

2025 스마트양식 도전해[海] 경진대회

AI CCTV 기반 무인 양식장 보안 시스템: 기존 인프라 활용과 지속가능 확산 전략

□ 제안 배경 및 문제인식

1. 양식장의 보안 취약성

- 국내 해상 가두리 양식장은 연안이나 도서 인근에 분포하며, 장시간 무인 운영되는 경우가 많다.
- 특히 야간·악천후 상황에서는 절도, 무단 침입, 시설 파손 위험에 쉽게 노출된다.
- 실제 사례로, 2023년 충남 보령 해역에서 해삼 약 6톤(시가 1억 5천만 원 이상)이 도난당하는 사건이 발생했으며¹⁾, 이와 같은 피해가 반복적으로 보고되고 있다.

2. 기존 CCTV의 한계

양식장에는 CCTV가 설치되어 있으나 대부분 단순 녹화 기능에 머물러 있다.

- 침입 상황을 실시간 탐지하거나 즉각 대응하지 못한다.
- 네트워크 불안정, 전력 부족 등 해상 환경 제약으로 상시 감시가 어렵다.
- 법적 증거 확보에는 유용하지만, 사전 예방·즉각 대응 기능은 부족하다.

3. 산업 고도화와 보안의 불균형

- 최근 양식장 내부에서는 AI 기반 먹이 공급, 적외선 카메라, 생체 분석 등 스마트 양식 기술이 빠르게 확산되고 있다.
- 그러나 보안 관리 영역은 여전히 CCTV 중심에 머물러, 생산성은 고도화되지만 보안은 정체된 불균형이 발생한다.
- 생산성·효율성뿐만 아니라, 보안 역시 스마트 기술과 함께 발전해야 할 필요성이 크다.

4. 해외 사례와의 차이

- 미국의 Spotter Global은 소형 감시 레이더와 CCTV를 연동한 Fish Farm 보안 솔루션을 제공하며, 자국 및 유럽 일부 국가에서 상용 운영 중이다.²⁾
- 반면, 국내는 여전히 “사후 확인용” CCTV 수준에 머물러, 국제적 보안 경쟁력 측면에서 격차가 확대되고 있다.

1) OhmyNews. (2023, March 29). 보령 해삼 6톤 도난... 피해액 1억 5천만 원. 오마이뉴스.

2) Spotter Global. Fish Farm Security - 어장 보안 레이더 솔루션, (2025)

□ 제안 개요

1. 핵심 아이디어

본 제안은 기존 양식장 CCTV를 AI 기반 실시간 감시 체계로 고도화하는 데 목적이 있다.

- 기존 CCTV에 객체 탐지 모델(YOLO)과 다중 객체 추적 알고리즘(ByteTrack)을 적용하여, 사람·선박의 침입 여부를 실시간으로 분석한다.
- AI가 CCTV 영상을 분석해 정상/주의/경계/침입 등 위험도 레벨을 자동 산출하고, 위험 상황이 감지되면 어민에게 알림(앱·문자·경보음)을 전송한다.
- 기존 인프라인 CCTV를 중점적으로 이용하지만, 필요 시 PIR·레이더 등 IoT 센서를 추가 구축하여 야간·악천후 시에도 정확도를 보완할 수 있다.

2. 기대효과

① 실시간 대응·피해 최소화

- AI 분석으로 침입 상황을 즉시 인지하여 알림을 발송하고, 절도·시설 파손 등의 피해를 조기에 차단한다.

② 노동력 보완 및 현장 적용성

- 고령화된 어촌에서 인력 의존 감시 한계를 보완하고, 24시간 무인 보안 체계를 실현한다.
- 기존 CCTV 인프라를 그대로 활용하여 비용 부담은 최소화, 적용성은 극대화한다.

③ 데이터 기반 확장성

- 축적된 침입 데이터와 위험도 분석 결과를 활용해 지역 공동체 단위 보안 체계로 확장 가능하다.
- 나아가 타 품종·지역 양식장에도 적용할 수 있어 스마트 보안 표준 모델로 발전할 수 있다.

□ 주요 추진 내용 및 방법

1. 데이터 수집

(1) 기존 인프라 - CCTV 기반 영상 수집

- 목적: 해상 가두리 양식장 접근·침입 상황을 실시간 감시하고, 영상 기록을 통해 증거를 확보함
- 기법:

- ① 주·야간 겸용 카메라: 주간에는 컬러 영상, 야간에는 적외선(IR) 모드로 자동 전환하여 24시간 감시 가능
- ② 고해상도(Full HD 이상): 20~30fps 영상으로 움직임을 부드럽게 포착, 침입자·선박 탐지 시 선명한 증거 확보
- ③ 방수·내식성 구조: IP66 이상 등급 장비를 적용하여 파도·염분·강풍 환경에서도 안정적인 작동 보장
 - 효과: 장시간·고품질의 연속 영상 데이터를 확보하여 AI 학습 및 분석에 활용 가능, 사건 발생 시 법적 증거로 제출 가능

(2) 추가 구축 - IoT 센서 기반 데이터 수집

- 목적: CCTV의 한계를 보완하고, 야간·악천후 상황에서도 정확한 상황 인지 가능
- 주요 센서:
 - ① PIR 센서: 사람의 체온을 감지하여 실제 생체 접근 여부를 확인
 - ② 레이더 센서(X-band): 10GHz대 전파로 근거리 고분해능 탐지, 안개·비 등 악천후 상황에서도 성능 저하 최소화
 - ③ 진동감지 센서: 가두리·울타리 등 시설물에 가해지는 충격·흔들림을 탐지하여 침입·파손 여부 확인
 - ④ 음향 센서(옵션): 보트 엔진음, 파손음 등을 감지하여 조기 경고 기능 제공
 - 효과: 영상 외 다층 센서 정보를 수집하여 오탐을 줄이고 정밀한 데이터셋 확보

(3) 데이터 전송 및 관리

- 방식:
 - ① 현장 게이트웨이에서 영상·센서 데이터를 1차 저장후, MQTT·REST API 기반으로 클라우드 전송
 - ② LTE/5G·전용 무선망을 이용해 실시간 원격 모니터링 지원
 - ③ 통신 불안정 대비, 로컬 장비에 최소 10일 이상 데이터 순환 저장
 - 보안: TLS 암호화·VPN 전송, 해시값·워터마크로 무결성 보장
 - 효과: 실시간성과 안정성을 동시에 확보하여, 데이터 분석·AI 학습·사건 대응 등 다양한 활용이 가능한 신뢰성 높은 데이터 축적

2. 시스템 구축

2-1 CCTV+AI - Edge AI 분석

(1) 프레임 셀렉터(Frame Selector) - 핵심 화면 선별

- 목적: 대량의 CCTV 영상 중 불필요한 장면을 제거하고, 보안과 관련된 장면만 저장·분석하도록 한다.
- 기법:
 - ① 히스토그램 평활화³⁾: 햇빛·그림자 때문에 같은 물체가 다른 색으로 보이는 문제를 보정한다. 쉽게 말해 사진의 밝기 균형을 맞춰주는 기능으로, 불필요한 차이를 줄여준다.
 - ② 윤곽선 필터링³⁾: 남은 영상에서 물체의 테두리를 따낸 뒤, 크기·길이·모양이 일정 기준에 맞는 것만 남긴다. 예를 들어, 가늘어서 실제 사람이 될 수 없는 그림자는 버린다.
- 효과: 잡음을 줄이고 실제 객체만 선명하게 남겨, 이후 탐지 정확도를 높인다.

(2) 객체 탐지(Object Detection) & 추적(Tracking) - 행동 분석

- 목적: CCTV 영상에서 사람·선박을 찾아내고, 그 움직임을 추적하여 침입 여부와 행동 패턴을 실시간 분석한다.
- 기법:
 - ① 객체 탐지 - YOLOv8⁴⁾
 - YOLOv8은 최신 객체 탐지 모델로, CCTV 영상 속에서 여러 대상을 동시에 빠르고 정확하게 찾아낸다.
 - 양식장의 CCTV는 고정되어 있으므로, 평소와 다른 객체(예: 야간 선박 접근, 외부인 침입, 조류 출현)가 나타나면 곧바로 “침입 상황”으로 분류하고 분석을 시작한다.
 - ② 객체 추적 - ByteTrack⁵⁾
 - ByteTrack은 실시간 다중 객체 추적에 적합한 경량 알고리즘으로, 적은 자원을 사용하면서도 높은 정확도를 제공한다.
 - YOLO와 결합하면 침입자를 빠르게 탐지·추적하고, 나아가 기존 양식장 작업자의 이동 궤적과 비교하여 정상 활동인지, 침입 상황인지 자동 분류할 수 있다.

3) 양형준, 최규상. (2025). 히스토그램 평활화 및 윤곽선 필터링을 활용한 차량 내 분실물 감지 시스템. 한국정보기술학회 하계종합학술대회 논문집

4) 이승현 외. (2024). 스마트 농업을 위한 YOLO 기반 작물 해충 탐지 모바일 애플리케이션. 한국지능정보시스템학회

5) 장재근, 권영우. (2024). YOLOv7+ByteTrack을 이용한 차량 궤적 유사도 비교를 통한 교통 상황 파악 연구. 한국통신학회 하계종합학술발표회

- 효과: 침입자를 빠르게 식별·추적하여 정상 활동과 비정상 침입 행동을 구분할 수 있다.

CCTV기반 위험도 레벨링		
레벨	조건	설명
정상	- 작업시간 내 - YOLO 탐지 결과: 사람 - 일반 이동 패턴(접근·정지·체류 없음)	근로자의 정상 활동
주의	- 작업시간 외 - YOLO 탐지 결과: 사람 - 이동 패턴이 단순 ‘접근’ 후 곧 이탈	외부인 접근 가능성
경계	- 작업시간 외 - YOLO 탐지 결과: 사람 - 이동 패턴: 접근 + 정지	불법 침입 시도 가능성
침입	- 작업시간 외 - YOLO 탐지 결과: 사람 - 이동 패턴: 접근 → 정지 → 장시간 체류	실제 침입자로 판단

2-2 IoT 융합 기반 CCTV 보강 분석 모듈

- 목적: CCTV 단독 분석은 야간·악천후·반사광 상황에서 오류가 발생할 수 있다. 이를 보완하기 위해 CCTV(영상) + IoT 센서(감각)를 융합하여 입체적이고 신뢰도 높은 보안 인지 체계를 구축한다.

기법:

- ① 사람 침입 판별: YOLO를 통해 사람이 탐지되고, PIR 센서에서 체온이 동시에 감지되면 실제 사람 접근으로 판단한다.
- ② 오탐 판별: CCTV에서 형체가 감지되더라도 PIR 반응이 없고 진동도 없는 경우, 반사광·그림자 등으로 간주하여 오탐으로 처리한다.
- ③ 행동 시퀀스 기반 침입자 판별: 사람이 확인된 후 ‘정지 → 장시간 체류’ 패턴이 나타나면 침입자로 분류한다.
- ④ 선박 접근 판별: YOLO에서 선박 형체가 인식되고, 동시에 레이더로 접근 속도와 거리가 일정 기준을 초과하면 위험 상황으로 간주한다.
- ⑤ 시설물 보호: 울타리·가두리 등에서 진동이 감지되고 CCTV에서도 사람이 탐지되면 실제 침입으로 판단한다.
- ⑥ 야간·악천후 대응: 조도 변화나 기상 악화로 CCTV의 정확도가 저하될 경우, PIR·레이더·음향 센서를 결합해 탐지 결과를 보완하고 위험도를 한 단계 상향한다.

효과: 기존 CCTV 인프라에 IoT 센서를 융합하여 보안 인지 체계를 보강하고, 침입 판별의 정확성과 신뢰도를 크게 향상시킨다.

판별 기법 요약 표		
구분	조건	설명
사람 침입	YOLO 사람 + PIR 체온 감지	실제 접근
오탐 판별	형체 감지 △ / PIR · 진동 X	반사광 · 그림자
행동 시퀀스	접근 → 정지 → 체류	침입자로 분류
선박 접근	YOLO 선박 + 레이더 임계 초과	위험 상황으로 판단
시설물 보호	진동 감지 + 사람 탐지	침입/훼손 판단
야간 · 악천후	CCTV 저하 → 센서 보완	위험도 상향

레이더 기반 선박 접근 위험도 레벨링		
레벨	조건	설명
정상	- 레이더 반사 신호 없음 - 선박 미탐지	정상적인 해상 환경
주의	- 선박 감지 - 속도 낮음(2~3노트)	원거리 저속 접근 단순 통과 가능성
경계	- 선박 감지 - 거리 300m 이내 - 속도 중간(3~7노트) - 양식장 방향 접근	의도적 접근 가능성 침입 우려
침입	- 선박 감지 - 거리 150m 이내 - 속도 높음(7노트 이상) - 양식장 진입 경로 일치	실제 침입으로 간주

3. 알림 · 경보 시스템 - 실시간 대응 체계

- 목적: 분석된 위험도 결과를 관리자가 즉시 확인하고 조치할 수 있도록 24시간 알림 · 경보 체계를 구축한다.
- 기법:
 - ① 모바일 UI 제공: 관리자는 스마트폰 · 태블릿을 통해 작업장을 원격에서 24시간 모니터링 가능
 - ② 다중 알림 채널: 위험 상황 발생 시 앱 푸시 · SMS · 웹 대시보드로 실시간 알림 제공, 현장에는 경광등 · 사이렌 · 음성 알림 장치 연동
 - ③ 위험도 단계별 대응 체계: 위험 레벨을 구분하고 상황별 대응 방안을 자동 제시

위험도 단계별 알림 · 대응 체계		
레벨	조건	대응 방안

정상	작업시간 내 정상 패턴	평상시 관리 유지
주의	이상 패턴 초동 감지	작업자에게 모바일 알림 전송
경계	침입 · 이상 행동 지속	현장 경광등 · 사이렌 작동
침입	장시간 체류 · 시설물 손상 감지	관리자 · 지자체에 즉시 긴급 경보 전송

□ 실현 가능성 및 기대 성과

1. 기존 인프라 활용성

- CCTV는 이미 대부분 양식장에 구축된 인프라로 추가 설치 비용이 적음
- YOLO 및 ByteTrack 모델은 로컬 환경에서도 처리 가능하여 운영 부담이 낮음
- 따라서 기존 인프라를 기반으로 신속한 현장 적용이 가능함

2. 정책적 추진 동력

- 「제5차 양식산업발전 기본계획(’24~’28)」에서 스마트·자동화 체계 전환 가속화를 명시⁶⁾
- 이에 따라 본 기술은 정부의 R&D 및 보급 사업과 연계 가능성이 높으며, 정책 방향과 정합성을 확보함

3. 현장 효과성

- 악천후·야간 등 취약 시간대에도 이상 상황 탐지가 가능함
- 외부 침입 및 시설 파손을 조기에 인지하여 피해를 최소화할 수 있음
- 또한 어민 고령화로 인한 노동력 부족 문제를 보완하는 효과가 기대됨

4. 개선·확산 가능성

- 초기에는 CCTV+AI 중심으로 도입하고, 이후 레이더·음향·PIR 등 다중센서 융합으로 고도화 가능함
- 데이터셋 축적을 통해 다른 품종 및 지역 양식장으로 확산 적용할 수 있어, 확장성과 지속성이 높음
- 특히 레이더·센서 등은 어가 단위로 공동 활용이 가능하여, 개별 어민의 경제적 부담을 줄이고 보급성을 높일 수 있음

□ 활용 실적 또는 계획 / 공공성 및 확장성

1. 유사 기술 적용 사례

① 국내 사례

- 충남 태안군 등 일부 어촌에서는 열열상 카메라와 레이더 기반의 도난 방지 시스템이 설치되어 운영된 사례가 있음⁷⁾

6) 해양수산부. (2024). 제5차 양식산업발전 기본계획(’24~’28). 해양수산부 보도자료 및 정책 문서.

7) MBN 뉴스. (2023.06.19). “어촌마을 양식장에 최첨단 도난방지시스템 설치”. [방송 보도 자료]

- 해당 시스템은 침입 시 자동 녹화 및 경고 방송, 야간 열영상 감시 기능을 통해 해산물 절도 피해를 예방하고 어민 소득 보호에 기여함
- 이는 어촌 지역에서 실제로 스마트 감시 체계가 효과적으로 작동한 선행 사례로, 본 제안 기술의 현장 적용 가능성을 뒷받침함

② 해외 사례:

- 이탈리아 페라라주 Sacca di Goro의 Verace Cooperative(조개 양식 협동조합)는 Hikvision의 Bi-spectrum(열영상+영상) 카메라와 AI 기반 탐지 알고리즘을 도입하여, 짙은 안개 속에서도 소형 선박을 탐지·추적하고 침입 시 실시간 알림을 제공하는 보안 체계를 구축함⁸⁾
- 해당 시스템은 태양광 전원으로 구동되어 전력망이 없는 해상에서도 운영 가능하며, 절도 피해 감소·비용 절감·탄소 배출 저감 효과까지 달성함
- 이 사례는 해외에서도 AI+영상 융합 기술을 활용한 양식장 보안 체계가 실질적으로 효과를 발휘하고 있음을 보여주며, 본 제안 기술의 국제적 확장성을 뒷받침함

2. 실증 계획

- 1단계(약 6개월): 기존 양식장 CCTV 인프라에 AI 객체 탐지 모델(YOLOv8+ByteTrack)을 적용하여 사람·선박 등 침입 상황 판별 성능을 검증한다.
- 2단계(약 1년): CCTV 기반 탐지 체계에 진동 감지 센서와 PIR 센서를 추가하여 울타리·가두리 등 시설물 이상을 실시간 감지하고, 동시에 오염률을 감소시킨다.
- 3단계(약 1년 이상): 레이더 센서를 어가 공동체 단위로 공유·활용하는 구조를 실증하여 개별 어민의 부담을 줄이고, 지역 단위 보안·재해 대응 체계로 확산 가능성을 검증한다.

3. 테스트베드 계획

본 제안 기술은 실제 해상 양식장의 환경적 특성과 제약을 반영한 테스트베드를 통해 단계적으로 검증한다.

① 대상지 선정

- 연안 가두리 양식장 1곳을 선정하여 테스트베드 환경 구축
- 기본 인프라: 기존 CCTV 시스템, AI 분석(YOLOv8 + ByteTrack)
- 확장 인프라: PIR 센서, 레이더 센서, 진동 감지 센서 추가 설치
- 공동체 단위 모듈: 정상 기상 시 CCTV의 시정은 10km, 관측범위는 8km로 설정하며, 해당 범위 내 양식장 5개를 동시에 커버할 수 있어 다중 감시

8) Hikvision. (2022, July 1). Protecting valuable seafood products at an open-water farm with Hikvision.

환경 검증이 가능함.

② 실험 설계

- CCTV 단독 분석과 센서 융합 분석을 동일 조건에서 비교하여 성능 차이를 검증한다.

구분	Case A (CCTV 단독)	Case B (CCTV + IoT 센서 융합)
적용 기술	YOLOv8 + ByteTrack	CCTV + PIR · 레이더 · 진동
환경 조건	주 · 야간, 맑음/악천후	동일 조건, 센서 융합
측정 항목	오탐 · 미탐률, 정확도	오탐 · 미탐률, 정확도, 보정 효과
목적	CCTV 단독 성능 한계 확인	센서 융합 통한 개선 검증

③ 검증 지표

- 탐지 정확도(Precision, Recall, F1 Score)
- 오탐(False Positive) 발생률
- 미탐(False Negative) 발생률
- 알림 전달 지연 시간
- 전력 · 통신 안정성 지표

4. 공공성 및 사회적 파급효과

- 고령화된 어촌에서 인력 부족으로 인한 감시 공백을 해소하고, 고령 어민의 안전 확보와 삶의 질 향상에 기여함
- 절도 및 시설 파손 피해를 사전에 예방하여 어민의 직접적인 소득 보호는 물론, 치안 · 보험 · 보상 등 사회적 비용 절감 효과를 창출함
- 양식장 단위의 개별 보안 체계를 넘어, 마을 · 지자체 공동체 기반 협력 감시 체계로 확장될 경우 지역 사회 전반의 안전망 강화에 기여함

5. 비용 · 편익 분석

① 개인 도입 비용

- YOLOv8 + ByteTrack 알고리즘은 로컬 환경에서 구동되므로, 별도의 클라우드 사용료는 발생하지 않는다. 이는 장기적으로 운영비 절감 효과를 제공한다.
- PIR 센서: 인체나 동물의 체온을 감지하여 움직임을 탐지하는 장치로, 대당 약 10만 원 수준이다.
- 진동 감지 센서: 외부 충격이나 진동을 감지하여 이상 상황을 탐지하는 장치로, 약 40만 원 내외로 설치 가능하다.

② 공동 모듈 도입 비용

공동 모듈 비용		
구분	단가(예시)	근거

X밴드 레이더	약 1,000만 원 ⁹⁾	상업용 해상 레이더 기준
해상 CCTV	약 1,400만 원 ¹⁰⁾	가두리 양식장 설치 사례
합계(공동 모듈 기준)	약 2,400만 원	1개 공동 양식장 기준

③ 도난·시설 파손 피해 절감

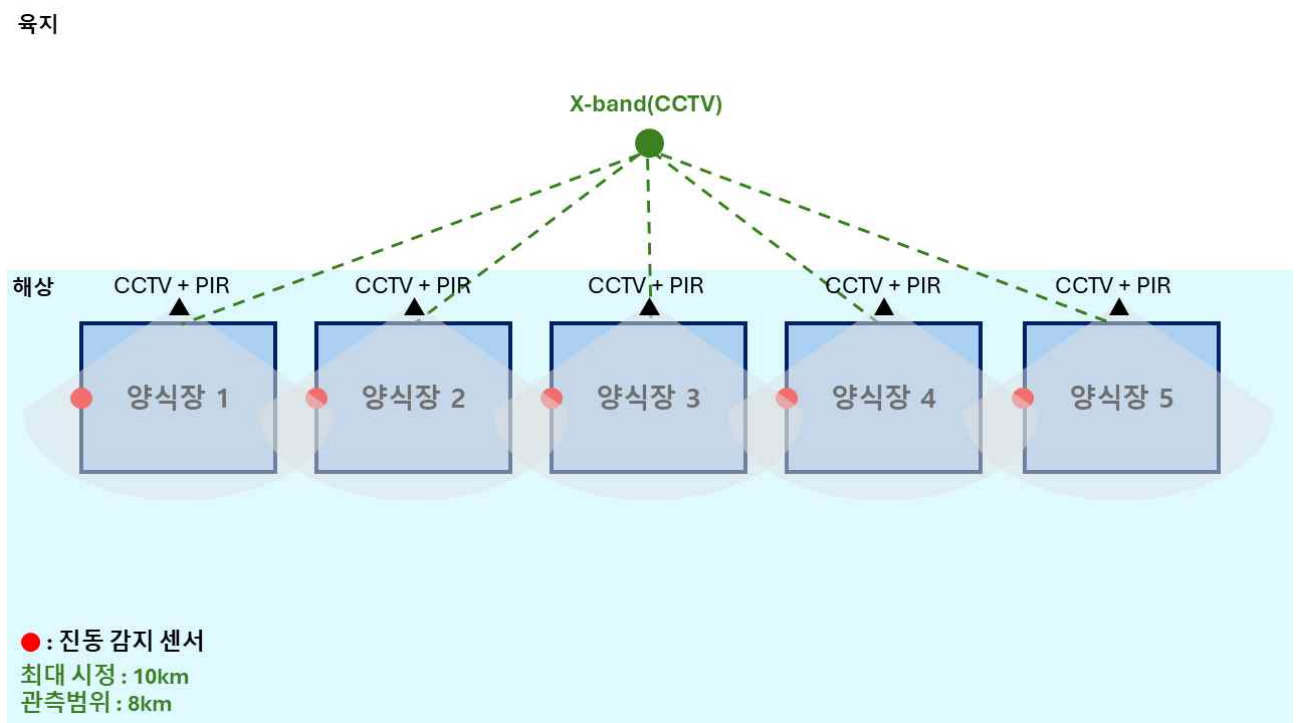
- 최근 충남 보령 해역에서 해삼 6톤(시가 약 1억 5천만 원) 도난 사례처럼, 양식장의 도난·침입으로 발생하는 피해는 건당 수천만~수억 원에 달한다.
- AI CCTV+센서 기반 감시체계는 범죄 억제 및 신속 대응을 통해 연간 수천만 원 이상의 피해 감소 효과를 기대할 수 있다.

④ 태양광·배터리 기반 전원 도입에 따른 운영비 절감

- 태양광 패널+배터리 기반 전원을 도입하여, 해상 환경에서도 파도·염분의 방해 없이 안정적인 전력 공급이 가능하다.
- 초기 설치비는 다소 증가하지만, 이후 운영비용(전기요금·연료비)이 사실상 발생하지 않아 3~5년 내 태양광 설치비 회수가 가능하다.

□ 별첨자료

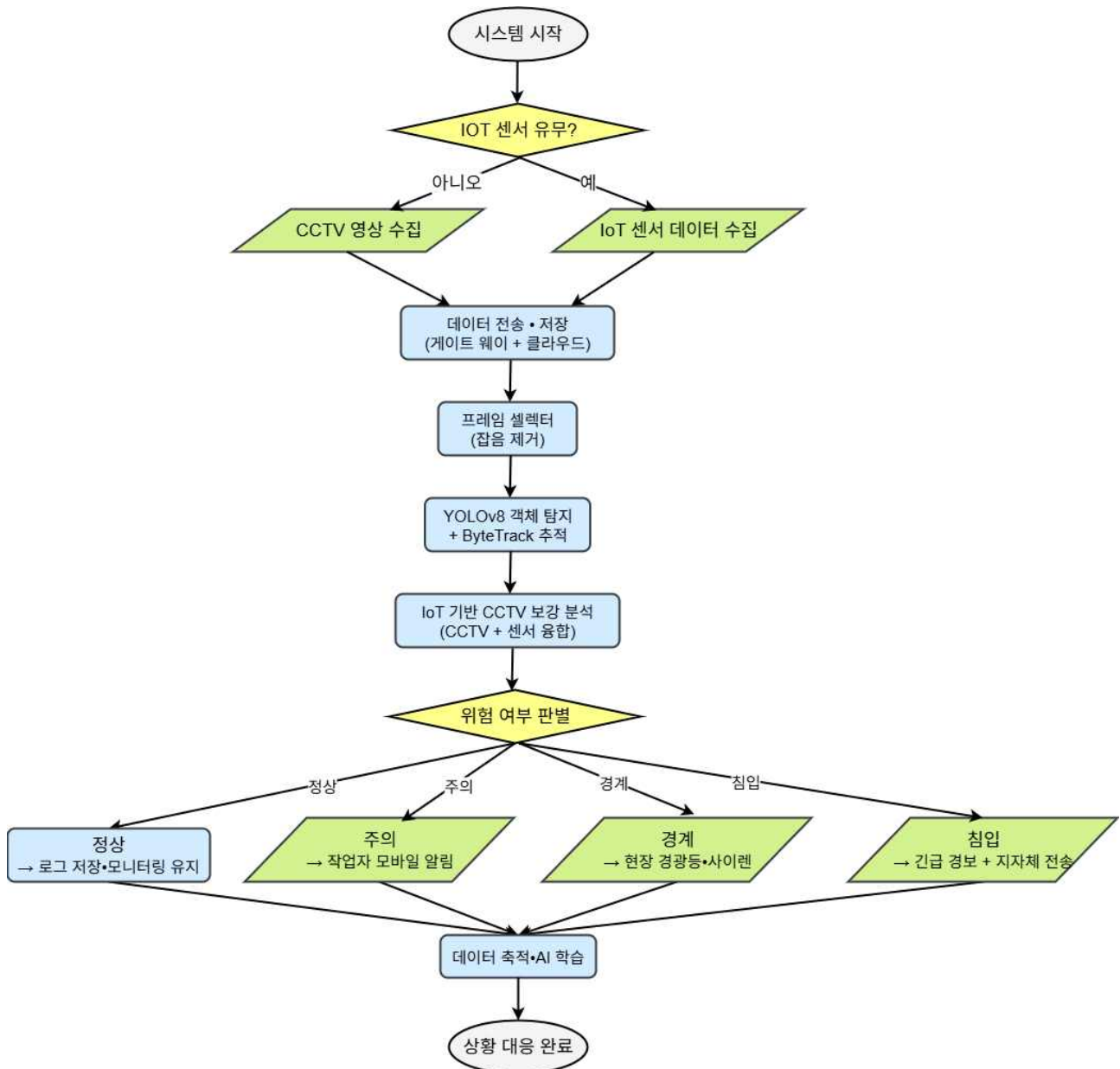
[그림 1] 테스트베드 개념도 (Case B)



[그림 2] 시스템 흐름도

9) WMJ Marine, Furuno DRS25AX X-Band Radar

10) FishEco, 남해군 가두리 양식장 CCTV 설치 사례



□ 향후계획

AI CCTV 실증	센서 확장 실증	다중 센서 공동 활용 검증	친환경 전원 및 서비스 확산
<p>기존 CCTV에 AI 객체 탐지 적용 → 침입 판별 성능 검증</p>	<p>• 진동 센서 추가 → 시설물 이상 실시간 탐지 • PIR 센서 추가 → CCTV 분석의 오탐률 감소</p>	<p>레이더 센서를 어가 단위로 공유 활용 → 개별 어민 부담 완화, 지역 단위 보안 • 재해 대응 실증</p>	<p>태양광 패널 • 배터리 기반 전원 인프라 도입 + 모바일 알림 • 대시보드 고도화 → 공동체 기반 운영 안정화 및 확산</p>
~ 6개월	~ 1년	~ 1년 이상	2~3년 이상