

2020 무인이동체 미래전파 기술 워크숍

한국전력공사 드론 선로순시·점검기술 현황

2020. 8. 27

박 준 영 책임연구원

한국전력공사 전력연구원



한전 드론 적용 현황

- 배전운영처 영상·열화상 고장 불량개소 적출 ('15 배전철탑 31기, 전주 142기)
- 경인건설처 철탑간 전력선 연선 작업 ('15)
- ICT운영처, 드론 활용한 송전철탑 OPGW 점검 시연 ('16)
- **전력연구원 송전용 드론 운용기술 개발 ('16.9~'20.8)**
& 송변전운영처 시범적용 ('17 철탑 31기), 사업소 직접 활용 ('18~)



배전전주 점검



철탑 연선작업

해외 드론 기술 현황

- 미국 EPRI 송전선로 감시 드론 적용성 평가 ('14~'16), 자동비행 ('17~)
- 미국 연방항공국(FAA), Commonwealth Edison, PPL Electric 등 7개 전력 회사에 드론 활용 선로 점검 허가 ('15)
- 유럽 전력회사 드론 시험적용 중 : SSE(영국), ENEL(이탈리아) 등

☞ 모두 **작업자의 육안에 의한 수동 조종 비행** 점검



EPRI



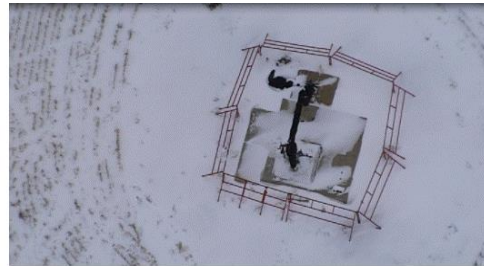
PPL Electric



ENEL

해외 드론 기술 현황

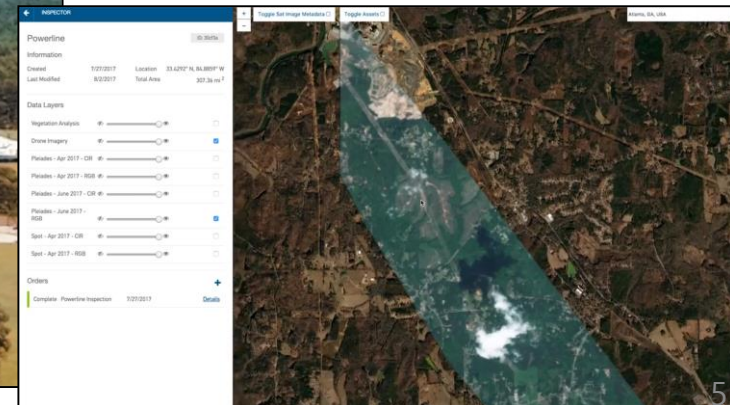
- **Canadian UAVs** (canadianuavs.ca)
 - 록히드 마틴 CDL Systems (지상제어시스템 GCS 제공)와 함께 pipeline, power line 등 BVLOS (비가시권) 점검에 성공 ('17.03)



해외 드론 기술 현황

- **Airbus Aerial** (airbusaerial.com)

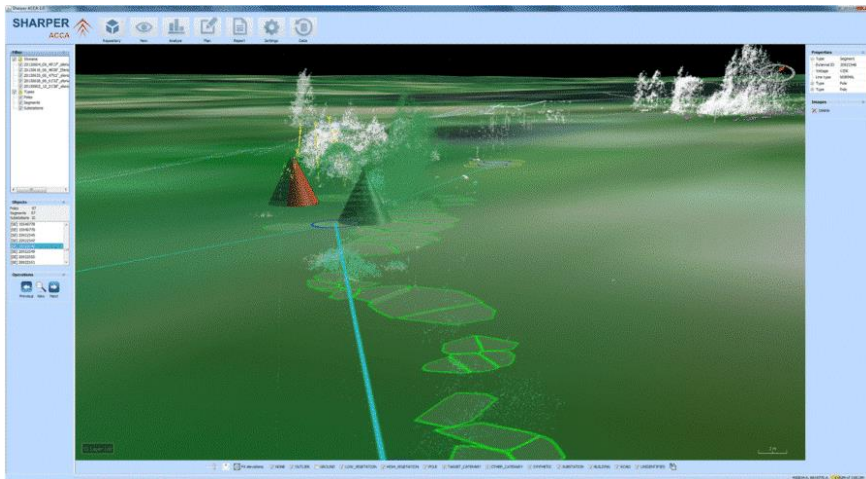
- Airbus Aerial과 전력회사 Southern Company는 美 연방항공국(FAA) 입회하에 조지아주에서 첫 非가시권 Power line 점검 데모에 성공함 ('17.09)
- Airbus의 인공위성 시스템이 전체 선로의 영상 분석을 통해 수목 침해 발생 판단에 사용되었고, 고정익 드론 DT-18은 Atlanta 밖의 48.2km 선로에 대해 위험 발생 가능지역의 정밀점검 데이터 수집에 사용되었음 (3G 통신 이용)



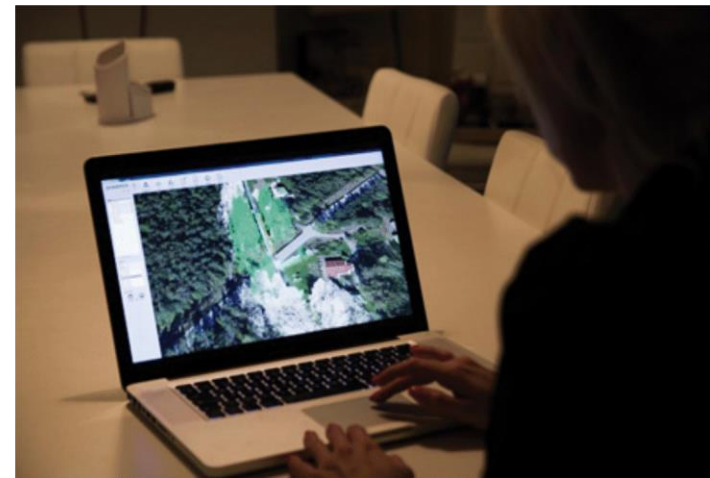
해외 드론 기술 현황

- **Shaper Shape**

- 드론 서비스 회사 Sharper Shape는 유럽에서 상업적 규모로 송전선로 점검 위해 장거리 드론(long-distance drones)을 운영한 첫 회사임
- 수목 침해 점검(지장수목 검출)을 위해 유인헬기 사용한 경우와 비교한 결과 약 50%의 비용 절감됨



**LIDAR 데이터 활용
지장수목 검출 S/W**



수신된 항공 이미지

자동비행 필요성

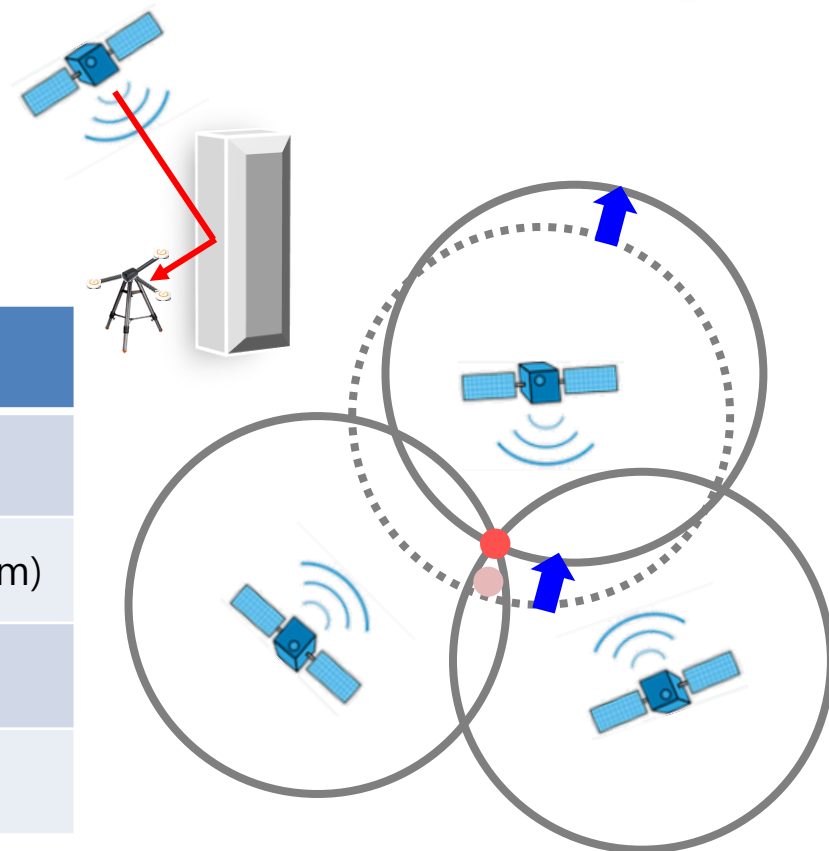
- 육안 가시거리 한계 및 착시현상, 송전선로 高所, 장경간 비행 ➡ 자동비행 필수
- One could argue that controlling a rotary UAV **under a 500m span with a 250m line of sight is prone to errors and hazards.** (On airborne inspections: aircraft and crews, Newsletter of Albatroz Engineering, May-June 2014) (cf) 전압별 표준경간 : 400/450/550m



작업환경 분석 : GPS

• 범지구 위성 항법 시스템

명칭	소속	특징
GPS	미국	30여기 (Global Positioning System)
GLONASS	러시아	24기 (Global Navigation Satellite System)
Galileo	유럽	30기
Beidou	중국	20기 (아시아 태평양 우주)



- 좌표와 고도를 측정하기 위해서는 **최소 4개 이상의 GPS 신호 수신 필요**
 - 위성수 7개 이상 비행 바람직 (통상 8~10개 수신)
 - 5개 미만 수신시 비행모드가 GPS 모드에서 Atti Mode로 자동 전환 유의
 - **지형지물에 의한 위성신호 차단, 반사, 굴절로 오차 발생 가능 (철탑 인근)**
- (cf) 산악지대에서 산으로 둘러싸인 지형에 있는 철탑 좌표 측정 수시간 소요

작업환경 분석 : GPS

• 철탑 구조물로 인한 GPS 수신 간섭 경험사례

※ GPS Static Solution은 초고압 송전선로의 전자기장 영향을 받지 않으나, GPS Kinematic Solution(RTK)은 영향 받을 수 있음 (P. Gibbings, *etc.*, 2001; M. Rabah & A. El-Hattab, 2011)

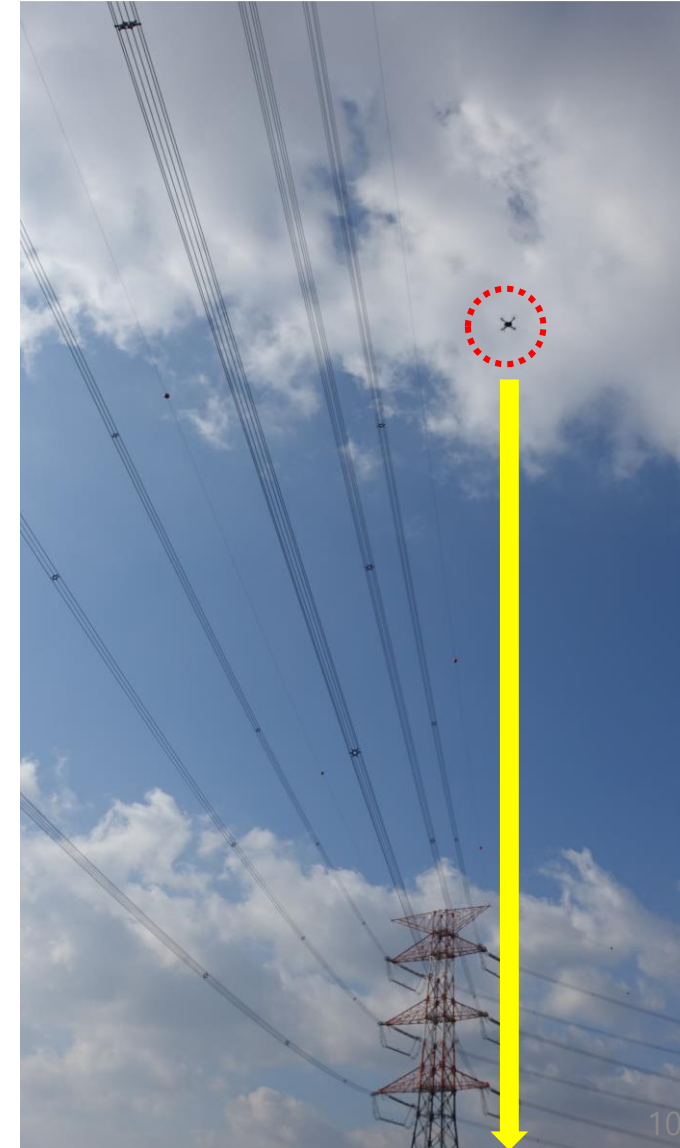
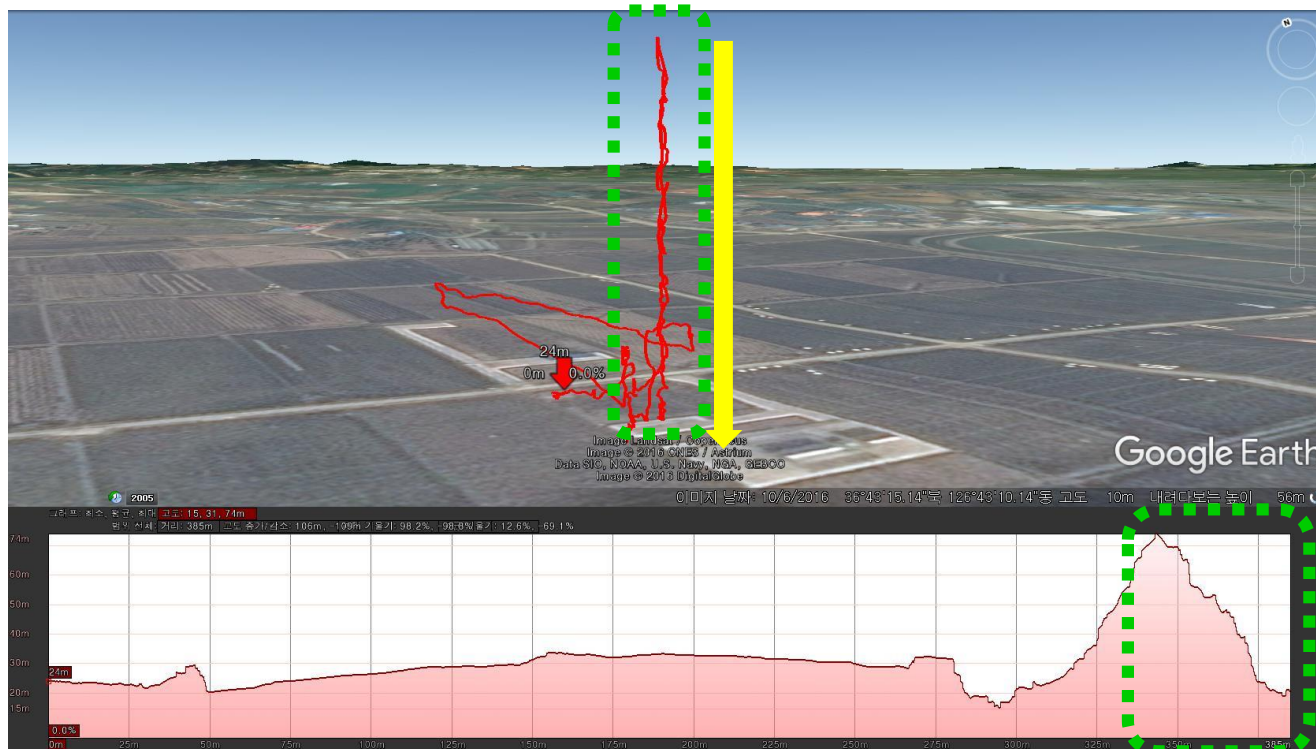


<GPS Loss시 수동조종 위험사례>

(cf) 한국도로공사 2016년도 교량점검 시범적용 결과 (출처 : 드론쇼코리아 2018)
교량하부 GPS 음영구간 안정적 비행곤란 ➡ 추락사고

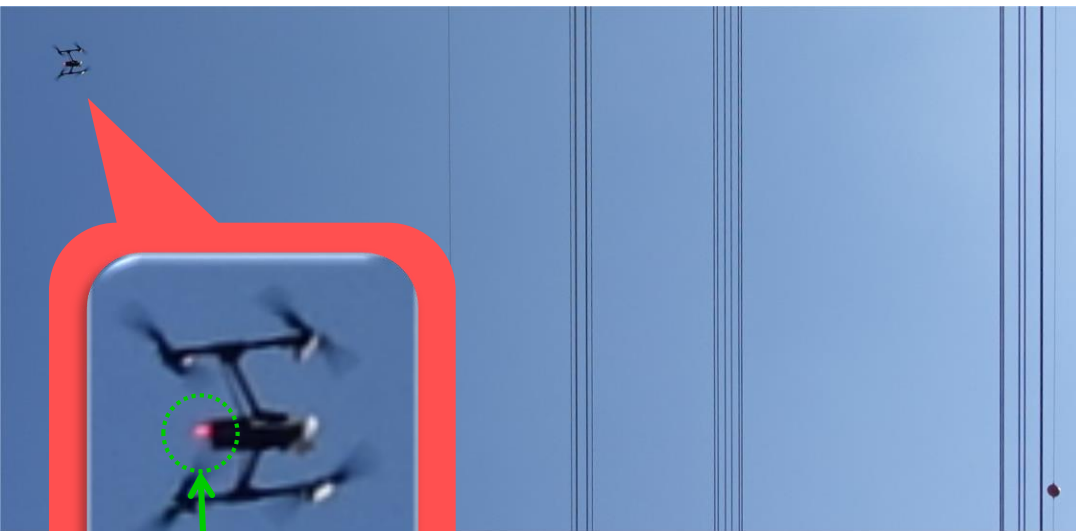
작업환경 분석 : EMI

- 사용 기체 : 자체 조립 드론
- 수행 내용
 - 수동조종으로 선로 중심 이격거리 이내 비행
 - 높은 고도에서 수직방향으로 내려오면서
자기장 세기 측정

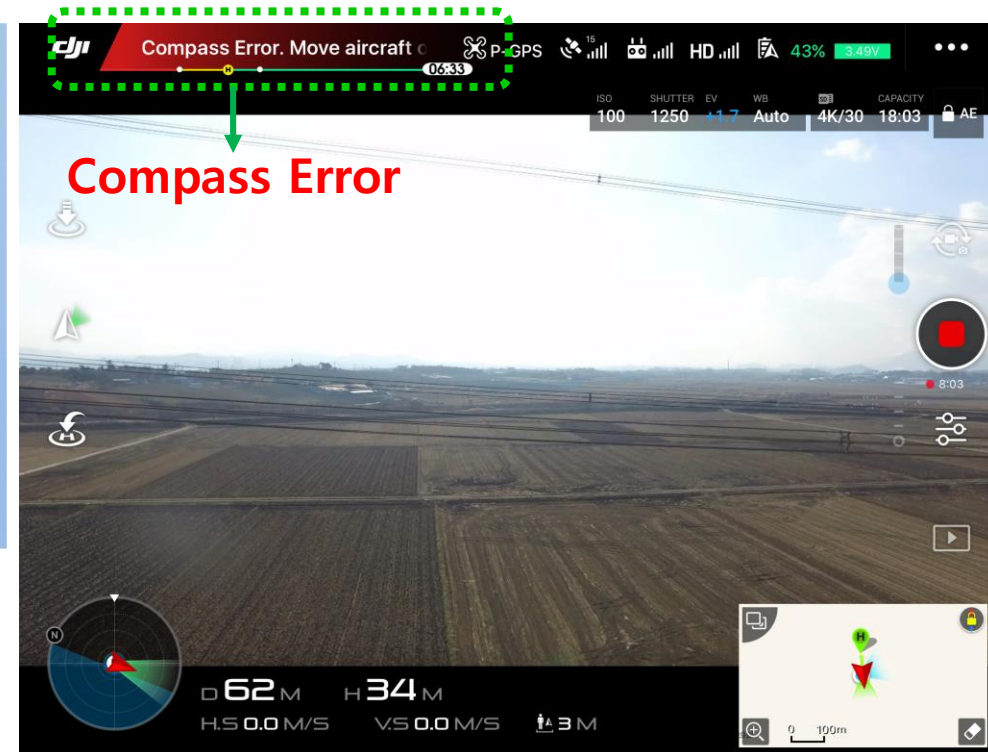


작업환경 분석 : EMI

- 초고압 자기장 간섭 ➡ 비행방향 센서 (지자기센서) 오동작 및 추락 가능
- 선로중심에서 345kV 15m, 765kV 30m 이내 비행시 자기장 간섭 확인

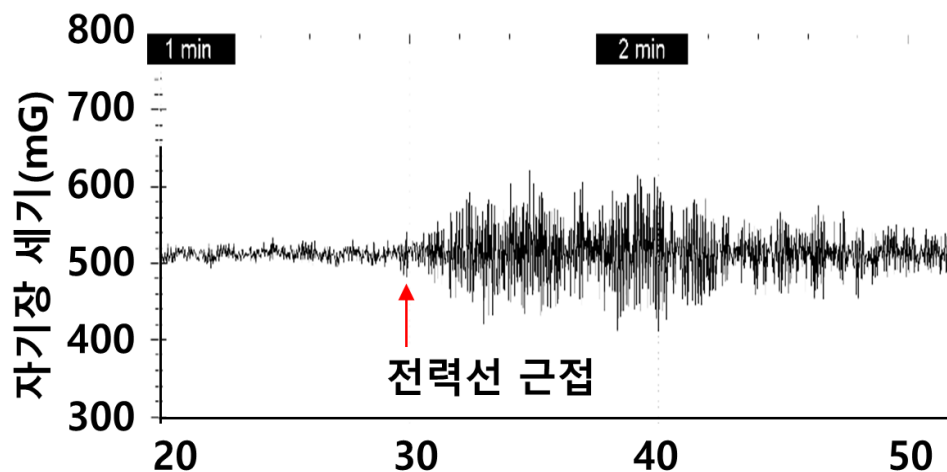


Red Light : Compass Error

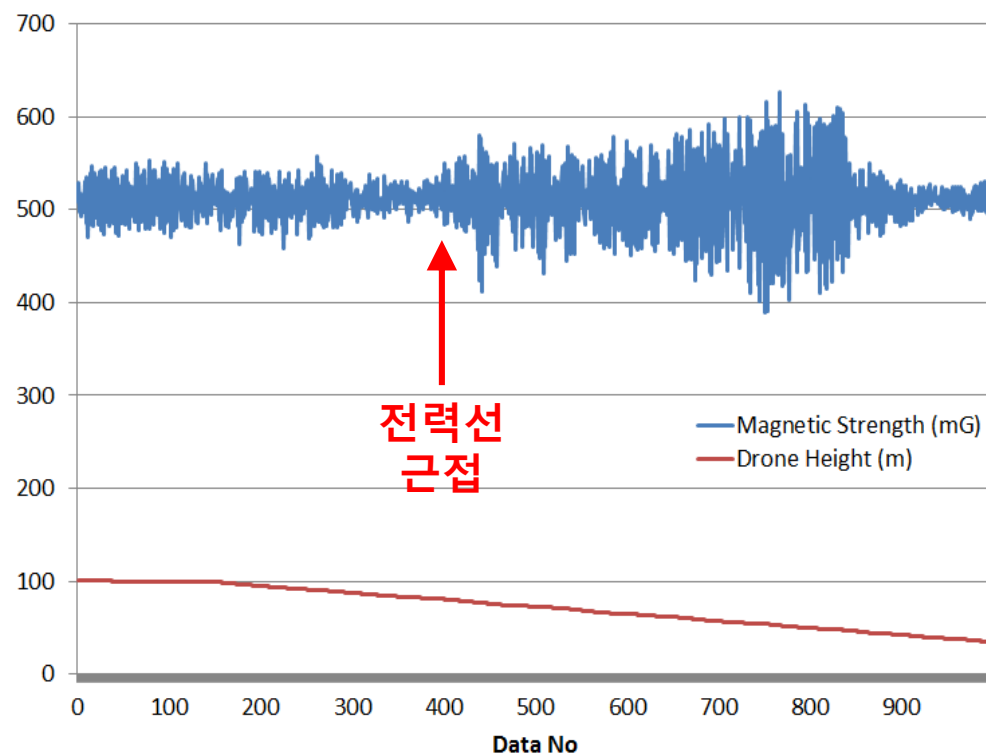


작업환경 분석 : EMI

- 측정결과 지구자기장 500mG 대비 **자기장 변화량 $\pm 20 \sim 25\%$ 발생**



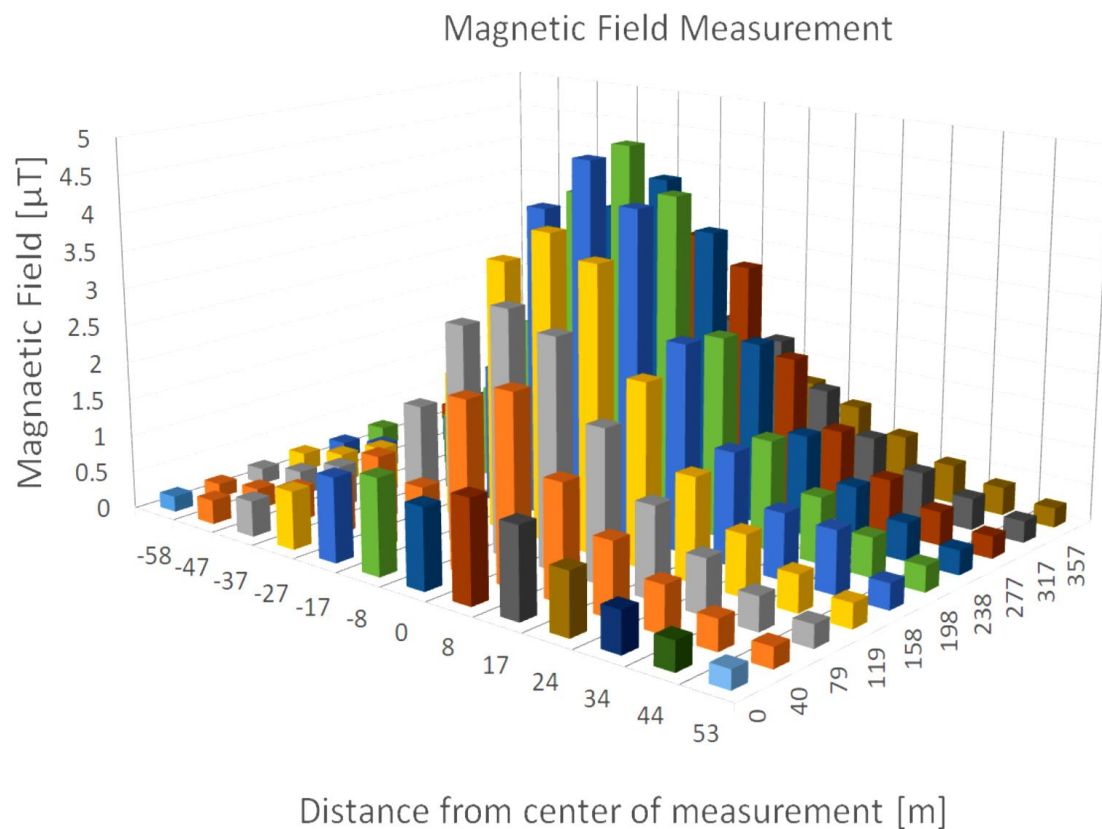
<345kV 선로>



<765kV 선로>

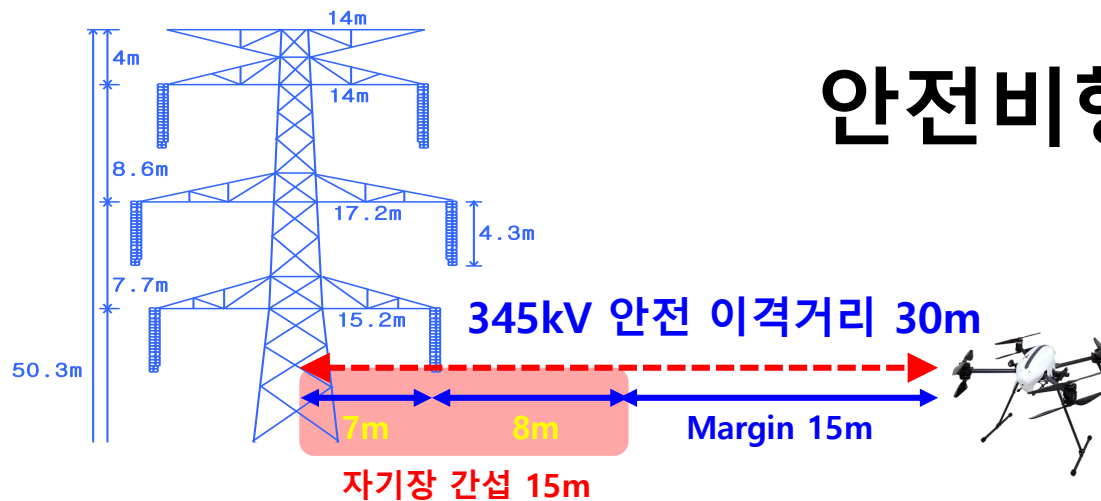
작업환경 분석 : EMI

- 380kV 송전선로에서 발생하는 자기장 세기 측정 사례

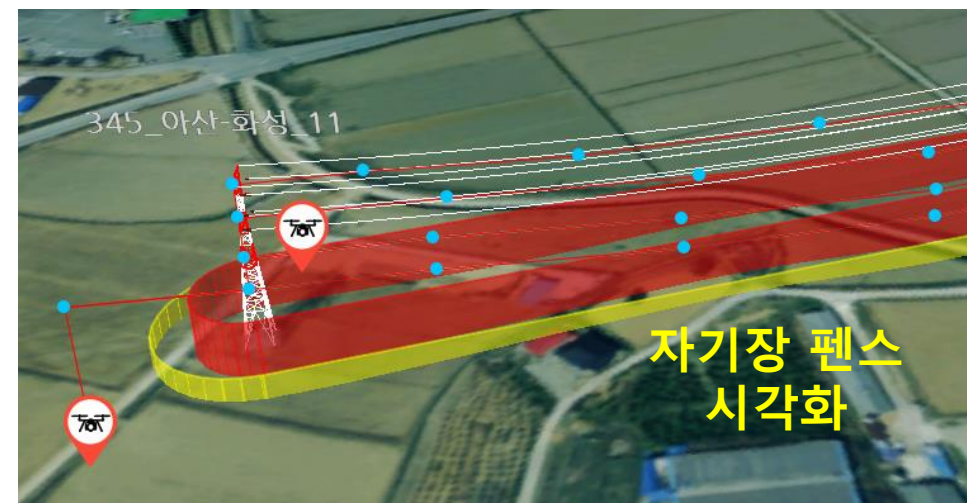


(데이터 출처) J. M. Bakhshwain, M. H. Shwehdi, U. M. Johar and A. A. AL-Naim, "Magnetic fields measurement and evaluation of EHV transmission lines in Saudi Arabia," *International Conference on Non-Ionizing Radiation at UNITEN (ICNIR 2003)*, 2003

안전비행 이격거리



특히, 저전압으로 인해 **갑작스러운 리턴홈** (자동비행) 기능 수행시에 이격거리 밖에 있도록 주의해야 함



송전선로 점검 드론 운용기술 개발

'16 세계최초 개발 '17 시범적용 (철탑 31기)
'18~ 사업소 직접 활용

⑤ 자율비행 드론
자동비행 점검



광학줌



열화상



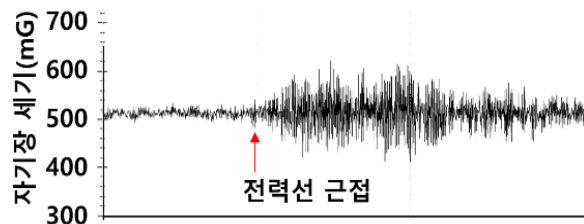
- ① 철탑 GPS 좌표 측정
- ↓
- ② 전선 높이 측정
- ↓
- ③ 비행경로 선정
- ↓
- ④ GCS 입력
- ↓
- ⑤ 송전선로 점검
- ↓
- ⑥ 취득영상 관리 및 분석

④ 드론 이용 점검 절차

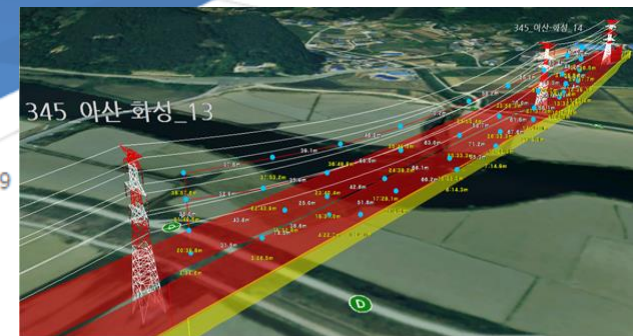
※ 작업환경 분석
• 자기장 영향 ⇒ 비행방향센서 오류
• 철탑 구조물 영향 ⇒ GPS 수신 오류

비행경로

② 고정밀 GPS
좌표측정기 개발
(철탑 구조물 간섭
극복 기술)



① 작업환경 분석 → 안전 이격거리 설정
30m (154/345kV), 45m (765kV)



③ 이기종 드론(FC A3 기반) 연계
지상제어시스템(GCS) 개발

순시점검 절차 : 비행경로점 좌표 선정

• GPS 좌표 측정기 이용

- 철탑 중심 및 이착륙지 좌표 측정
- 철골구조물에 의한 GPS 신호 간섭 보정 기능
- 태블릿용 앱과 연동하여 사용



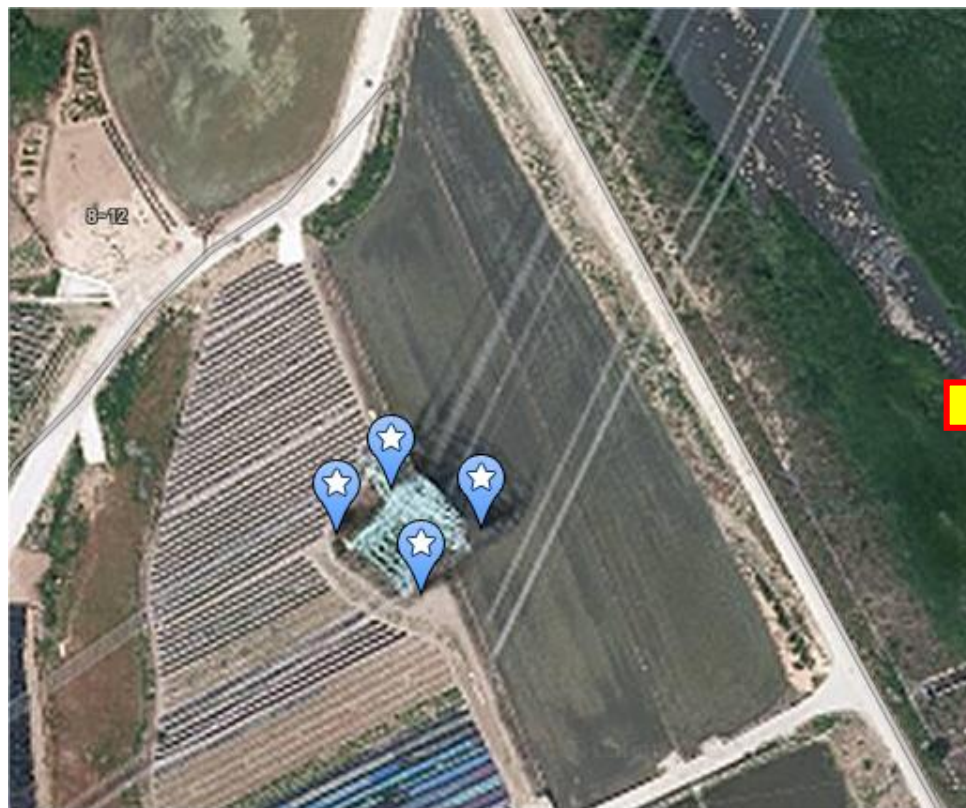
※ 비행경로점 = (x, y, z, θ)
 = (위도, 경도, 높이, 방향)



순시점검 절차 : 비행경로점 좌표 선정

- 철탑 GPS 좌표 결정

- 철탑 기초 주체부(네 모서리) 현장 실측 → 철탑 중심 GPS 좌표 계산
(중심 직접 측정시 철탑 구조물 간섭으로 정확도 현저히 저하)



순시점검 절차 : 비행경로점 좌표 선정

• 드론 촬영방향 결정

- 철탑 중심으로부터 30~45m(안전비행 이격거리) 떨어진 지점 계산
- 철탑 간 경간 거리, 각도 및 드론 촬영방향 계산



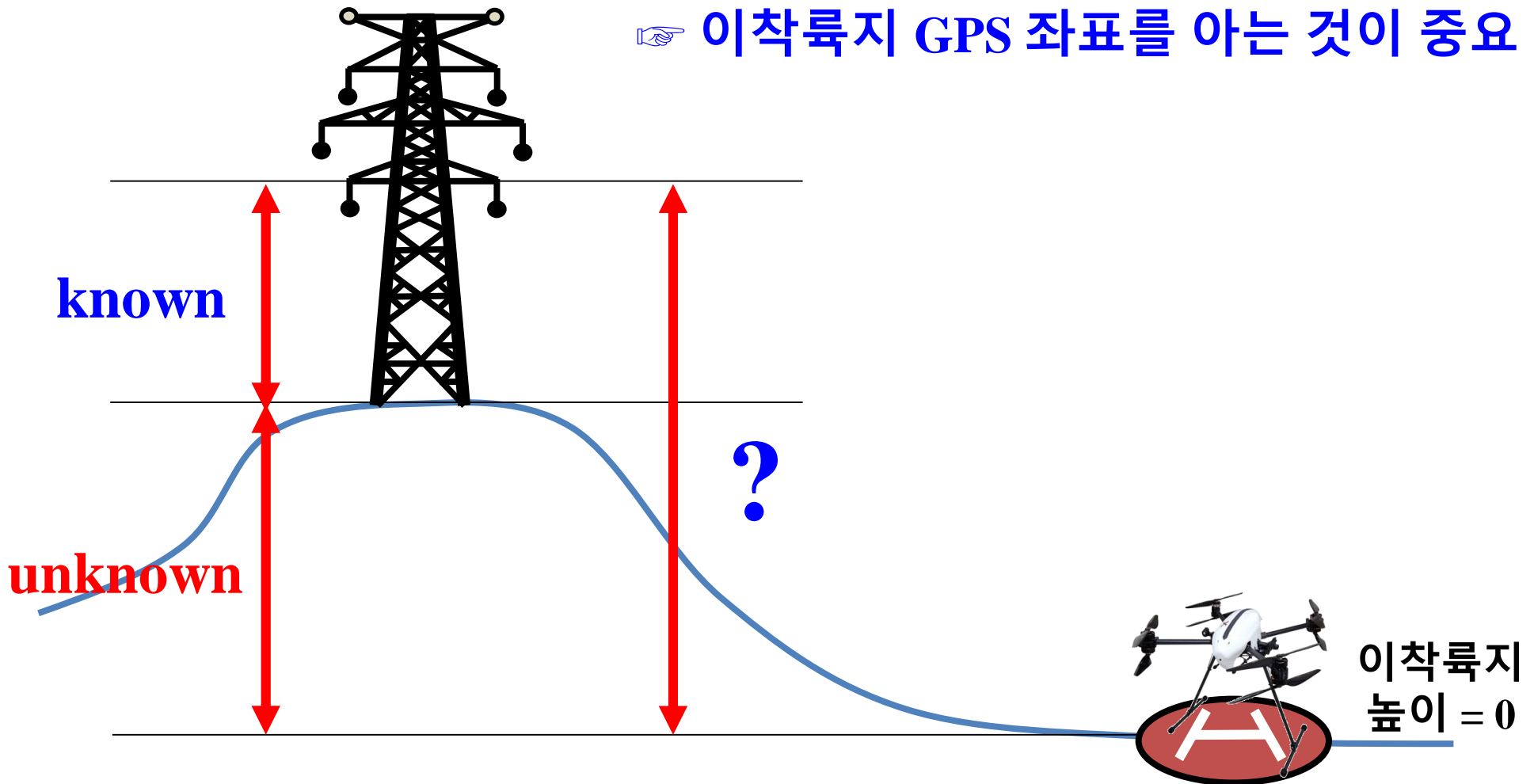
※ 비행경로점 =

(위도, 경도, 높이, 방향)
 x, y, z, θ

순시점검 절차 : 비행경로점 높이 선정

- 드론은 높이 측정에 기압계 이용  상대적인 높이만 측정 가능

 이착륙지 GPS 좌표를 아는 것이 중요



순시점검 절차 : 비행경로점 높이 선정

- 높이 측정용 드론 이용한 비행경로점 높이 측정
 - 시작점 • 끝점 위치에서 전력선, 가공지선 높이 측정



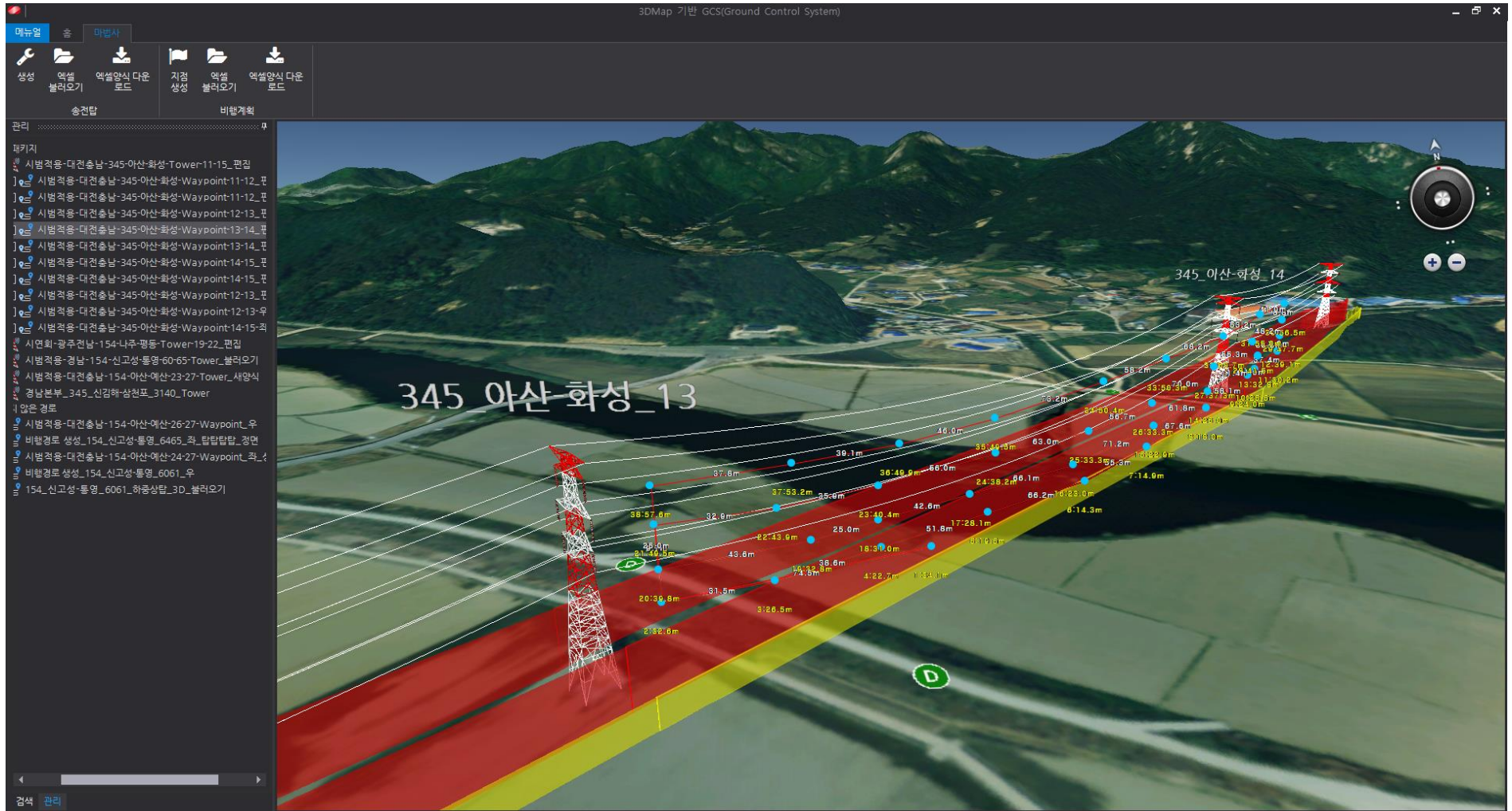
순시점검 절차 : 비행경로점 높이 선정

- 높이 측정용 드론 이용한 비행경로점 높이 측정
 - 중간 경로점(스페이스 댐퍼 위치) GPS 좌표 및 높이 측정



비행경로점 입력

- 비행경로점 최종 선정 및 GCS(Ground Control Station) 입력



자동비행 점검 수행

- 자율비행 드론 + 광학줌 카메라 + 열화상 카메라 + Ground Control Station

- 적정 풍속 : 5 m/s 이하
- 적정 비행속도
 - 154/345 kV : 2~3m/s
 - 765kV : 4m/s
- ☞ 영상 품질 확보요건

GCS 카메라 짐벌
담당 담당



현 장 적 용

Field Test of Automatic Patrol Inspection Drone System for Power Transmission Lines



검출 결함 사례

- SB 댐퍼 불량



검출 결함 사례

- 전력선 버드케이지



검출 결함 사례

- 새 둥지



검출 결함 사례

- 아마로드 취부 불량



검출 결함 사례

- 압축인류 클램프 시공 불량



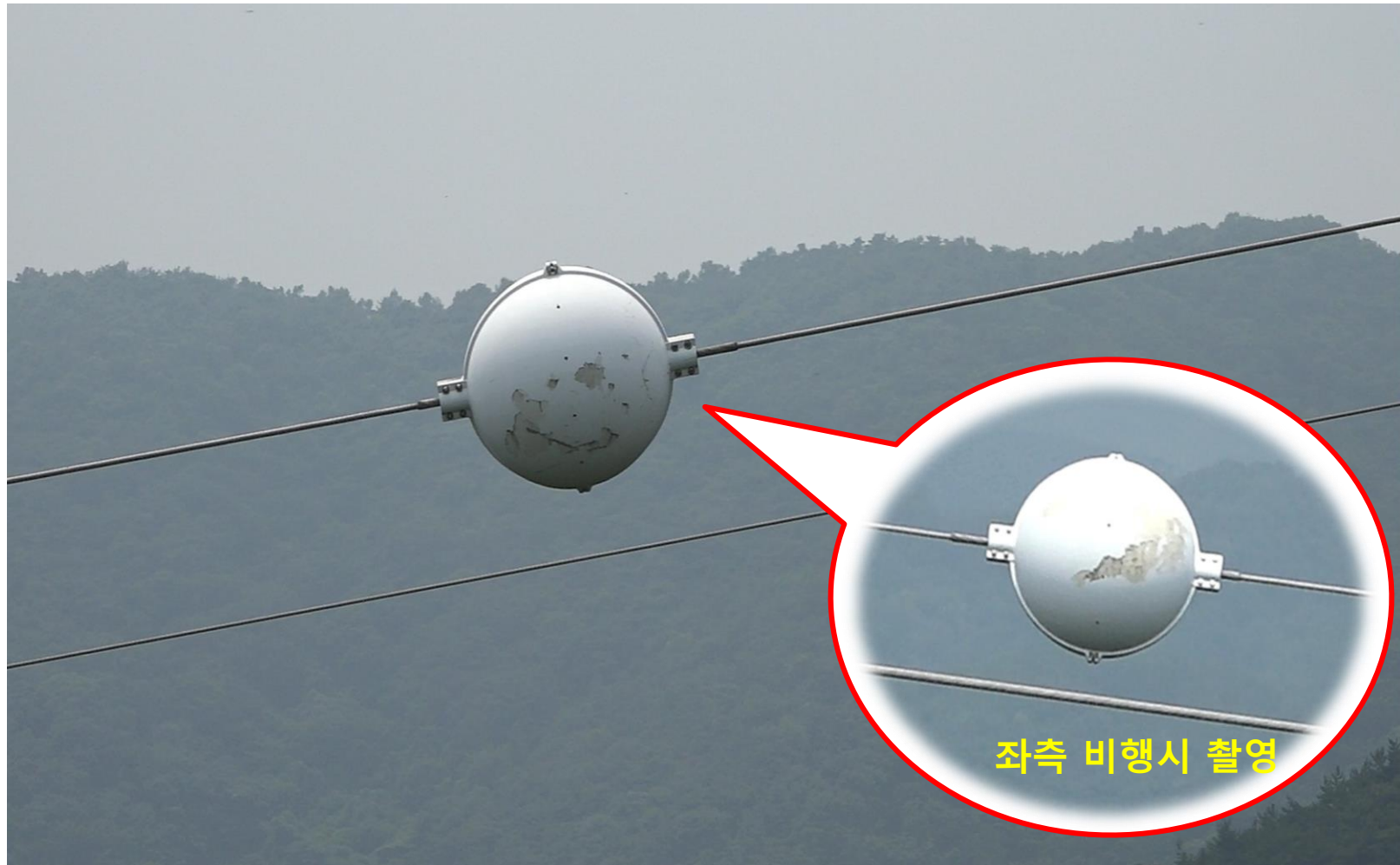
검출 결함 사례

- 압축슬리브 부품



검출 결함 사례

- 항공장애표시구 탈색



GCS 이기종(異機種) 연계 성능

- 현재까지 총 9종 연계 활용 (DJI A3 FC 기반)

시범적용 ('17.06~07)



中 DJI M600



올인게이지 M8



엑스드론 X8U



'19 DMI Hydrogen
Fuel Cell-Equipped Drone



中 DJI 매빅 프로,
인스파이어, M210

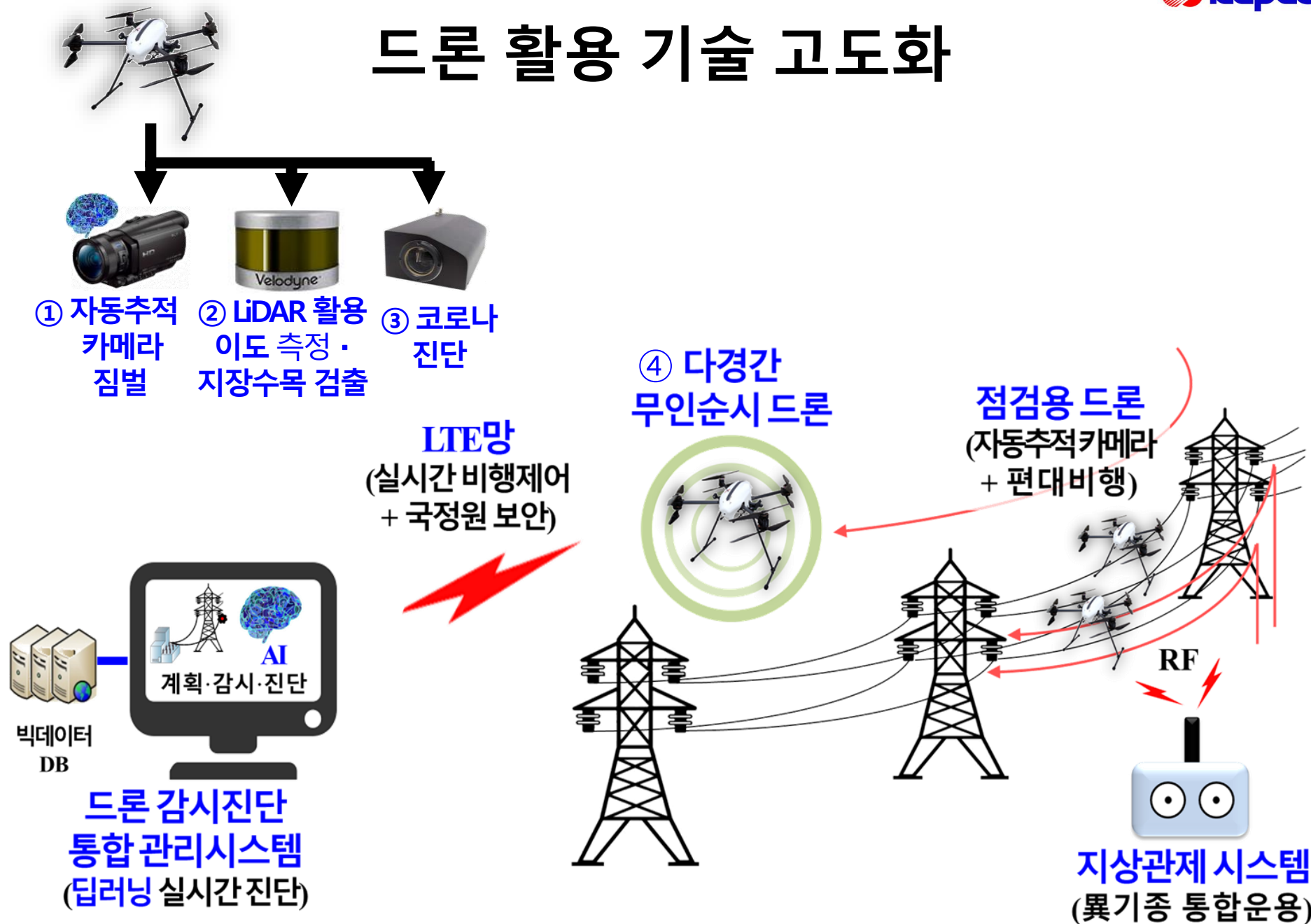


올인게이지 M6
(광주전남지역본부 활용, '18.03~10)



위메이크드론 WMD-1200
(경남지역본부 활용, '18.12)

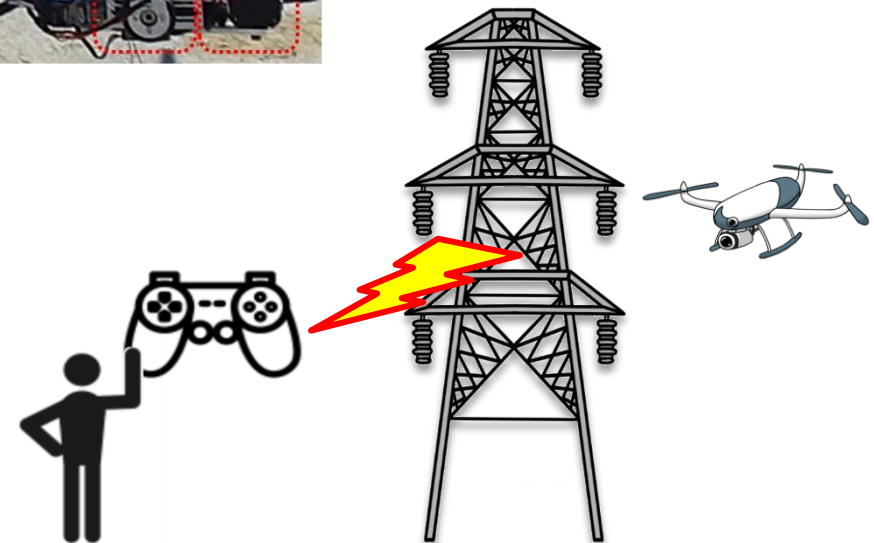
드론 활용 기술 고도화



자동추적 카메라짐벌 필요성

- 드론은 자동비행, 영상 촬영 카메라 짐벌은 원격 수동조종
- **첼탑 인근 근접시 카메라 짐벌 조종이 잘 되지 않는 경우 발생**

👉 AI-based Camera Gimbal System



인공지능 적용

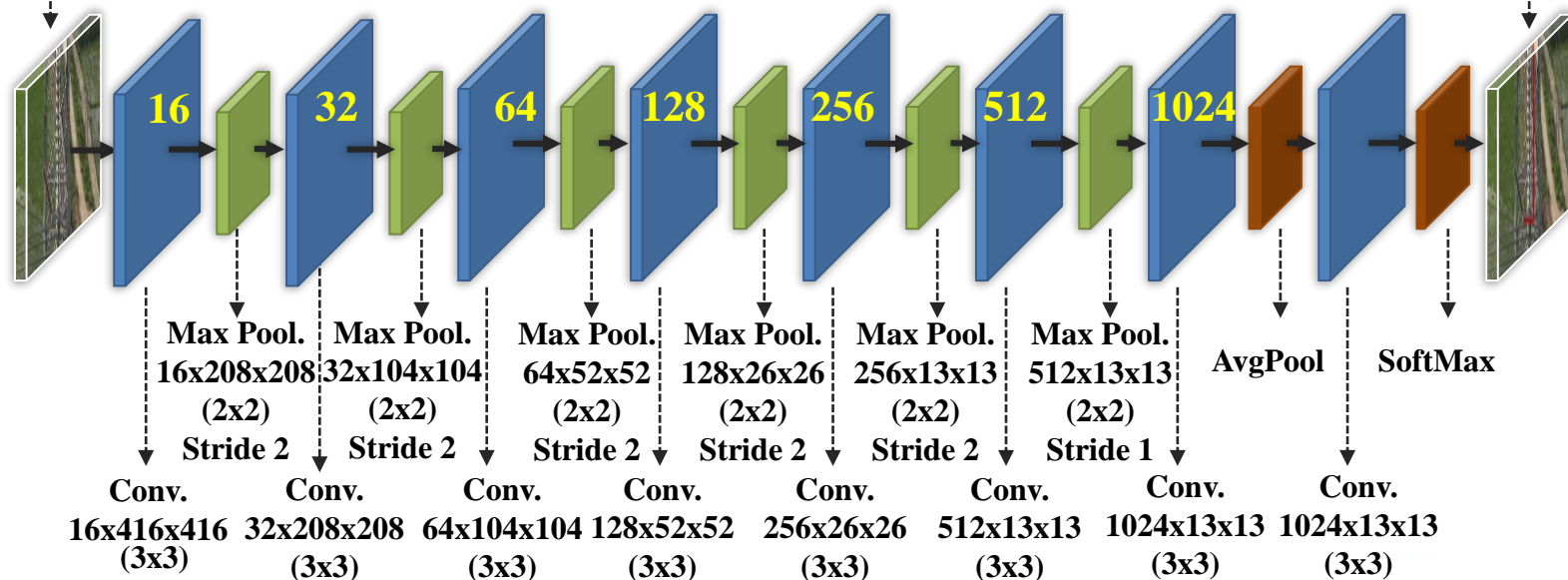
신경망 구조 설계



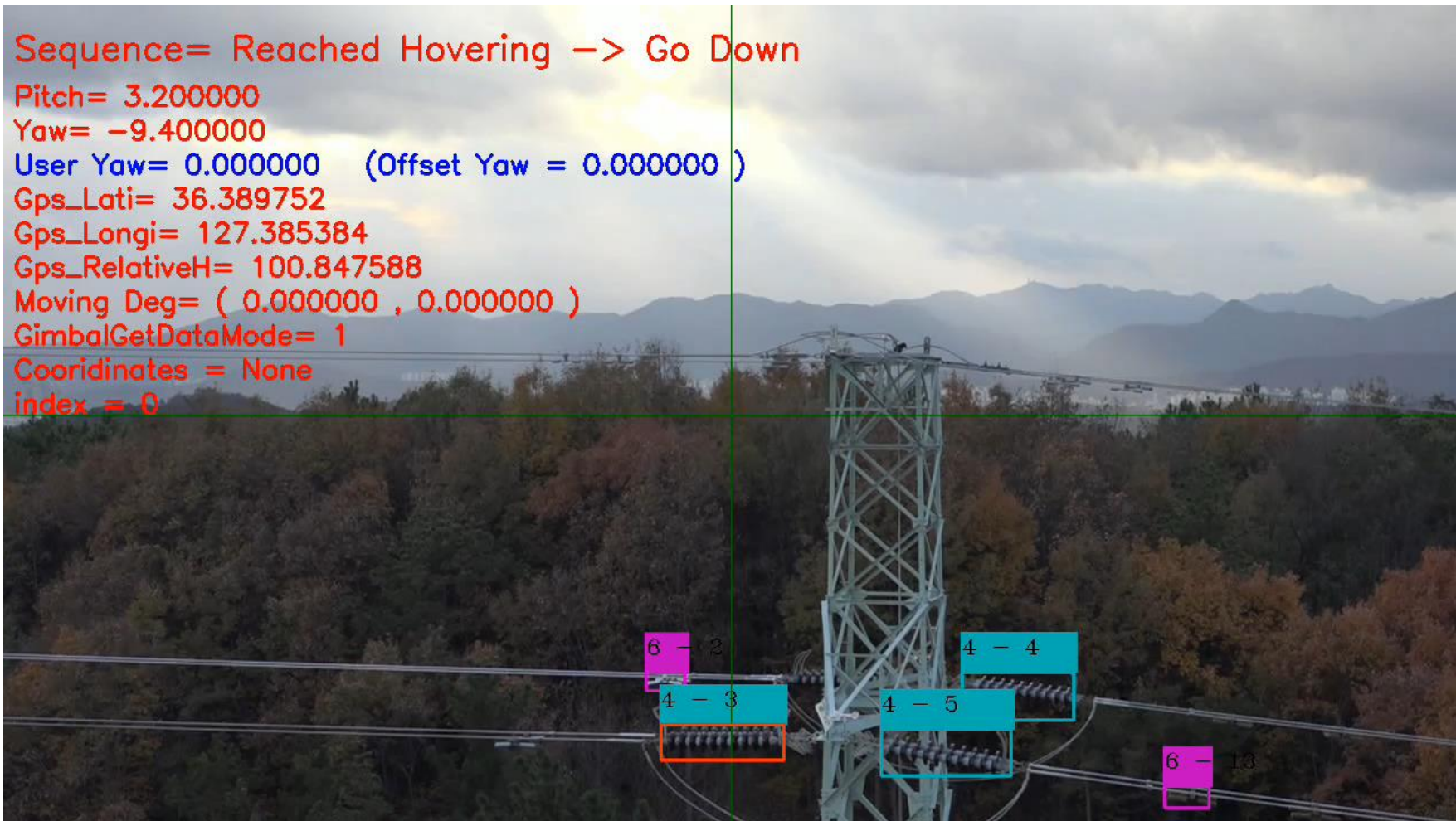
애자런



Input Layer
3x416x416



자동추적 카메라짐벌 현장시험



- ◆ 개발된 기술은 딥러닝 활용 촬영영상 자동진단 알고리즘 개발에 활용

3D 라이다 드론

- 3D LiDAR 장착 드론

- LiDAR(레이저 레이다) : Velodyne V-16
- 활용목적 : 송전선 이도 측정, 지장수목 검출



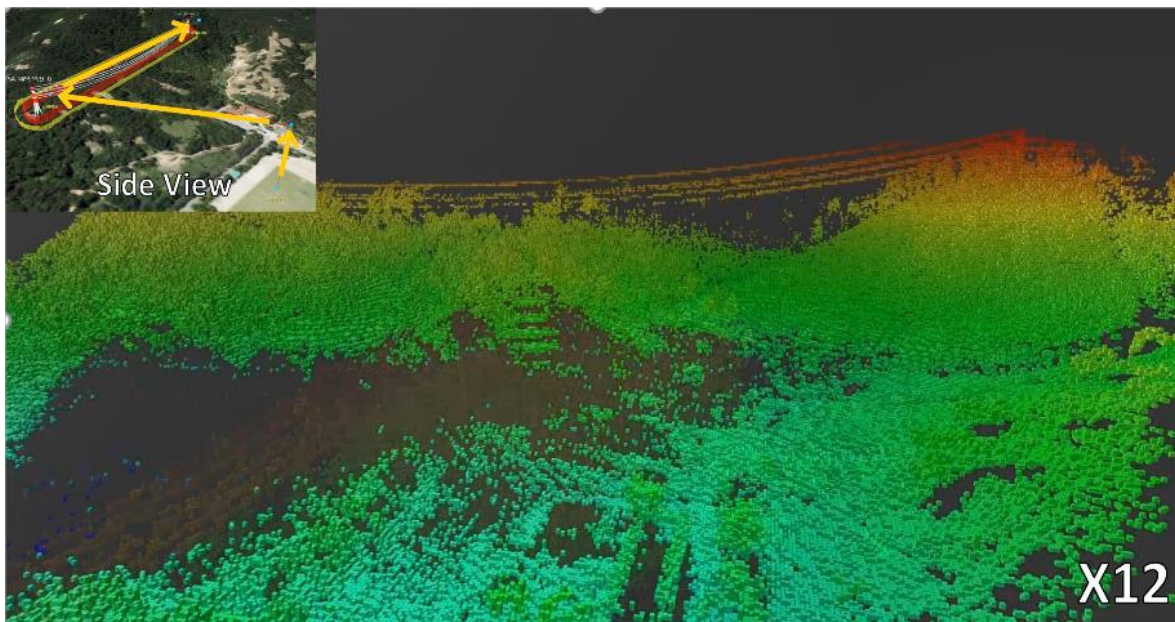
전압 (kV)	수목 이격거리 (m)	건조물 이격거리 (m)
154	3.2	4.8
345	5.48	7.65
765	10.52	14.4

이도 측정

• 이도 측정데이터 검증

- 154kV 대덕-덕진 T/L 6~7호
- Nova MS60으로 비교 검증

(지상측정기 측정범위 500, 1,000m로 제한적)

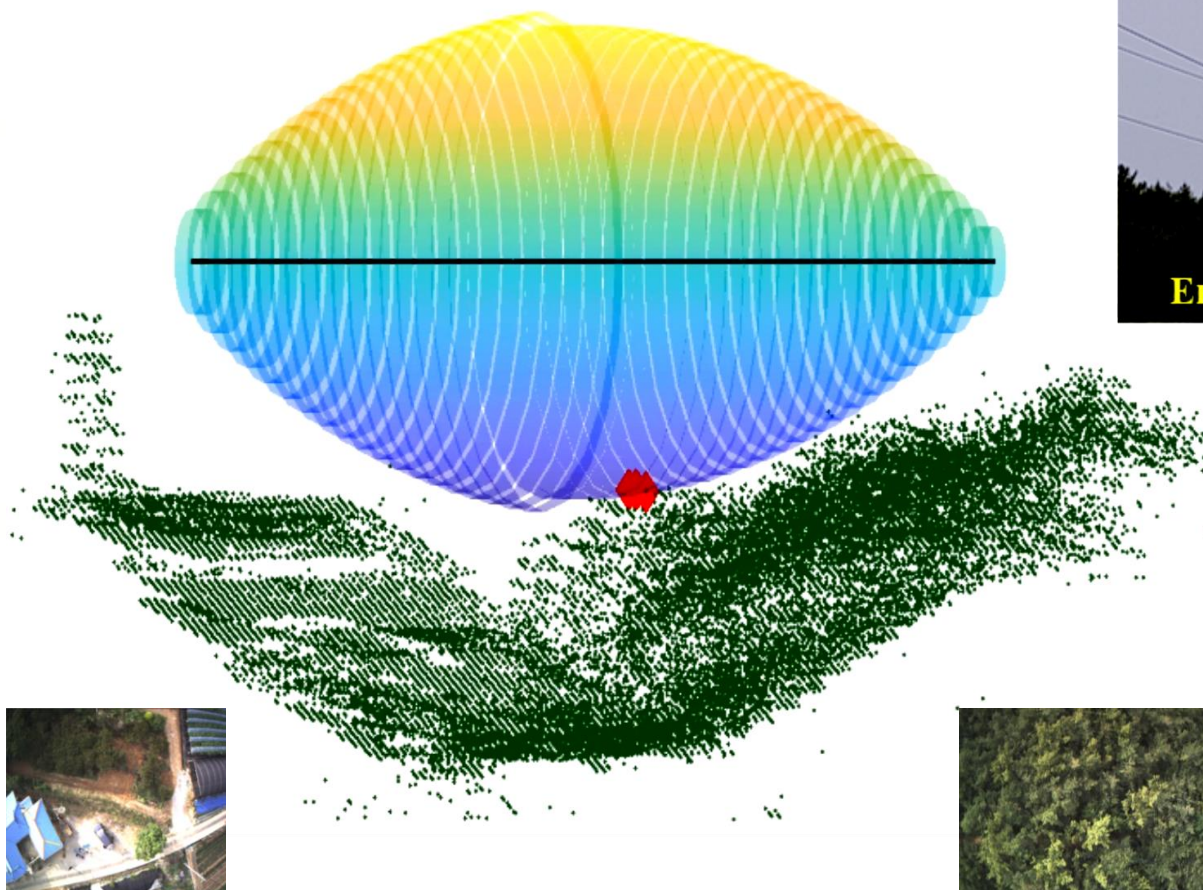
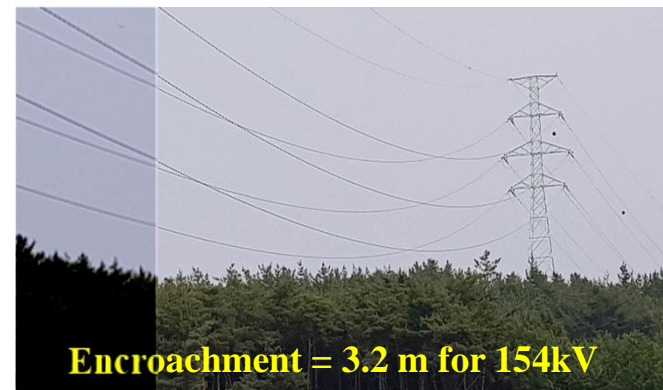


TL #	Sag			Span distance		
	Nova [m]	Drone [m]	Diff. [m]	Nova [m]	Drone [m]	Diff. [m]
上	18.58	18.34	0.19	459.31	460.22	0.92
中	17.53	17.41	0.12	459.15	460.22	1.08
下	17.57	17.48	0.16	459.25	460.22	0.97

지장수목 검출

• 지장수목 검출 알고리즘 (전력선 횡진 고려)

– 검출된 지장수목에 대해 벌채작업 시행



침해 개소	이격거리 [m]
P1	2.79
P2	3.01
P3	3.74 (5.7° 횡진시 2.83 m)
P4	5.28 (9.8° 횡진시 3.19 m)

코로나 진단 드론

주간 코로나진단

- Corona Camera : OFIL Rompack
- 진단기준 : 코로나 5,000회/분 이상 발생시 불량개소로 판정

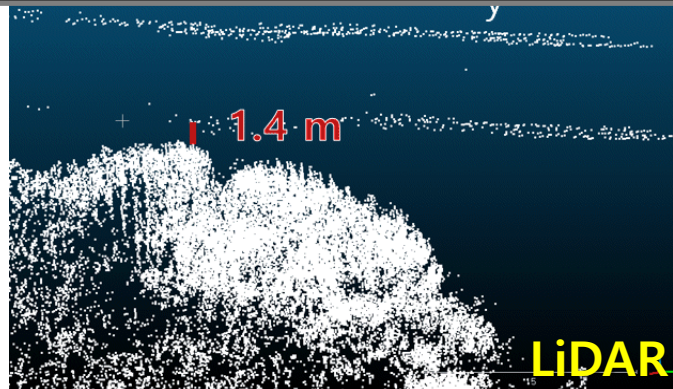
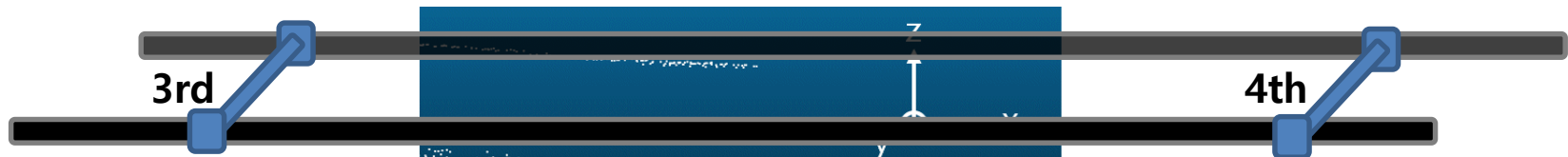


Channel	UV	Visible
Image sensor	Sony 1/2" EIA	1/4" Super HAD CCD
Picture element	768(H) X 494(V)	
Lens	F=100mm, f/2.4	10x zoom, f 4.2 to 42 [mm]
Angle of view (h x v)	8° x 6°	
Zoom	10 Optical X 12 Digital	

코로나 진단 드론

코로나 소음 민원발생개소 드론점검 기술지원

- 주간 코로나진단 결과 지장수목 벌채작업 필요



장거리 무인순시드론

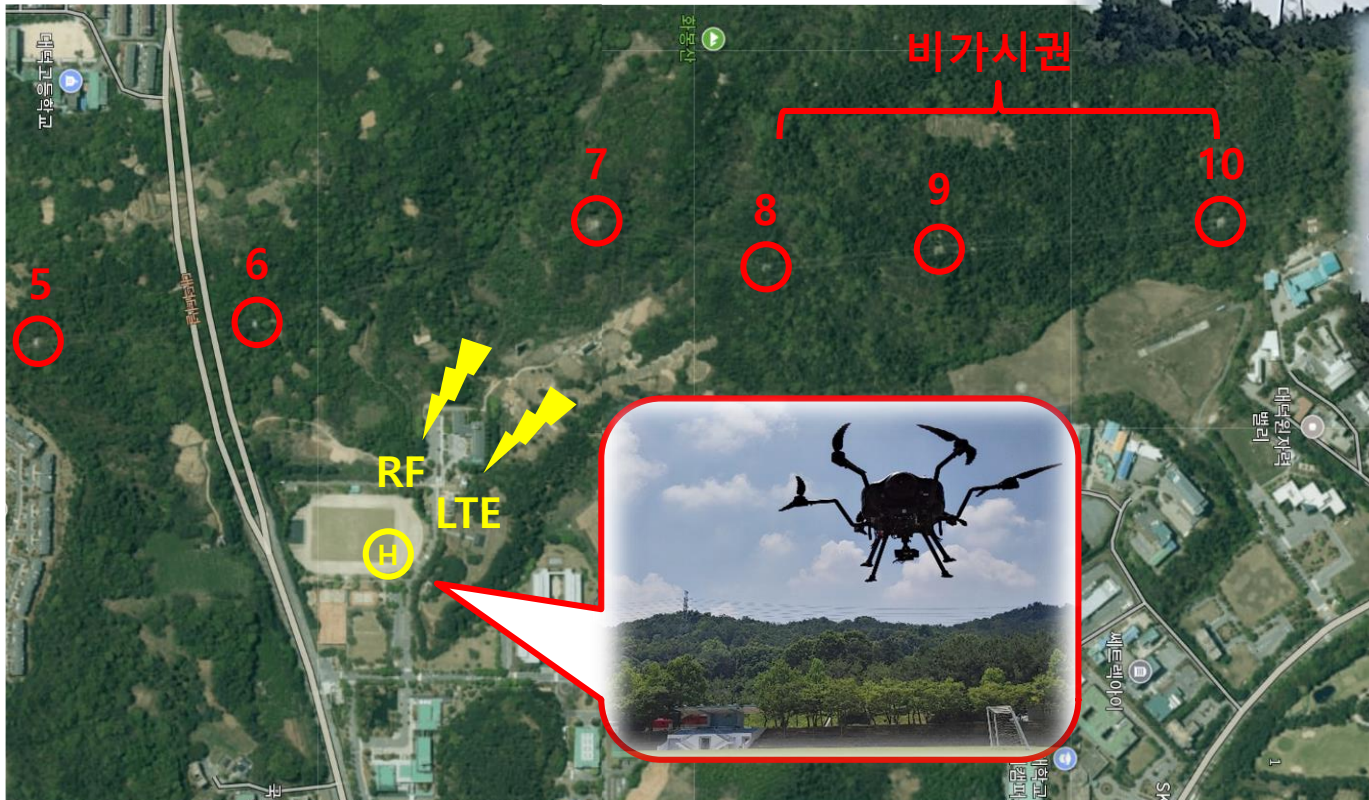
- 가시권 밖 비행드론 무인순시 운영기술 개발中
 - 수소연료전지(두산 DMI) + LTE통신 ➡ 비행시간(2h)·통신거리 제약 극복
 - 국토부 무인비행장치 가시권 밖 비행 특별비행 승인 취득 예정(실사 8.21 완료)



Filmed by Autopilot Formation Flight

가시권 밖 비행 현장시험

- 비가시권 8~10호 철탑 순시점검 수행
 - LTE / RF 통신 이중화로 운영 안전성 향상
 - LTE 통신 통한 드론 및 카메라짐벌 제어 성공



감사합니다

