

- 공공시설(정부·군사 시설)은 보안 규정과 군사 협력 가능성이 높지만, 행정 절차가 필요할 가능성 있음
- 상업건물(사무용 빌딩, 쇼핑몰 등)은 민간 소유주와 협의 필요 및 공간 제공이 어려울 가능성 있음
- 민간 건물(아파트, 주택 등)은 보안·안전 문제로 설치가 어렵거나 주민 반대 가능성 있음

- ☐ 전혀 그렇지 않다 (건물 용도에 따른 법적·행정적 제한 없음)
- ☐ 거의 영향이 없다 (일부 제한이 있지만 큰 문제 없음)
- ☐ 보통이다 (용도에 따라 법적·행정적 제한이 있을 가능성이 있음)
- ☐ 영향이 있다 (용도별로 명확한 법적·행정적 제한이 있음)
- ☐ 매우 큰 영향이 있다 (법적·행정적 제한으로 인해 설치 가능성이 크게 달라짐)

2-1-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

2-2-1. 건물 용도(공공시설, 상업건물, 민간 건물 등)에 따라 유지·관리 비용이 달라질 가능성이 있는가? (1~5점, 5점이 높은 점수)*

- 공공시설(정부·군사 시설)은 정기적인 유지·보수가 필요하며, 관리 기관의 규정을 따를 가능성이 높음
- 상업건물(사무용 빌딩, 쇼핑몰 등)은 민간 관리자가 별도로 유지·보수를 담당해야 하며, 비용 부담이 클 가능성이 있음
- 민간 건물(아파트, 주택 등)은 주민 협의가 필요하고, 관리 주체가 불분명할 가능성이 있음

- ☐ 전혀 그렇지 않다 (유지·관리 비용에 차이가 전혀 없음)
- ☐ 거의 영향이 없다 (차이가 있지만 무시할 수 있을 정도)
- ☐ 보통이다 (차이가 있을 수 있으나 상황에 따라 달라짐)
- ☐ 영향이 있다 (유지·관리 비용이 용도에 따라 확실히 달라짐)
- ☐ 매우 큰 영향이 있다 (유지·관리 비용이 용도에 따라 심각하게 달라짐)

2-2-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

2-3-1 건물 용도(공공시설, 상업건물, 민간 건물 등)에 따라 설치 허가 과정의 복잡성이 달라질 가능성이 있는가? (1~5점, 5점이 높은 점수)*

- 공공시설(정부·군사 시설)은 국가 및 지자체의 행정 절차가 필요하며, 승인 과정이 복잡할 가능성이 있음
- 상업건물(사무용 빌딩, 쇼핑몰 등)은 소유주 및 관리 주체와 협의가 필요하며, 법적 문제 발생 가능성이 있음
- 민간 건물(아파트, 주택 등)은 주민 동의 및 지역 조례 등의 영향을 받을 가능성이 있음

- ☐ 전혀 그렇지 않다 (건물 용도에 따른 법적·행정적 제한이 전혀 없음)
- ☐ 거의 영향이 없다 (일부 제한이 있지만 큰 문제가 없음)
- ☐ 보통이다 (용도에 따라 법적·행정적 제한이 있을 가능성이 있음)
- ☐ 영향이 있다 (용도별로 명확한 법적·행정적 제한이 존재함)
- ☐ 매우 큰 영향이 있다 (법적·행정적 제한으로 인해 설치 가능성이 크게 달라짐)

2-3-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

3. 건물의 노후화 정도는 천광 시스템 설치 결정에서 얼마나 중요한 요소인가?

천광 시스템의 설치 위치 결정에서 건물의 노후화 정도에 대한 응답자들의 의견은 대체로 중요한 요소로 평가되었습니다. 5명의 응답자 중 4명이 "중요하다", 1명이 "보통이다"라고 응답하였으며, 그 외응답은 없었습니다.

가. 건물 노후화 정도가 중요한 이유 (대다수 응답자 의견)

응답자 다수는 건물이 신축일수록 구조적 안정성이 보장되므로 천광 시스템 설치에 더 유리하다는 의견을 보였습니다.

- 신축 건물은 하중을 견딜 수 있는 안정성이 확보되어 있어 설치 적합성이 높다는 점이 강조되었습니다.
- 천광 시스템의 운용 과정에서 발생하는 하중과 진동을 효과적으로 견딜 수 있는 건축 구조가 필요하며, 노후 건물의 경우 이러한 요구를 충족하지 못할 가능성이 크다는 의견이 있었습니다.
- 특히 천광 시스템의 자체 무게(약 15톤) 및 자연재해(강풍, 지진 등)로부터의 안정성을 고려할 때, 건물의 구조적 내구성이 중요한 요소라는 지적이 있었습니다.

나. 건물 노후화의 중요성이 상대적으로 낮을 수도 있다는 의견 (일부 응답자 의견)

일부 응답자들은 건물의 노후화 자체보다 해당 건물이 천광 시스템의 하중을 견딜 수 있는지 여부가 더 중요한 기준이 되어야 한다고 보았습니다.

- 노후화된 건물이라 하더라도 구조적 보강이 이루어졌다면 설치가 가능할 수 있다는 의견이 있었습니다.
- 건물의 노후화 정도보다는 위치적 적합성이 더 중요하며, 노후 건물이라든가 내진 설계 및 안전성이 확보된 경우 설치에 큰 영향을 미치지 않을 수도 있다는 의견도 제시되었습니다.
- 천광 시스템이 적의 직접적인 공격을 받을 가능성이 있다는 점을 고려할 때, 건물의 구조와 설계 하중을 면밀히 검토하는 것이 더욱 중요하다는 시각도 있었습니다.

다. 합의를 위한 정리된 논점

대다수 응답자는 천광 시스템을 안정적으로 운영하기 위해 신축 건물이 더 적합하다는 입장이었으나, 일부 응답자는 건물의 노후화 자체보다는 구조적 보강 및 내진 설계 여부가 더 중요한 변수일 수 있다고 보았습니다.

따라서, 천광 시스템의 최적 설치 위치를 결정할 때 단순히 건물의 신축 여부만이 아니라, 하중을 견딜 수 있는 구조적 안전성, 내진 설계 여부, 주변 환경까지 종합적으로 고려하는 것이 필요할 것으로 보입니다.

3-1-1. 기준(층수, 하중 등)만 갖춰진다면, 건물의 노후화 정도는 상관이 없는가? (1~5점, 5점이 높은 점수)*

- ☐ 전혀 영향을 미치지 않는다 (건물의 노후화와 관계없이 설치 가능)
- ☐ 거의 영향을 미치지 않는다 (일부 고려 사항이 될 수 있으나 큰 문제는 없음)
- ☐ 보통이다 (건물 상태에 따라 설치에 대한 논의가 필요할 수 있음)
- ☐ 영향이 있다 (노후화된 건물일 경우 반대 여론이 형성될 가능성이 높음)
- ☐ 매우 큰 영향을 미친다 (노후화된 건물에는 설치가 어렵거나 불가능할 가능성이 높음)

3-1-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

3-2-1. 건물의 노후화 정도가 천광 시스템의 구조적 안전성에 미치는 영향은 어느 정도인가? (1~5점, 5점이 높은 점수)*

- 구조적 안전성이란, 설비 무게를 지탱할 수 있는 하중, 건물 노후화에 따른 균열·침하 가능성, 외부 충격에 대한 내구성 등 포함
- 노후화된 건물은 지붕·옥상 구조가 약해져 장비 설치 시 무게 하중을 견디지 못할 가능성 있음

- ☐ 전혀 영향 없음 (노후화 정도와 관계없이 구조적 안전성 유지됨)
- ☐ 거의 영향 없음 (일부 영향이 있을 수 있지만 보강 가능)
- ☐ 보통이다 (건물 용도에 따라 시민·거주자 반대가 발생할 가능성이 있음)
- ☐ 영향이 있다 (노후화된 건물에서는 구조적 안전성이 다소 저하될 가능성이 있음)
- ☐ 매우 큰 영향이 있다 (노후화된 건물에서는 구조적 안전성 문제가 심각함)

3-2-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

3-3-1. 건물의 노후화 정도가 천광 시스템의 장기적 운영 안정성에 미치는 영향은 어느 정도인가? (1~5점, 5점이 높은 점수)*

- 운영 안정성이란, 설치 후 지속적인 운영이 가능할지 여부(장비 고정력, 건물 내구성, 지속 사용 가능성 등) 포함
- 노후화된 건물은 장기적 내구성이 떨어져 장비 교체·재설치가 필요할 가능성 있음

- ☐ 전혀 영향 없음 (노후화 정도와 관계없이 장기적 운영에 영향 없음)
- ☐ 거의 영향 없음 (일부 영향이 있지만 보강 공사로 해결 가능)
- ☐ 보통이다 (노후화된 건물에서는 장기적 운영 안정성이 다소 저하될 가능성이 있음)
- ☐ 영향이 있다 (노후화된 건물에서는 장기적 운영 안정성 저하가 명확함)
- ☐ 매우 큰 영향이 있다 (노후화된 건물에서는 장기적 운영이 어려움)

3-3-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

4. 건물의 구조(철근콘크리트, 철골구조 등)는 천광 시스템 설치에 얼마나 영향을 미치는가?

천광 시스템의 설치 위치 결정에서 건물 구조의 중요성에 대한 응답자들의 의견은 대체로 높은 평가를 받았습니다. 5명의 응답자 중 2명이 "매우 중요하다", 3명이 "중요하다"라고 응답하였으며, "보통이다" 이하의 응답은 없었습니다.

가. 건물 구조가 중요한 이유 (대다수 응답자 의견)

응답자 대부분은 천광 시스템을 안정적으로 운용하기 위해 튼튼한 건물 구조가 필수적이라는 입장을 보였습니다.

- 철골, 철근콘크리트(RC) 건물 구조가 천광 설치 및 운용에 적합하다는 의견이 많았습니다.
- 내진 설계 및 내화성이 확보된 건물이 지진, 포격 진동, 화재 등의 위험으로부터 안정성을 유지할 수 있어야 한다는 점이 강조되었습니다.
- 특히, 천광 시스템 운용 시 발생할 수 있는 하중과 진동을 효과적으로 견딜 수 있어야 하므로, 구조적 안전성이 중요한 요소라는 점이 지적되었습니다.

나. 건물 구조의 중요성이 상대적으로 낮을 수도 있다는 의견 (일부 응답자 의견)

일부 응답자들은 건물 구조 자체보다도 해당 건물이 천광의 하중을 견딜 수 있는지 여부가 더 중요한 판단 기준이 될 수 있다고 보았습니다.

- 건물의 구조 유형(철근콘크리트, 철골 등) 자체보다는 하중을 지탱할 수 있는 설계 및 보강 여부가 더 중요한 요소일 수 있다는 의견이 있었습니다.
- 노후화된 건물이라도 구조적 보강이 이루어진다면 충분히 설치가 가능할 것이라는 응답도 있었습니다.

다. 합의를 위한 정리된 논점

대다수 응답자는 천광 시스템을 안정적으로 운영하기 위해 철골 및 철근콘크리트 구조와 같은 튼튼한 건물이 필수적이며, 내진 설계 및 내화성을 갖춘 건물이 더 적합하다는 입장이었습니다.

일부 응답자는 건물의 구조 유형보다도 하중을 견딜 수 있는지 여부와 보강 가능성이 더 중요한 요소일 수 있다고 보았습니다.

따라서, 천광 시스템의 최적 설치 위치를 결정할 때 건물의 구조적 특성뿐만 아니라, 해당 건물이 충분한 하중을 견딜 수 있는지, 보강이 가능한지를 종합적으로 고려하는 것이 필요할 것으로 보입니다.

4-1-1. 건물의 구조적 특성(RC, 철골 등)이 천광 시스템의 하중을 견디는 능력에 미치는 영향은 어느 정도인가? (1~5점, 5점이 높은 점수)*

- 하중(Weight Load)이란, 천광 시스템의 무게를 안전하게 지탱할 수 있는지 여부(옥상 하중, 구조적 지지력, 균열 가능성 등 포함)
- 철근 콘크리트(RC) 구조는 하중 지탱 능력이 크지만, 설치 작업이 어렵거나 공간 활용이 제한될 가능성이 있음
- 철골 구조는 설치가 쉽고 가벼운 편이지만, 하중 지탱 능력이 RC 구조보다 떨어질 가능성이 있음

- ☐ 전혀 영향 없음 (구조 유형과 관계없이 하중 지탱 능력 동일)
- ☐ 거의 영향 없음 (일부 차이가 있지만 보강 공사로 해결 가능)
- ☐ 보통이다 (구조 유형에 따라 하중 지탱 능력이 다소 차이 날 가능성이 있음)
- ☐ 영향이 있다 (구조 유형에 따라 하중 지탱 능력이 명확히 차이 남)
- ☐ 매우 큰 영향이 있다 (구조 유형에 따라 하중 지탱이 결정적으로 달라짐)

4-1-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

4-2-1. 건물의 구조적 특성(RC, 철골 등)이 천광 시스템의 진동 및 내진성(지진 저항성)에 미치는 영향은 어느 정도인가? (1~5점, 5점이 높은 점수)*

- 내진성이란, 건물이 지진·외부 충격 시 구조적 안정성을 유지할 수 있는 정도(특히, 고층 건물에서 영향이 클 수 있음)
- 철근 콘크리트(RC) 구조는 내진성이 높지만, 충격이 가해질 경우 균열이 발생할 가능성이 있음
- 철골 구조는 충격에 유연하게 반응하지만, 진동이 발생하면 설비에 미치는 영향이 클 가능성이 있음

- ☐ 전혀 영향 없음 (구조 유형과 관계없이 진동·내진성이 동일)
- ☐ 거의 영향 없음 (일부 차이가 있지만 큰 문제 없음)
- ☐ 보통이다 (구조 유형에 따라 진동·내진성이 다소 차이 날 가능성이 있음)
- ☐ 영향이 있다 (구조 유형에 따라 진동·내진성이 명확히 차이 남)
- ☐ 매우 큰 영향이 있다 (구조 유형에 따라 진동·내진성이 결정적으로 달라짐)

4-2-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

4-3-1. 건물의 구조적 특성이 천광 시스템의 유지보수 접근성에 미치는 영향은 어느 정도인가? (1~5점, 5점이 높은 점수)

- 건물 구조(철근 콘크리트(RC), 철골 등)에 따라 옥상 또는 설치 위치로의 접근성이 달라질 수 있음
- RC 구조는 하중 지탱 능력이 뛰어나지만, 유지보수용 출입구나 통로가 제한될 가능성이 있음
- 철골 구조는 비교적 개방적인 구조로 접근성이 좋을 수 있지만, 구조적 안정성이 낮아 추가적인 안전 조치가 필요할 수 있음
- 유지보수를 위해 크레인, 고소 작업 장비 사용 여부가 결정될 수도 있음

- ☐ 전혀 영향 없음 (노후화 정도와 관계없이 장기적 운영에 영향 없음)
- ☐ 거의 영향 없음 (일부 영향이 있지만 보강 공사로 해결 가능)
- ☐ 보통이다 (노후화된 건물에서는 장기적 운영 안정성이 다소 저하될 가능성이 있음)
- ☐ 영향이 있다 (노후화된 건물에서는 장기적 운영 안정성 저하가 명확함)
- ☐ 매우 큰 영향이 있다 (노후화된 건물에서는 장기적 운영이 어려움)

4-3-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

5. 건물의 구조(철근콘크리트, 철골구조 등)는 천광 시스템 설치에 얼마나 영향을 미치는가?

천광 시스템의 설치 위치 결정에서 건물 구조의 중요성에 대한 응답자들의 의견은 대체로 높은 평가를 받았습니다. 5명의 응답자 중 2명이 "매우 중요하다", 3명이 "중요하다"라고 응답하였으며, "보통이다" 이하의 응답은 없었습니다.

가. 건물 구조가 중요한 이유 (대다수 응답자 의견)

응답자 대부분은 천광 시스템을 안정적으로 운용하기 위해 튼튼한 건물 구조가 필수적이라는 입장을 보였습니다.

- 철골, 철근콘크리트(RC) 건물 구조가 천광 설치 및 운용에 적합하다는 의견이 많았습니다.
- 내진 설계 및 내화성이 확보된 건물이 지진, 포격 진동, 화재 등의 위험으로부터 안정성을 유지할 수 있어야 한다는 점이 강조되었습니다.

- 특히, 천광 시스템 운용 시 발생할 수 있는 하중과 진동을 효과적으로 견딜 수 있어야 하므로, 구조적 안전성이 중요한 요소라는 점이 지적되었습니다.

나. 건물 구조의 중요성이 상대적으로 낮을 수도 있다는 의견 (일부 응답자 의견)

일부 응답자들은 건물 구조 자체보다도 해당 건물이 천광의 하중을 견딜 수 있는지 여부가 더 중요한 판단 기준이 될 수 있다고 보았습니다.

- 건물의 구조 유형(철근콘크리트, 철골 등) 자체보다는 하중을 지탱할 수 있는 설계 및 보강 여부가 더 중요한 요소일 수 있다는 의견이 있었습니다.
- 노후화된 건물이라도 구조적 보강이 이루어진다면 충분히 설치가 가능할 것이라는 응답도 있었습니다.

다. 합의를 위한 정리된 논점

대다수 응답자는 천광 시스템을 안정적으로 운영하기 위해 철골 및 철근콘크리트 구조와 같은 튼튼한 건물이 필수적이며, 내진 설계 및 내화성을 갖춘 건물이 더 적합하다는 입장이었습니다.

일부 응답자는 건물의 구조 유형보다도 하중을 견딜 수 있는지 여부와 보강 가능성이 더 중요한 요소일 수 있다고 보았습니다.

따라서, 천광 시스템의 최적 설치 위치를 결정할 때 건물의 구조적 특성뿐만 아니라, 해당 건물이 충분한 하중을 견딜 수 있는지, 보강이 가능한지를 종합적으로 고려하는 것이 필요할 것으로 보입니다.

5-1-1. 건물의 구조적 특성(RC, 철골 등)이 천광 시스템의 하중을 견디는 능력에 미치는 영향은 어느 정도인가? (1~5점, 5점이 높은 점수)*

- 하중(Weight Load)이란, 천광 시스템의 무게를 안전하게 지탱할 수 있는지 여부(옥상 하중, 구조적 지지력, 균열 가능성 등 포함)
- 철근 콘크리트(RC) 구조는 하중 지탱 능력이 크지만, 설치 작업이 어렵거나 공간 활용이 제한될 가능성이 있음
- 철골 구조는 설치가 쉽고 가벼운 편이지만, 하중 지탱 능력이 RC 구조보다 떨어질 가능성이 있음

- ☐ 전혀 영향 없음 (구조 유형과 관계없이 하중 지탱 능력 동일)
- ☐ 거의 영향 없음 (일부 차이가 있지만 보강 공사로 해결 가능)
- ☐ 보통이다 (구조 유형에 따라 하중 지탱 능력이 다소 차이 날 가능성이 있음)
- ☐ 영향이 있다 (구조 유형에 따라 하중 지탱 능력이 명확히 차이 남)
- ☐ 매우 큰 영향이 있다 (구조 유형에 따라 하중 지탱이 결정적으로 달라짐)

5-1-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

5-2-1. 건물의 구조적 특성(RC, 철골 등)이 천광 시스템의 진동 및 내진성(지진 저항성)에 미치는 영향은 어느 정도인가? (1~5점, 5점이 높은 점수)*

- 내진성이란, 건물이 지진·외부 충격 시 구조적 안정성을 유지할 수 있는 정도(특히, 고층 건물에서 영향이 클 수 있음)
- 철근 콘크리트(RC) 구조는 내진성이 높지만, 충격이 가해질 경우 균열이 발생할 가능성이 있음
- 철골 구조는 충격에 유연하게 반응하지만, 진동이 발생하면 설비에 미치는 영향이 클 가능성이 있음

- ☐ 전혀 영향 없음 (구조 유형과 관계없이 진동·내진성이 동일)
- ☐ 거의 영향 없음 (일부 차이가 있지만 큰 문제 없음)
- ☐ 보통이다 (구조 유형에 따라 진동·내진성이 다소 차이 날 가능성이 있음)
- ☐ 영향이 있다 (구조 유형에 따라 진동·내진성이 명확히 차이 남)
- ☐ 매우 큰 영향이 있다 (구조 유형에 따라 진동·내진성이 결정적으로 달라짐)

5-2-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

5-3-1. 건물의 구조적 특성이 천광 시스템의 유지보수 접근성에 미치는 영향은 어느 정도인가? (1~5점, 5점이 높은 점수)

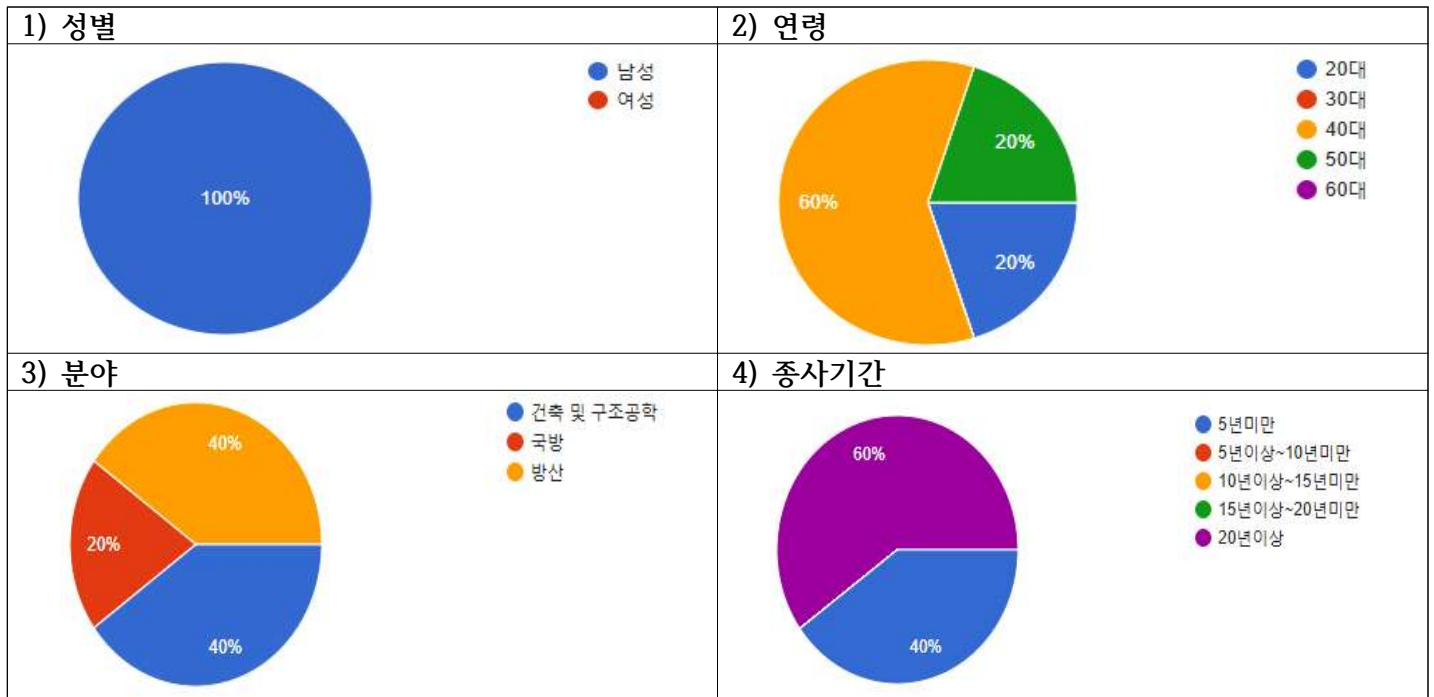
- 건물 구조(철근 콘크리트(RC), 철골 등)에 따라 옥상 또는 설치 위치로의 접근성이 달라질 수 있음
- RC 구조는 하중 지탱 능력이 뛰어나지만, 유지보수용 출입구나 통로가 제한될 가능성이 있음
- 철골 구조는 비교적 개방적인 구조로 접근성이 좋을 수 있지만, 구조적 안정성이 낮아 추가적인 안전 조치가 필요할 수 있음
- 유지보수를 위해 크레인, 고소 작업 장비 사용 여부가 결정될 수도 있음

- ☐ 전혀 영향 없음 (노후화 정도와 관계없이 장기적 운영에 영향 없음)
- ☐ 거의 영향 없음 (일부 영향이 있지만 보강 공사로 해결 가능)
- ☐ 보통이다 (노후화된 건물에서는 장기적 운영 안정성이 다소 저하될 가능성이 있음)
- ☐ 영향이 있다 (노후화된 건물에서는 장기적 운영 안정성 저하가 명확함)
- ☐ 매우 큰 영향이 있다 (노후화된 건물에서는 장기적 운영이 어려움)

5-3-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

3차 델파이 설문조사 결과 도표

I. 참여자



II. 요인별 결과

1-1. 층수에 따른 감시 및 대응능력 => 평균점수 : 3.6

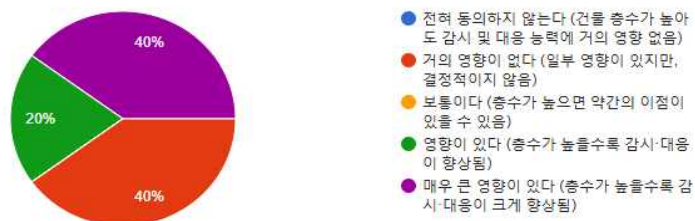
1. 건물 층수는 천광 시스템의 설치 위치 결정에서 중요한 요소인가?

1-1. 건물의 층수가 높을수록 무인 항공기의 감시 및 대응이 유리하다는 의견이 있습니다. 이에 대해 어떻게 생각하십니까? (1~5점, 5점이 높은 점수)

- 건물 층수가 높을수록 탐지 범위 확대, 감시 사각지대 감소, 조기 대응 가능성 증가 등의 장점이 있을 수 있음

- 반면, 높은 위치에서의 유지보수 및 기상 영향(강풍 등)이 단점으로 작용할 수도 있음

응답 5개



1-1-1. 전문가 의견

위협체(무인기, 미사일 등)를 고려시 적정 고도를 선정하여 운용해야한다는 의미에서 높은 건물이 유리하며 운용 지역의 평균 기상 등을 고려되어야 함.
정찰, 감시의 영향을 크게 받음.
사각지대, 장애물 영향이 없으면 층수가 결정적 영향 요소는 아님. 감시는 레이더 성능발휘에 제한만 없으면 될것으로 판단됨
항공기 침투의 방어적무기인 천광의 위치는 주변지장물이 없고 침투항공기의 위치 파악 그리고 빠른 대응이라 본다
장애물이 감소하기 때문입니다.

1-2. 층수와 주변 장애물의 영향 => 평균점수 : 1.8

1-2. 건물 층수가 높을수록 주변 장애물(고층 건물, 산지 등)의 영향을 받을 가능성이 증가하는가? (1~5점, 5점이 높은 점수)

- 건물 층수가 높아지면 감시·탐지 범위가 넓어지는 장점이 있지만, 주변 장애물(다른 고층 건물, 산지, 전파 간섭 등)의 영향을 받을 가능성이 증가
- 장애물이 많을 경우 신호 반사, 레이더 성능 저하, 사각지대 증가 등의 문제가 발생할 수 있음

응답 5개



1-2-1. 전문가 의견

주변 건물에 의한 영향이 없도록 고층에 운용진지를 선정해야 한다고 봄.
영향요소는 미비할것으로 사료됨.
층수와 별개로 설치지역 여건에 따라 다를것 같고, 장애요소는 상쇄하거나 차단할수 있는 방법을 강구하면 되는것으로 층수는 주요 고려사항이 아닐듯 합니다.
무인기 저격이 목적인 천광은 시각적 열림에 대한 위치가 중요하다
건물들의 밀도는 법으로 규정되기 때문에 건물들간의 높이 관계는 지역별로 상이하다고 생각합니다.

1-3. 층수와 유지보수 및 설치작업의 영향 => 평균점수 : 3.0

1-3. 건물 층수가 높을수록 유지보수 및 설치 작업의 난이도가 증가하는가? (1~5점, 5점이 높은 점수)

- 건물 층수가 높을수록 장비 설치 및 유지보수를 위해 추가적인 안전 장비(고소 작업 장비, 크레인 등)가 필요할 수 있음
- 바람, 기온 변화 등의 기상 요소가 영향을 미쳐 정비 작업이 어려울 가능성이 있음
- 반면, 높은 층에 설치 시 지상 시설과의 간섭이 줄어 유지보수가 더 수월할 수도 있음

응답 5개



1-3-1. 전문가 의견

고층 건물은 건물 자체 유지보수를 위한 기본 설비가 있을 것이며(당연히 그러한 건물을 선정) 천광도 그러한 기본 설비들을 이용하여 설치 및 유지보수 해야함. 그러한 요소를 고려하여 운용진지를 선정해야 함.

영향을 미칠정도의 요소는 아니라고함.

전시 포격 등 시설피해, 전기 등 제한시 영향이 있음

고층에 매달리는 것이 아니라 옥상 평평한 곳의 설치하는 것이고 기존 건축물 건설시 수리를 위한 등선과 하중은 고려 된다고 판단된다

높은 층에서는 지상시설과의 정비공간 상 간섭이 줄지만 인양장비를 위한 공간은 늘어날 수 있다고 생각합니다.

2. 용도

2-1. 건물의 용도별 법적·행정적 제한 가능성 => 평균점수 : 3.6

2. 건물의 용도(공공시설, 상업시설, 민간시설 등)는 천광 시스템 설치 결정에서 얼마나 중요한 요소인가?

2-1. 건물의 용도(공공시설, 상업건물, 민간 건물 등)에 따라 법적·행정적 제한이 달라질 가능성이 있는가? (1~5점, 5점이 높은 점수)

- 공공시설(정부·군사 시설)은 보안 규정과 군사 협력 가능성이 높지만, 행정 절차가 필요할 가능성 있음
- 상업건물(사무용 빌딩, 쇼핑몰 등)은 민간 소유주와 협의 필요 및 공간 제공이 어려울 가능성 있음
- 민간 건물(아파트, 주택 등)은 보안·안전 문제로 설치가 어렵거나 주민 반대 가능성 있음

응답 5개



2-1-1. 전문가 의견

건물 용도에 따라 필요한 보안조치, 인허가 등이 달라질 수 있음.
민간요소는 행정적 제한이 일부 생길 우려가 있음.
민간시설의 경우 지역주민이나 지자체 등의 사전협의나 동의 과정이 필요할듯 하고, 사이가 원만할때는 큰 문제가 없더라도 어떤 문제나 피해발생으로 법적 다름시 보상 등 문제가 복잡할수 있다고 판단됨.
건물 용도보다 건축물의 위치나 높이, 방어 대상과의 관계가 더 중요한 요소이다 또한 건축물의 옥상 면적이나 위치가 천광 설치에 적합 한지가 더 중요하다 모든 부작용 조건 보다는 천광을 왜 그곳에 설치해야 하는 가가 중요하다고 본다 나머지 조건들은 설득하고 협의해야 할듯하다
군사시설 협의나 소유주와의 협의가 중요합니다.

2-2. 건물 용도에 따른 유지·관리 비용이 달라질 가능성 => 평균점수 : 3.0

2-2. 건물 용도(공공시설, 상업건물, 민간 건물 등)에 따라 유지·관리 비용이 달라질 가능성이 있는가? (1~5점, 5점이 높은 점수)

- 공공시설(정부·군사 시설)은 정기적인 유지·보수가 필요하며, 관리 기관의 규정을 따를 가능성이 높음
- 상업건물(사무용 빌딩, 쇼핑몰 등)은 민간 관리자가 별도로 유지·보수를 담당해야 하며, 비용 부담이 클 가능성이 있음
- 민간 건물(아파트, 주택 등)은 주민 협의가 필요하고, 관리 주체가 불분명할 가능성이 있음

응답 5개



2-2-1. 전문가 의견

- 건물 용도에 따라 경계 및 운용병력 유지를 위한 비용과 노력이 달라질 수 있음.
- 건물용도에 따라 유지 관리비용에 차이는 있겠으나 군시설이어서,크게 영향은 미치지 않을것임.
- 장비 운용간 원인불명의 시설, 전기 등 피해시 불필요한 분쟁이나 비용발생 가능
- 천광 설치로 인한 유지관리 말고는 그닥 용도에 따른 유지관리는 모든건물물이 동일 하다고 생각된다
- 관리주체는 군이라는 생각이 들고, 용도별로 민원에 따른 비용이 수반될 것이라 생각합니다.

2-3. 건물 용도에 따른 법적·행정적 제한에 대한 가능성 => 평균점수 : 3.6

2-3. 건물 용도(공공시설, 상업건물, 민간 건물 등)에 따라 설치 허가 과정의 복잡성이 달라질 가능성이 있는가? (1~5점, 5점이 높은 점수)

- 공공시설(정부·군사 시설)은 국가 및 지자체의 행정 절차가 필요하며, 승인 과정이 복잡할 가능성이 있음
- 상업건물(사무용 빌딩, 쇼핑몰 등)은 소유주 및 관리 주체와 협의가 필요하며, 법적 문제 발생 가능성이 있음
- 민간 건물(아파트, 주택 등)은 주민 동의 및 지역 조례 등의 영향을 받을 가능성이 있음

응답 57개



2-3-1. 전문가 의견

보안 및 경계, 전시 방호를 위한 요구사항이 달라질 수 있으므로 복잡해 질 수 있음.

용도별로 법적, 행정적인 제한요소는 분명 있을 것. 이라 판단됨.

지역주민과 지자체와의 사전협의나 동의 필요 판단

모든 건축물이 경증이 있으나 인허가 절차는 진행해야 할 것이다

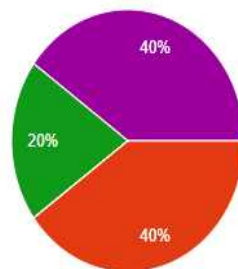
법보다는 상업건물에서는 특히 수익을 고려할 것입니다.(점포들과의 계약도 매우 중요)

3. 노후화

3-1. 천광 설치시 건물 노후화에 따른 건물 안정성 영향 => 평균점수 : 3.6

3-1. 기준(중수, 하중 등)만 갖춰진다면, 건물의 노후화 정도는 상관이 없는가? (1~5 점, 5점이 높은 점수)

응답 5개



- 전혀 영향을 미치지 않는다 (건물의 노후화와 관계없이 설치 가능)
- 거의 영향을 미치지 않는다 (일부 고려 사항이 될 수 있으나 큰 문제는 없음)
- 보통이다 (건물 상태에 따라 설치에 대한 논의가 필요할 수 있음)
- 영향이 있다 (노후화된 건물일 경우 반대 여론이 형성될 가능성이 높음)
- 매우 큰 영향을 미친다 (노후화된 건물에는 설치가 어렵거나 불가능할 가능성...)

3-1-1. 전문가 의견

구조적인 안정성이 있다면 노후화는 큰 영향이 없음.

안전성 보장 조건으로 노후화는 영향요소는 없음.

30년 이상의 노후 건물 경우 내진설계가 안되어 있는 등 안전요소 고려 필요하고, 안전진단 등으로 문제가 있을시 장비 재설치 등 안보 및 보안(위치 노출 등) 위해요소 있음

천광의 자중 뿐만 아니라 운전 하중을 충분히 버틸 수 있는 구조여야 하며 이에 노후 정도는 매우 중요하다

서울의 노후화된 건물들은 재개발될 가능성도 꽤 높습니다.

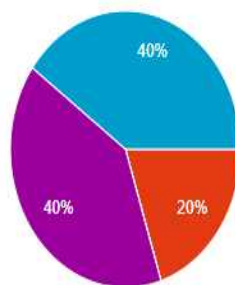
3-2. 건물의 노후화 정도가 천광 시스템의 구조적 안전성에 미치는 영향 => 평균점수 : 3.6

3-2. 건물의 노후화 정도가 천광 시스템의 구조적 안전성에 미치는 영향은 어느 정도인가? (1~5점, 5점이 높은 점수)

- 구조적 안전성이란, 설비 무게를 지탱할 수 있는 하중, 건물 노후화에 따른 균열·침하 가능성, 외부 충격에 대한 내구성 등 포함

- 노후화된 건물은 지붕·옥상 구조가 약해져 장비 설치 시 무게 하중을 견디지 못할 가능성이 있음

응답 5개



- 전혀 영향 없음 (노후화 정도와 관계없이 구조적 안전성 유지됨)
- 거의 영향 없음 (일부 영향이 있을 수 있지만 보강 가능)
- 보통이다 (건물 용도에 따라 시민·거주자 반대가 발생할 가능성이 있음)
- 영향이 있다 (노후화된 건물에서는 구조적 안전성이 다소 저하될 가능성이 있음)
- 매우 큰 영향이 있다 (노후화된 건물에서 구조적 안전성이 심각하게 저하됨)
- 보통이다 (노후화된 건물에서는 구조적 안전성이 다소 저하될 가능성이 있음)

3-2-1. 전문가 의견

건물 구조와 재료의 내구연한이 있으므로 노후화된 건물이 상대적으로 구조적 안정성이 낮을 수 밖에 없음.

안전성 보장 조건으로 거의 영향 없음.

전시 포격 등 고려, 안전한 기능발휘에 영향 가능

천광의 자중 뿐만 아니라 운전 하중을 충분히 버틸 수 있는 구조여야 하며 이에 노후 정도는 매우 중요하다 따라서 구조적 안전을 충분히 검토하고 보강계획을 세워 실행이 바람직하다

중요합니다.

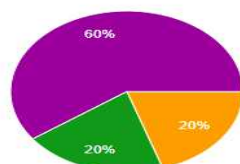
3-3. 건물의 노후화가 천광 시스템 운영 안정성에 미치는 영향 => 평균점수 : 4.4

3-3. 건물의 노후화 정도가 천광 시스템의 장기적 운영 안정성에 미치는 영향은 어느 정도인가? (1~5점, 5점이 높은 점수)

- 운영 안정성이란, 설치 후 지속적인 운영이 가능할지 여부(장비 고정력, 건물 내구성, 지속 사용 가능성 등) 포함

- 노후화된 건물은 장기적 내구성이 떨어져 장비 교체·재설치가 필요할 가능성 있음

응답 5개



- 전혀 영향 없음 (노후화 정도와 관계없이 장기적 운영에 영향 없음)
- 거의 영향 없음 (일부 영향이 있지만 보강 공사로 해결 가능)
- 보통이다 (노후화된 건물에서는 장기적 운영 안정성이 다소 저하될 가능성이 있음)
- 영향이 있다 (노후화된 건물에서는 장기적 운영 안정성 저하가 명확함)
- 매우 큰 영향이 있다 (노후화된 건물에서 장기적 운영이 어려움)

3-3-1. 전문가 의견

- 건물 구조와 재료의 내구연한이 있으므로 노후화된 건물이 상대적으로 구조적 안정성이 낮을 수 밖에 없음.
- 노후화가 안전성에 직결되면 영향력을 미침.
- 위 답변의 요소들로 영향이 있음(안전, 전시 포격시 피해정도, 안전문제로 인한 재설치시 전력공백 등)
- 천광의 자중 뿐만 아니라 운전 하중을 충분히 버틸 수 있는 구조여야 하며 이에 노후 정도는 매우 중요하다
- 설치대상 건물 뿐만 아니라 주변 건물들의 철거 후 신축을 고려한다면 그렇습니다.

4. 구조

4-1. 건물 구조유형별 천광 하중 지탱에 미치는 영향 =>평균점수 : 3.8

4-1. 건물의 구조적 특성(RC, 철골 등)이 천광 시스템의 하중을 견디는 능력에 미치는 영향은 어느 정도인가? (1~5점, 5점이 높은 점수)

- 하중(Weight Load)이란, 천광 시스템의 무게를 안전하게 지탱할 수 있는지 여부(옥상 하중, 구조적 지지력, 균열 가능성 등 포함)
- 철근 콘크리트(RC) 구조는 하중 지탱 능력이 크지만, 설치 작업이 어렵거나 공간 활용이 제한될 가능성이 있음
- 철골 구조는 설치가 쉽고 가벼운 편이지만, 하중 지탱 능력이 RC 구조보다 떨어질 가능성이 있음

응답 5개



4-1-1. 전문가 의견

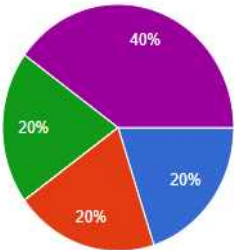
- 구조적 해석에 따라 천광 하중만 버틸 수 있다면 어떤 구조의 건물이건 문제는 없으나 전시 운용간 포격 등에 의한 건물의 피해를 고려할 때 철근콘크리트 구조가 화재, 포격 등에 유리함.
- 내구성 구조에 따라 영향을 미칠것으로 판단됨.
- 자연재해(지진 등), 전시 피해 등 고려, 영향발생 가능
- 철골구조나 철근콘크리트 구조나 하중 조건을 충분히 반영하여 검토된 것이라면 천관설치는 큰영향이없다
- 장비운용시 가해지는 하중의 특성에 따라 구조유형을 정해야합니다.

4-2. 천광 설치시 건물의 구조 유형에 따른 진동 및 내진성과 영향 => 평균점수 : 3.4

4-2. 건물의 구조적 특성(RC, 철골 등)이 천광 시스템의 진동 및 내진성(지진 저항성)에 미치는 영향은 어느 정도인가? (1~5점, 5점이 높은 점수)

- 내진성이란, 건물이 지진·외부 충격 시 구조적 안정성을 유지할 수 있는 정도(특히, 고층 건물에서 영향이 클 수 있음)
- 철근 콘크리트(RC) 구조는 내진성이 높지만, 충격이 가해질 경우 균열이 발생할 가능성이 있음
- 철골 구조는 충격에 유연하게 반응하지만, 진동이 발생하면 설비에 미치는 영향이 클 가능성이 있음

응답 5개



- 전혀 영향 없음 (구조 유형과 관계없이 진동 내진성이 동일)
- 거의 영향 없음 (일부 차이가 있지만 큰 문제 없음)
- 보통이다 (구조 유형에 따라 진동·내진성이 다소 차이 날 가능성이 있음)
- 영향이 있다 (구조 유형에 따라 진동·내진성이 명확히 차이 남)
- 매우 큰 영향이 있다 (구조 유형에 따라 진동 내진성이 결정적으로 달라짐)

4-2-1. 전문가 의견

진동과 내진성은 건물 구조와는 무관하게 내진설계가 적용되었냐 마냐의 문제라고 생각함.

구조적 특성상 영향을 미침.

구조에 따라 내진 등의 안전요소와 연관성이 큼

진도와 내진관련 성능은 기본적으로 검토 될 사항으로 RC, 철골로 인한 구조적으로 무엇이 좋다 하고 말할수없이 똑같다

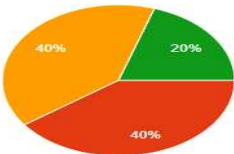
자명합니다.

4-3. 건물 구조적 특성이 천광 유지보수에 미치는 영향 =>평균점수 : 2.8

4-3. 건물의 구조적 특성이 천광 시스템의 유지보수 접근성에 미치는 영향은 어느 정도인가? (1~5점, 5점이 높은 점수)

- 건물 구조(철근 콘크리트(RC), 철골 등)에 따라 옥상 또는 설치 위치로의 접근성이 달라질 수 있음
- RC 구조는 하중 지탱 능력이 뛰어나지만, 유지보수용 출입구나 통로가 제한될 가능성이 있음
- 철골 구조는 비교적 개방적인 구조로 접근성이 좋을 수 있지만, 구조적 안정성이 낮아 추가적인 안전 조치가 필요할 수 있음
- 유지보수를 위해 크레인, 고소 작업 장비 사용 여부가 결정될 수도 있음

응답 5개



- 전혀 영향 없음 (노후화 정도와 관계없이 장기적 운영에 영향 없음)
- 거의 영향 없음 (일부 영향이 있지만 보강 공사로 해결 가능)
- 보통이다 (노후화된 건물에서는 장기적 운영 안정성이 다소 저하될 가능성이...
- 영향이 있다 (노후화된 건물에서는 장기적 운영 안정성 저하가 명확함)
- 매우 큰 영향이 있다 (노후화된 건물에서는 장기적 운영이 어려움)

4-3-1. 전문가 의견

동일한 조건이라면 건물의 구조가 큰 영향은 없다고 봄. 다만, 건물 구조에 따라 전시 포격 및 화재 등에 유불리점이 있으므로 이를 고려할 필요가 있음.
유지보수 접근성에 크게 영향요소는 없을것으로 봄.
구조에 따라 장비하중을 유지하는 정도와 보수를 위한 장비투입 등에 영향
RC 구조 철골구조 모두 천광 시스템의 유지보수 접근성에는 똑같다
유지보수 접근성에 대해서는 각각에 대해 흔히 사용하는 방법이 있습니다.

5. 주요시설

5-1. 주요시설 방어를 위한 다층 방공 시스템 구축에 대한 중요도 =>평균점수 : 4.6

5-1. 주요시설 방어를 위해 다층 방공 시스템 구축이 어느 정도 중요하다고 생각하십니까? (1~5점, 5점이 높은 점수)

응답 5개



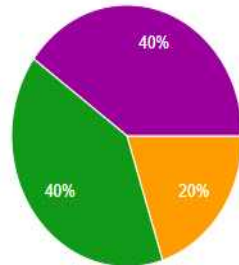
5-1-1. 전문가 의견

위협체별 운용고도, 속도, 방식이 다르므로 다층 방어체계 구축이 필요함.
방호의 기본 전술적 개념임.
전시 마찰 등을 고려, 다층방어 필수
주요시설 방어를 위해 서는 주요시설의 위치가 중요하며 도심지에 위치한다면 고층빌딩 옥상을 활용하여 드론에 의한 공격을 방어하는 시스템 구축이 필요하다고 본다
방어 성공 확률을 높이기 위해

5-2. 천광과 주요시설(공항, 군사시설 등)과 거리 중요도=>평균점수 : 4.2

5-2. 공항, 군사시설 등 보안이 중요한 시설과 가까운 건물은 우선 고려해야 한다고 생각하시나요? (1~5점, 5점이 높은 점수)

응답 5개



- 전혀 고려할 필요 없음 (보안시설과의 거리는 영향이 없음)
- 거의 고려할 필요 없음 (일부 영향이 있을 수 있으나 큰 문제는 없음)
- 보통이다 (보안시설과의 거리도 중요한 요소 중 하나일 수 있음)
- 고려할 필요가 있음 (보안시설과 가까운 건물은 신중한 검토가 필요함)
- 매우 중요하게 고려해야 함 (보안시설과의 거리가 설치 가능 여부를 결정할 수...

5-2-1. 전문가 의견

가깝다고 좋은 것이 아니라 위협체 이동속도 등을 고려하여 적정 거리에 선정하면 된다고 봄.

군사적 요충지 및 보안등급이 높은 시설물 방호가 우선

사거리 고려, 중요시설과 거리 고려 필수

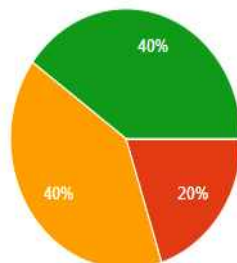
공항, 군사시설 등 보안이 중요한 시설을 보호하기 위한 위치를 선정하고 가급적 고층으로 방어가 용이한 곳 선정이 타당하다

군사적 거점입니다.

5-3. 주요 도로 및 교통 중심지까지의 거리를 고려하는 것에 중요도 => 평균점수 : 3.2

5-3. 주요 도로 및 교통 중심지와의 거리를 고려하는 것이 중요하다고 생각하시나요? (1~5점, 5점이 높은 점수)

응답 5개



- 전혀 고려할 필요 없음 (교통 중심지와의 거리는 영향이 없음)
- 거의 고려할 필요 없음 (일부 영향이 있을 수 있으나 큰 문제는 없음)
- 보통이다 (교통 접근성이 영향을 줄 수도 있음)
- 고려할 필요가 있음 (주요 도로 및 교통 중심지와의 거리는 중요한 요소임)
- 매우 중요하게 고려해야 함 (교통 중심지와의 거리가 설치 가능 여부를 결정할...

5-3-1. 전문가 의견

- 위협체의 적 운용 전술, 감시 및 정찰, 요격이 유리한 위치를 선정하는 것이 더 중요함.
- 크게 영향을 미치는 요소가 아닌것으로 판단됨.
- 보수 장비투입, 유사시 기동 등을 고려, 도로 사용 판단 필요
- 주요 도로 및 교통 중심지보다는 보호 대상이 무엇인지를 검토하고 그에 대응하는 것이 중요하다
- 전쟁시 진입로입니다.

6. 3차 델파이 조사 요약

ID	성별	연령	분야	종사기간	총수 평균	용도 평균	노후화 평균	구조 평균	주요시설 평균
1	남성	40대	방산	20년이상	3	3	2.33	3.33	4
2	남성	40대	방산	5년미만	2	4.67	4	2.33	3.67
3	남성	20대	건축 및 구조공학	5년미만	4	4	4.33	3.67	4.67
4	남성	50대	건축 및 구조공학	20년이상	2.33	1.33	5	3	3.33
5	남성	40대	국방	20년이상	2.67	4	3.67	4.33	4.33

4차 델파이 설문조사

설문지 번호			
--------	--	--	--

안녕하십니까? 본 설문은 델파이 4차 설문조사로, 이전 1차~3차 설문을 통해 도출된 요인들의 중요도를 추가로 세분화하기 위해 진행됩니다.

기존 설문을 통해 각 요인별 중요도가 수치화되었으나, 일부 요인들이 동일한 점수를 기록하였습니다. 이에 따라 해당 요인들 간의 우선순위를 명확히 구분하기 위해 추가적인 중요도 평가를 실시하고자 합니다.

본 설문에는 이전 설문 결과에서 도출된 다수 의견과 일부 의견이 요약되어 있습니다. 이를 참고하시되, 다양한 가능성을 고려하여 귀하의 경험과 견해를 바탕으로 솔직하게 응답해 주시기 바랍니다.

본 조사는 전문가 간 의견 조율을 위한 과정이며, 필요시 추가적인 설문이 진행될 수 있습니다. 정답이 있는 것이 아니므로, 자유롭게 의견을 개진해 주시면 감사하겠습니다.

귀하의 응답은 통계법 제33조(비밀 보호 조항)에 따라 철저히 보호되며, 연구 목적 외에는 절대 사용되지 않습니다. 모든 응답은 익명으로 처리되며, 연구 이외의 용도로 활용되지 않습니다. 따라서 본 설문에 응답하심으로 인해 어떠한 불이익도 발생하지 않습니다.

귀하의 소중한 의견은 본 연구의 중요한 기초 자료로 활용될 예정이오니, 성실하고 적극적인 참여를 부탁드립니다.

바쁘신 와중에도 협조해 주셔서 감사합니다.

I. 천광 대공 레이저무기에 대한 간략한 설명입니다.*

천광은 대한민국에서 개발한 한국형 레이저 대공 무기체계로, 무인 항공기를 실시간으로 탐지, 추적, 그리고 무력화할 수 있는 첨단 방어 시스템이다. 천광은 고출력 레이저를 활용해 무인 항공기와 같은 공중 위협에 저비용으로 대응하기 위한 최적의 방어체계로 설계되었다.

<주요 스펙>

무게 : 약 15톤

면적 : 27m²

출력 : 20KW

운용방식 : 지상배치(설치)

요격가능거리 : 약 2~3km

1회 발사비용 : 약 1,000~2,000원



□ 확인하였습니다.

II. 인구통계학적 특성

1. 성별 ☐남자 ☐여자
2. 연령 ☐20대 ☐30대 ☐40대 ☐50대 ☐60대
3. 분야 ☐건축 ☐구조공학 ☐군사전략 ☐방공시스템 ☐기타(자세히)
4. 종사기간 ☐5년미만 ☐5~10년미만 ☐11~15년 미만 ☐16~20년미만 ☐20년 이상

III. 천광 시스템 설치 요인 중 노후화, 주요시설, 면적 중요도 평가

천광 시스템의 설치 위치를 결정하는 데 있어 건물의 노후화 정도와 주요시설과의 거리 두 가지 요인이 중요한 고려 요소로 평가되었습니다. 이를 보다 명확히 비교하고 우선순위를 설정하기 위해 추가적인 중요도 평가를 진행하였습니다.

가. 건물의 노후화 정도가 천광 시스템 설치에 미치는 영향

1) 노후화 정도의 중요성

응답자 다수는 신축 건물이 구조적 안정성이 높아 천광 시스템 설치에 유리하다고 평가했습니다.

- 신축 건물은 하중을 견딜 수 있는 구조적 안전성이 확보되어 있음
- 천광 시스템 자체 무게(약 15톤)와 자연재해(강풍, 지진 등)를 고려할 때 구조적 내구성이 필수적
- 노후 건물의 경우, 구조적 요구를 충족하지 못할 가능성이 있어 안전성 확보가 어려움

2) 노후화보다 구조적 안전성이 더 중요한가?

일부 응답자는 건물의 노후화보다는 하중을 견딜 수 있는 구조적 안전성이 더 중요한 기준이 되어야 한다고 보았습니다.

- 노후 건물이라도 구조적 보강이 이루어졌다면 설치 가능
- 노후화보다 위치적 적합성이 더 중요한 요소일 수 있음
- 건물의 재개발 가능성을 고려할 필요가 있음

3) 추가 중요도 평가 결과

- ➡ 응답자들의 의견이 다소 분산되었으며, 노후화보다는 구조적 안전성이 핵심 요소로 작용할 가능성이 큼.
- ➡ 장기적 운영 안정성 측면에서는 노후화의 영향이 크다는 의견이 우세함.

나. 주요시설과의 거리가 천광 시스템 설치에 미치는 영향

1) 주요시설과의 거리의 중요성

대다수 응답자는 천광 시스템이 유효 사거리 내에서 효과적으로 운용되려면 주요시설과의 적절한 거리 확보가 필수적이라고 평가했습니다.

- 방호 대상인 주요시설과의 거리 조정 필요
- 사각지역이 발생하지 않도록 신중한 위치 선정 필수
- 무인기, 미사일, 항공기 등 위협 요소를 효과적으로 요격하기 위해 배치 전략 중요

2) 주요시설과 거리의 중요성이 상대적으로 낮다는 의견

일부 응답자는 천광 시스템이 반드시 주요시설과 가까운 거리에 있을 필요는 없으며, 방어선을 최적화할 수 있는 위치 선정이 더 중요하다고 보았습니다.

- 거리보다는 방어선 구축이 우선
- 사거리 내에만 위치하면 효과적인 방공 가능
- 주요시설 보호보다는 적의 위협을 사전에 차단하는 전략적 배치가 중요

3) 추가 중요도 평가 결과

- ➡ 다층 방어 시스템 구축의 필요성은 강하게 인식되고 있음.
- ➡ 보안이 중요한 시설과의 거리도 일정 수준 고려해야 한다는 의견이 우세.
- ➡ 도로 및 교통 중심지는 비교적 중요도가 낮게 평가됨.

다. 옥상 면적이 천광 시스템 설치에 미치는 영향

1) 옥상 면적의 중요성

- 천광 시스템 설치를 위해 일정 수준 이상의 옥상 공간이 필요함.
- 유지보수 및 안전 공간을 확보해야 하므로 최소 면적 기준이 설정될 필요가 있음.

2) 옥상 면적보다 중요한 요소가 있는가?

- 일부 응답자는 면적 자체보다는 건물의 구조적 안전성과 접근성이 더 중요하다고 평가함.
- 면적이 충분하더라도, 건물의 하중을 견딜 수 없다면 설치가 어려울 수 있음.
- 유지보수를 고려했을 때, 접근성 확보가 중요한 요소로 작용할 가능성이 있음.

라. 종합 결론

천광 시스템 설치 요인에 대한 중요도 평가 결과, 건물의 노후화 정도와 주요시설과의 거리 두 가지 요인이 중요한 변수로 작용하였으나, 주요시설과의 거리가 더욱 중시된 요소로 평가되었습니다.

1. 건물의 노후화 정도는 구조적 안전성과 장기적 운영 안정성 측면에서 중요한 요소이지만, 보강을 통해 해결할 수 있다는 의견이 존재했습니다.
2. 주요시설과의 거리는 방어 전략과 다층 방공 체계 구축과 밀접하게 연관되며, 방어선 최적화와 위협 요소 차단 을 고려한 전략적 배치가 필요하다는 점에서 높은 중요성을 부여받았습니다.
3. 옥상 면적에 대한 평가에서는 일정 면적 이상의 옥상이 필수적이라는 의견이 많았습니다. 천광 시스템 설치를 위해 필요한 공간을 확보하는 것이 중요하며, 최소 면적 기준을 설정하는 것이 필요하다는 점이 강조되었습니다.
 - 하지만 면적보다 더 중요한 요소는 구조적 안전성과 접근성이라는 의견도 있었습니다. 면적이 충분하더라도 건물이 하중을 견딜 수 없거나 접근이 어려운 경우 설치가 불가능할 수 있기 때문입니다.

1-1. 천광 시스템 설치에 있어, 건물의 노후화 정도, 주요 시설과의 거리 그리고 면적 중 어느 요인이 '1순위 요소'라고 생각하십니까?*

- ☐ 건물의 노후화 정도
- ☐ 주요시설과의 거리
- ☐ 면적

1-1-1. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

1-2-1. 천광 시스템 설치에 있어, 건물의 노후화 정도, 주요시설과의 거리 그리고 면적 중 어느 요인이 '2순위 요소'라고 생각하십니까?

- ☐ 건물의 노후화 정도
- ☐ 주요시설과의 거리
- ☐ 면적

1-2-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

2. 천광 시스템 설치 요인 중 내진설계, 시야각 중요도 평가

천광 시스템 설치에 있어 건물의 내진설계 여부와 시야각 확보가 동일한 중요도를 기록하였으며, 이에 따라 두 요인의 우선순위를 명확히 구분하기 위한 추가적인 중요도 평가를 실시하였습니다.

가. 건물 내진설계 여부의 중요성 평가

천광 시스템의 설치 위치 결정에서 건물 내진설계 적용 여부의 중요성에 대한 응답자들의 의견은 대체로 높은 평가를 받았습니다. 5명의 응답자 중 5명이 “매우 중요하다”라고 응답하여 내진설계가 필수적이라는 인식이 강하게 반영되었습니다.

1) 내진설계가 중요한 이유 (대다수 응답자 의견)

진동 저항 및 안전성 확보: 내진설계는 흔들림에 대한 저항 능력을 반영한 구조로, 천광 시스템의 운전 하중을 확보하는 데 필수적임.

자연재해 및 외부 공격 대응: 지진뿐만 아니라 적의 포격 등으로 인한 진동을 효과적으로 흡수하여 장비 보호 가능.

건물 최상층부 배치 고려: 천광 시스템은 건물 최상층부에 배치되므로 구조적 안정성이 더욱 중요함.

장비 운용 안정성: 레이저 발진기, 발사장치, 냉각장치 등 민감한 장비가 포함되므로 내진 설계가 필수 요소로 작용함.

2) 내진설계보다 방어선 구축이 더 중요하다는 의견 (일부 응답자 의견)

전략적 배치가 우선: 일부 응답자들은 건물의 내진설계 여부보다 방어선 구축이 가능한 환경과 조건이 더 중요한 요소일 수 있다고 보았음.

효과적인 방어 위치 선정이 핵심: 천광 시스템이 효과적으로 방어할 수 있는 최적의 위치에 배치되는 것이 내진설계보다 우선할 수 있음.

3) 추가 중요도 평가 결과

➡ 응답자 전원이 내진설계를 매우 중요한 요소로 평가하였으며, 특히 장비의 안정적 운용과 건물의 구조적 안전성을 확보하는 것이 필수적이라고 응답함.

나. 시야각 확보의 중요성 평가

천광 시스템의 감시 및 방어 효율성을 극대화하기 위해 시야각 확보가 얼마나 중요한지 평가한 결과, 응답자 5명 중 5명이 “매우 중요하다”고 응답하여 내진설계와 동일한 중요도를 기록하였습니다.

1) 시야각 확보가 중요한 이유 (대다수 응답자 의견)

사각지대 최소화: 방사각에 사각이 발생하면 방어 효율성이 크게 저하됨.

정찰 및 감시 기능 극대화: 정찰, 감시, 추적, 조준, 격추를 위한 기본 조건임.

레이저 조사 방식과의 연계: 천광 시스템은 레이저 조사 방식으로 운영되므로 사각지대가 존재할 경우 방어 성능이 저하됨.

방어형 무기 체계의 특성: 타겟 시야 확보가 필수적으로 요구됨.

2) 추가 중요도 평가 결과

➡ 응답자 전원이 시야각 확보를 최우선 요소로 평가하였으며, 방어 효과를 극대화하기 위해 사각지대 없이 배치하는 것이 필수적이라고 보았음.

다. 종합 결론

천광 시스템 설치에 있어 건물의 내진설계 여부와 시야각 확보가 동일한 중요도를 기록하였으며, 두 요인의 우선순위를 보다 명확히 하기 위해 추가적인 평가가 필요함.

1) 내진설계 여부는 천광 시스템의 안정적 운용과 장비 보호 측면에서 중요하지만, 일부 응답자는 전략적 배치가 더 중요한 요인이라고 평가함.

- 2) 시야각 확보는 감시 및 방어 효율성을 극대화하는 핵심 요소로, 응답자 전원이 매우 중요하다고 평가함.
- 3) 두 요소 간 우선순위를 명확히 구분하기 위해 추가적인 중요도 평가 및 실증적 분석이 필요함.

2-1-1. 천광 시스템 설치에 있어, 건물의 내진설계와 시야각 중 어느 요인이 '1순위요소'라고 생각하십니까?*

- ☐ 건물의 내진설계
- ☐ 건물의 시야각

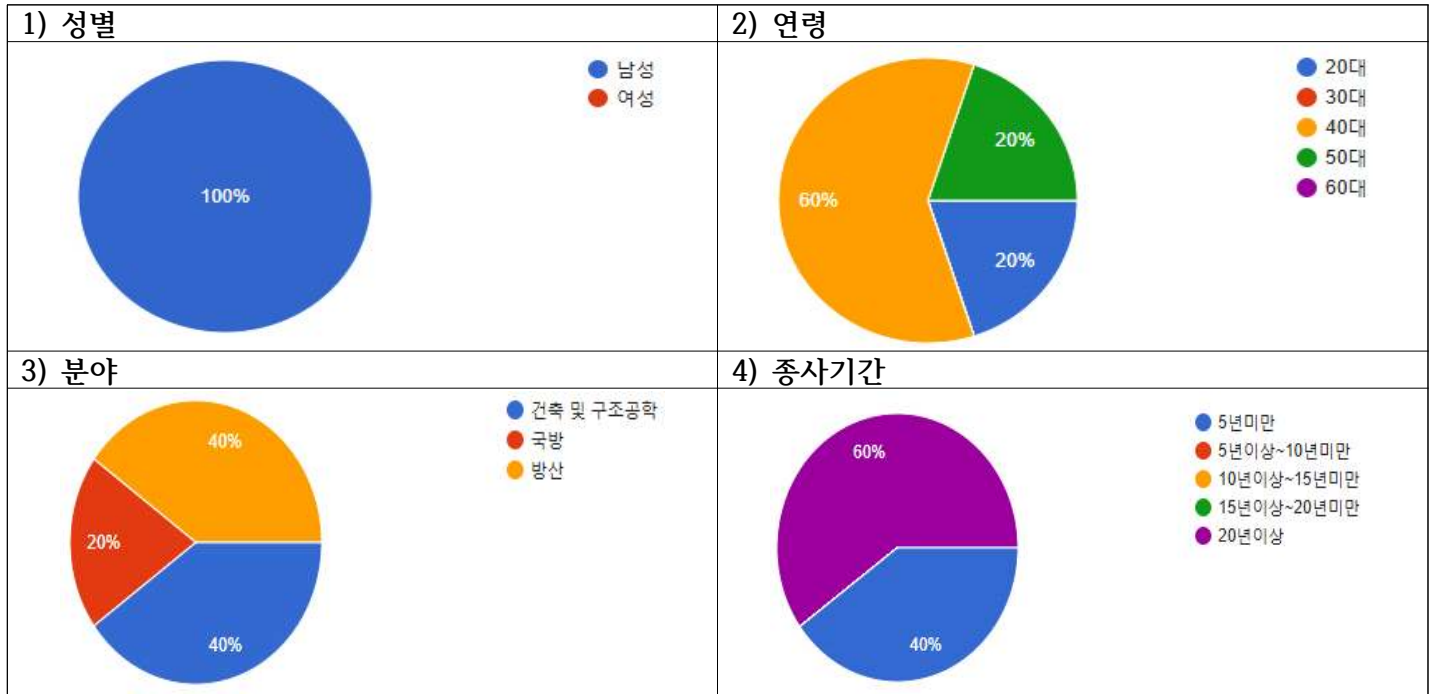
2-1-2. 위 답변에 대한 이유를 작성해주세요.*

귀하의 응답은 연구에 매우 중요한 자료로 활용될 예정입니다.
설문에 응답해 주셔서 진심으로 감사드립니다.
추가적인 문의 사항이 있으면 아래 연락처로 연락해 주시기 바랍니다.

담당자: 유종진

4차 델파이 설문조사 결과 도표

I. 참여자



II. 요인별 결과

1-1. 천광 설치 요인 중 노후화, 주요시설, 면적 중 1순위 요소 조사

1-1. 천광 시스템 설치에 있어, 건물의 노후화 정도, 주요시설과의 거리 그리고 면적 중 어느 요인이 '1순위 요소'라고 생각하십니까?

응답 5개



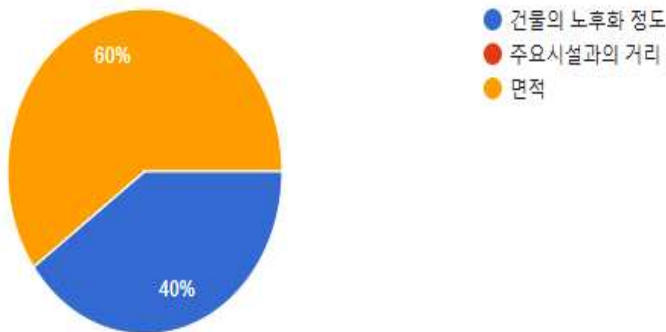
1-2. 전문가 의견

건물의 노후화(구조적 안정성)와 면적은 천광 운용조건인 필수조건임. 이는 천광의 하중을 견딜수 있고, 운용과 경계, 유지보수 등을 위한 최소 기준을 충족해야만함. 충족되지 못하면 운용위치로 선정될 수 없음. 그러나, 주요 시설과의 거리는 위험체의 속도와 고도, 천광의 사거리, 천광에 대한 직접타격시 안전거리 등을 고려하여 입지를 선정해야 하는 것임. 3가지의 중요도를 비교하는 자체가 모순이라고 생각되나 굳이 하나를 선택하라면 주요시설과의 거리라고 생각됨.
우선순위 1. 작전운용 2. 지속지원 3. 기타 기반시설
요격이 가능한 것이 제일 중요하다고 생각합니다.
LOS 확보
천광은 드론 방어용 요격무기로 보호하고자하는 주요시설의 보호의 적합한위치에 설치하는것이 1순위 중요하다

2. 천광 설치 요인 중 노후화, 주요시설, 면적 중 2순위 요소 조사

1-2. 천광 시스템 설치에 있어, 건물의 노후화 정도, 주요시설과의 거리 그리고 면적 중 어느 요인이 '2순위 요소'라고 생각하십니까?

응답 5개



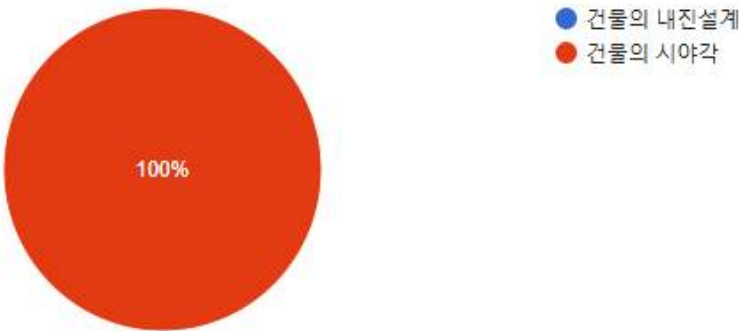
2-1. 전문가 의견

옥상 면적이 좁으면 하층에 운용 및 경계병력을 운용하는 방안도 가능하나, 노후화에 의해 구조적 안정성이 확보 되지 않는다면 운용이 불가함.
우선순위 1. 작전운용 2. 지속지원 3. 기타 기반시설 로 면적은 지속지원을 위한 요소에 포함
옥상 면적은 충족된 곳이 많을 것이라 생각합니다.
시설물 설치 용이성
천광설치와 그 관리를 위한 면적이 다음 중요하다

3. 천광 설치시 건물의 내진설계 여부와 시야각 확보 중 우선순위 요소 조사

2-1. 천광 시스템 설치에 있어, 건물의 내진설계와 시야각 중 어느 요인이 '1순위 요소'라고 생각하십니까?

응답 5개



3-1. 전문가 의견

- 내진설계는 국내 많은 건축물에 적용되지않은 경우가 많고 극단적인 상황에 대비한 요소이므로, 천광 운용을 위해 반드시 고려해야 할 건물의 시야각이 더 중요한 요소라고 생각함.
- 우선순위 1. 작전운용 2. 지속지원 3. 기타 기반시설
로 시야각은 작전운용 측면해당
- 요격이 편리한것이 우선이라고 생각합니다.
- LOS 확보
- 요격 시야각이 더중요하다