

# 외부요인이 안티드론 재밍에 미치는 영향 연구

## A Study on the Influence of External Factors on Anti-Drone Jamming

김형주\* · 김범모\*\*

### 차 례

- |                     |           |
|---------------------|-----------|
| I. 서론               | IV. 실증 분석 |
| II. 이론적 배경          | V. 결론     |
| III. 연구 모형 및 가설의 설정 |           |

### ● 국문요약 ●

본 연구는 악의적 드론 재밍 성공률을 93%에서 98%로 보고한 김형주 외(2018)의 경찰 임무용 안티드론 실증연구의 후속연구이다. 그러므로 2%에서 7%의 안티드론 재밍 실패 요인을 외부요인 중심으로 탐색하여, 각각의 외부요인이 안티드론 재밍에 미치는 영향의 분석으로 안티드론 성능개선 및 운용실무 등에 정보를 제공하는데 목적을 두고 있다.

연구방법은 외부요인(풍속, 운량, 습도)의 준거기준을 마련하고, T검정으로 한다.

분석결과, 모델별, 모드별 안티드론 재밍 성공 평균이 풍속 8% 이상인 날보다 이하인 날이 작게는 0.04, 많게는 0.129 높았으며, 운량 3.5 이하인 날보다 이상인 날이 작게는 0.02, 많게는 0.218 높게 나타났고, 습도

65% 이하인 날보다 이상인 날이 작게는 0.03, 많게는 0.243 높게 나타났다. 그리고 실제 모평균이 있을 가능성을 95%로 추정한 신뢰구간에서도 모델별, 모드별 안티드론 재밍 성공이 풍속 8% 이상인 날보다 이하인 날이 작게는 -0.2144, 많게는 0.007 높았으며, 운량 3.5 이하인 날보다 이상인 날이 작게는 0.003, 많게는 0.2732 높게 나타났고, 습도 65% 이하인 날보다 이상인 날이 작게는 0.003, 많게는 0.3161 높게 나타났다.

이처럼 외부요인(풍속, 운량, 습도)은 평균 및 95% 신뢰구간에서 모두 안티드론 재밍에 영향을 미쳤으며, 풍속에는 반비례의 관계로 운량, 습도에는 비례의 관계를 가진다 할 수 있다.

◆ 주제어 : 안티드론, 드론, 악의적 드론, 항재밍, 무인기, 풍속

\* 단국대학교 공학혁신교육센터 교수, 제1저자.

\*\* (사)한국드론비즈포럼 객원연구원, 공동저자.

## I. 서론

드론 조종기와 안티드론은 악의적 드론 제어권을 다툼으로 창과 방패로 비유되고 있다. 이와 같은 안티드론은 재밍(jamming) 이외에도 샷건(shotgun), 그물포획, 맵금류 이용 등이 있으나,<sup>1)</sup> 이들의 활용은 사회문제를 야기할 가능성이 높아 경찰임무용으로 활용에는 한계가 있다.

경찰임무용 안티드론 연구는 빠른 속도와 저공비행, 신속한 방향 전환, 손쉬운 조종, 머리 위 비행, 레이더에 포착되지 않는 “창”의 기능 무력화에 초점을 두어야 하며, 특히 “사람이 현존하는 항공기, 경량항공기 또는 초경량비행장치 등을 항행 중 추락 또는 전복, 파괴하면 사형, 무기징역 또는 5년 이상의 징역”<sup>2)</sup>으로 엄격히 규정하고 있는 현행 법·규정 집행을 위한 비행정지, 체포, 수사, 증거수집 등에 초점을 두어야 한다. 그러므로 본 연구에서는 안티드론을 경찰임무에 활용을 목표로 다양한 외부요인을 고려하면서 실증데이터 중심으로 분석하였다.

### 1. 연구의 필요성

본 연구가 진행되는 동안 2018. 8. 4. 니콜라스 마두로 베네수엘라 대통령은 국가 행사장에서 악의적 드론으로 부터 테러 공격을 받았으며, 영국 개트윅 및 히드로 공항은 2018. 12. 19.과 2019. 1. 8. 두 차례 정체불명의 드론 출현으로 36시간 동안 항공기 이착륙 전면 중단이

1) 김형주·이상원, “경찰 예방임무용 Anti Drone 활용 방안에 관한 연구” 한국치안행정논집, 제15권 제3호, 한국치안행정학회, 2018, 99-101쪽.

2) 「항공안전법」 제138조.

라는 혼란을 겪었다.<sup>3)</sup> 이 같은 테러에 이용된 드론이 취미용 드론임이 알려지면서 전 세계는 놀랐으며, 테러에 이용된 드론에 대하여 아직도 아무런 정보를 알지 못함에 전 세계는 다시 한 번 놀랐다. 이와 같은 사건들은 취미용 드론으로도 범죄나 테러를 일으킬 수 있음을 보여주고 있으므로, 안티드론 연구는 이 같은 문제에 대응을 목표로 하여야 한다.

## 2. 연구의 목적

본 연구는 불법드론 식별·인식 다음단계 연구인 대응 연구로 악의적 드론으로부터 국민의 귀중한 생명과 재산을 지키는 방안의 제시에 목표를 두고 있다. 그러므로 본 연구에 초점은 최근 해외에서 발생한 드론 테러 관련 보도를 접한 국민들이 드론 비행을 위험, 위협으로 인식하지 않도록 함과 동시에 관련 연구자들과 함께 그 대응 방안 논의에 목표를 두고 있다. 따라서 본 연구는 김형주 외(2018)<sup>4)</sup> 안티드론 실증연구에서 2%에서 7%의 재밍 실패 요인분석을 외부요인(풍속, 운량, 습도) 중심으로 접근하여 탐색함으로써, 자연환경의 열악함을 엄폐(掩蔽), 은폐(隱蔽) 요인으로 오판하는 범죄예방에 기여하고자 한다.

그러므로 본 연구는 외부요인이 안티드론 재밍에 미치는 영향을 실증 데이터 중심의 분석으로 풍속, 운량, 습도와 같은 외부요인이 안티드론 재밍에 미치는 영향을 설명함으로써, 안티드론 성능개선 및 운용실무에 정보 제공을 목적으로 함과 동시에 현재 추격형 기술로 평가 받고 있는 국내 불법드론 식별·인식 연구에 모멘텀이 되고자 한다.

3) YTN news, 2018. 12. 22.

4) 김형주 외, “경찰업무용 안티드론 실증 연구”, 치안정책연구소, 제32권 제2호, 2018.

## II. 이론적 배경

가까운 미래에 드론 활용이 보편화되면, 하늘을 나는 악의적 드론 개체 또한 증가 할 것이므로, 그 대응 연구시기를 놓치면, 불법드론(악의적 드론) 및 해킹 등의 증가에 대응이 어려울 수 있다. 악의적 드론은 사생활 침해, 개인정보 침해, 비행 불허 지역 침범, 마약 운반, 테러, 산업정보 스파이 행위 등을 목표로 비행하므로, 자연환경의 열악함을 엄폐, 은폐 요인으로 오판한 범죄예방을 위하여, 외부요인과 안티드론 재밍 관련성을 전파이론과 안티드론 운용 중심으로 논의하고자 한다.

### 1. 외부 요인과 안티드론 재밍

드론 비행 및 안티드론 운용은 자연에서 이루어지므로 풍속, 운량, 습도 등 외부환경의 고려가 중요 하므로 본 절에서는 풍속, 운량, 습도와 비행안전, 그리고 재밍 전파 관련 이론 중심으로 접근하였다.

#### 1) 드론 비행과 풍속

드론 비행에서 비행안전과 바람의 관련성에 대해 우리는 잘 알고 있다. 때문에 비행전 점검에 풍속측정을 규정하고 있다. 이와 같은 바람의 생성은 데워진 공기가 상승한 빈 공간에 무거워진 공기가 내려와 메우려는 과정에 일어나거나, 고기압에서 저기압으로 기류 이동에 의해 일어나므로, 드론 비행안전에 영향을 미치는 외부요인이라 할 수 있다.

따라서 드론의 안전비행을 위해 풍향과 풍속의 점검을 규정(권고 풍

속 기준은 6~10%(이하)하고 있으며, 만약 권고기준 이상이면 비행을 중지하여야 한다. 하지만 본 연구에서는 풍속에 따른 비행안전성과 안티드론 재밍 관련성 검정을 위하여 최대 12% 풍속 까지 비행하였다.

우리나라 상공에는 저기압이 발달해 있고 일본과 중국 상공에는 우리나라에 비해 고기압이 발달해 있다. 이는 중국과 일본에서 우리나라를 향해 바람이 불어오고 있음을 의미한다. 이와 같은 풍향은 고정익 드론 비행에 영향을 미치므로 비행전 점검에서 꼭 확인하여야 할 사항이다.<sup>5)</sup>

## 2) 드론 비행과 습도

본 실증은 주변이 초지로 둘러싸인 개활지에서 준비함으로써<sup>6)</sup>, IT, 무선 통신 등 생활전자파노이즈를 통제하였다. 전파의 전파전파(radio wave propagation)와 습도 간의 관련성은 전파가 다른 매질을 통과할 때 반사, 굴절, 흡수, 회절 등의 현상과 함께 수신점에 도달하기 때문이며, 습도(공기중 작은 물방울 입자)를 전파의 전파전파에 장애 요인으로 볼 수 있다.<sup>7)</sup> 그러므로 본 절에서는 공기 중의 습도와 전파의 직진, 반사, 굴절 현상에 대해 살펴보고자 Snell 법칙에 대해 논의한다.

전파는 <그림 1>처럼 다른 매질을 통과 할 때 두 매질 경계면(영점)에 굴절률  $n_1$ ,  $n_2$ 와 함께, 입사각  $\theta$ , 굴절각  $\Phi$ , 반사각  $\theta$  등의 현상을 동반하면서 수신점에 도달한다. 그러므로 습도가 높아짐은 공기 중 작은 물방울 입자가 많아짐을 의미하므로 반사와 굴절의 증가를 의미하

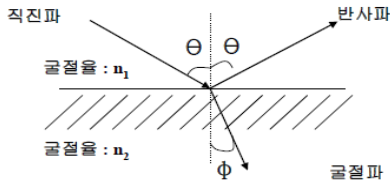
5) 고정익 드론은 이륙 시 맞바람을 받으므로, 풍향의 확인이 중요하다.

6) 김형주 외, 앞의 논문, 84쪽.

7) 전파가 동일 매질 속으로 전파될 때는 직진성을 가지며, 주파수가 높을수록 직진성은 강해진다. 반면 비 또는 안개 낀 날에는 물방울과 수증기 등에 의해 전파가 흡수되기 쉬우므로 원거리 전파가 어렵다. 「전파법」 제2조, 3,000GHz 이하의 주파수를 가지는 전자파를 전파로 정의.

로 전파가 수신점에 도달하는데 영향을 미치는 요인이 된다.

〈그림 1〉 전파의 직진, 반사, 굴절



예컨대 동일한 주파수가 등 간격으로 동시에 2곳에서 마주보고 발사된다고 가정하면, 중간지점에 동시에 도달한 전파의 주파수가 동위상이면 합성 되고, 역위상이면 상쇄될 것이다. 이 같은 현상은 시간차 혹은 반사되는 주파수에 의해 나타나지만, 근접한 채널에 의해 나타나기도 하므로, 실증을 개활지에서 준비하였다.

개활지에서 실증을 준비한 또 다른 이유는 공간을 이동하는 전파가 z 방향에서만 변하는 1차원적이고, 시간에 관한 정현함수라고 가정하면, 전계(E)는 z와 t의 함수이므로 E(z, t)로 나타낼 수 있을 것이다.

$$E(z, t) = \text{Re}[E(z)e^{j\omega t}] \Rightarrow e^{j\omega t}$$

이를 파동방정식에 대입하면,

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} - \mu\epsilon\frac{\partial^2}{\partial t^2}\right)E(z, t) = \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} + \omega^2\mu\epsilon\right)E(z) = 0$$

상기 식의 일반해를 다음과 같이 정리할 수 있으므로,

$$E(z) = E_0 e^{\pm jkz}, E_0 = |E_0| e^{j\phi}, k = \omega\sqrt{\mu\epsilon}$$

상기 식에서 t=0 에서  $\phi=0$  라고 가정하면,

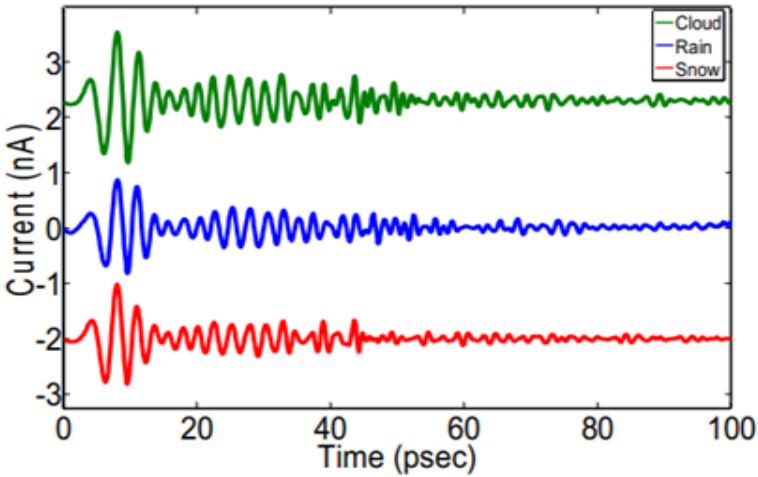
$$E(z, t) = \text{Re}(E_0 e^{j\omega t} \cdot e^{\pm jkz}) = \text{Re}(E_0 e^{j(\omega t \pm kz)}) = |E_0| \cos(\omega t \pm kz)$$

전계(E)를 균일한 매질 및 세기로 가정하면 진행파와 후진파의 속도 ( $\omega t \pm kz$ ) 값이 일정해 지게 되고, 전자계 에너지밀도( $\omega$ )는 전계(E)와 자계(H)의 공존에 따라 제곱의 합에 비례하기 때문이다.

$$w = w_e + w_m = \frac{1}{2}(\epsilon E^2 + \mu H^2) \text{ [J/m}^2\text{]}$$

에너지밀도( $\omega$ )가 전계와 자계의 제곱에 비례하는 이론에 준거한, 문엄배(2015)<sup>8)</sup>는 테라헤르츠 펄스 전파 감쇠율 연구에서 <그림 2>와 같이 운량(구름)이 전파에 미치는 영향을 보고하였다.

<그림 2> 날씨에 따른 시간영역에서 신호크기 비교



출처 : 문엄배, 위의 논문, 17-19쪽.

8) 문엄배, “건물 사이의 테라헤르츠 펄스 전파를 통한 대기의 날씨 및 감쇠율 측정”, 한국해양대학교 대학원 석사학위논문, 2015.

### 3) 드론 비행과 운량 및 시정

안개와 구름은 구성성분이 유사하다. 그럼에도 불구하고 안개 혹은 구름으로 구분하고 있으며.<sup>9)</sup> 이를 기상학에서는 운량<sup>10)</sup>, 시정으로 표현하고 있다.

운량의 증가에 따라 수증기 응결이 가속화되면 비를 뿌리게 되고, 이후 무게가 가벼워지면 다시 수증기 응결로 운량의 증가가 시작된다. 기상학에서는 수증기가 낮은 위치에서 대기 투명도에 영향을 미치는 것을 시정으로 나타내며, 수평 방향을 기준으로 측정한다.<sup>11)</sup>

그리고 시정 장애는 안개, 눈, 아지랑이, 눈, 비, 구름 등과 같이 수분을 포함하고 있는 불순물에 의해 나타나기도 하지만, 연무, 연기, 먼지, 황사처럼 수분을 포함하지 않은 불순물에 의해 나타나기도 한다. 안개와 운량에서 수증기는 앞 절에서 논의한 공기 중에 존재하는 작은 물방울 입자에 의한 습도처럼 전파의 진행에서는 다른 매질에 해당하므로 반사와 굴절 현상과 함께 진행하므로 영향을 미치는 요인이다.

안티드론 재밍에서 습도, 운량, 안개 등의 영향을 고려하여야 하는 또 다른 이유는 드론 제어주파수가 마이크로파(3에서 30GHz) 및 밀리파(30에서 300GHz) 대역이기 때문이다. 이 대역은 직진성이 강하므로, 습도, 운량, 안개 등과 같은 작은 물방울 입자에도 영향을 받음으로 다음절에서는 그 운용 기준과 전파이론에 대해 논의한다.<sup>12)</sup>

9) 측정자가 낮은 고도에 있으면 구름으로, 측정자가 높은 고도에 있으면 안개로 인식.

10) 운량은 구름의 양을 나타내는 기상학 용어이며, 공기 중 작은 물방울로 구성.

11) 시정은 정상적 시력을 가진 관측자가 확인할 수 있는 수평최대거리.

12) 서브밀리파(300GHz에서 3THz)는 안개나 수증기에 흡수되는 특성이 있으므로, 활용에 제한이 있는 대역.

## 2. 외부요인과 운용 기준

### 1) 외부요인 설정 기준

본 연구에서 풍속, 운량, 습도 등이 안티드론 재밍에 영향을 미치는 영향 탐색의 목표는 이들 요인이 드론은 물론 항공기 비행안전에 영향을 미치는 것으로 보기 때문이다. 이는 불법 및 테러 등을 목적으로 비행하는 드론에 대응은 물론 비행안전을 고려한 안티드론 재밍 연구에서 고려하여야 할 기준이기 때문이기도 하다. 대부분의 항공기 및 드론은 추력(Thrust), 항력(Drag), 양력(Lift), 무게(Weight) 등의 작용과 동력 장치와 조종면을 통해서 비행하며, 특히 조종자가 탑승하지 않으며, 무선에 의해 원격조종되는 드론의 경우 전파의 전파전파에 영향을 미치는 대기(습도) 혹은 구름(운량) 등의 영향에 대한 관련성 연구는 비행안전에 중요하다 할 수 있다. 이에 따라 본 연구에 적용한 외부요인의 준거 기준은 <표 1>에 따르고 있다.

<표 1> 외부요인 관련 근거 및 적용기준

환경요인	관련근거	적용기준	설정 이유
풍속	비행안전 권고기준(6~10%)	8%	안전 비행 권고 기준에 상한값
운량	기상청 평가기준	3.5	실증일 운량 데이터 평균값
습도	기상청 측정 기준(60~75%)	65%	실증일 습도 데이터 평균값

주 : 풍속, 운량, 습도 기준 마련 관련근거는 안전비행권고 기준(항공안전분야) 및 기상청 기준(<http://www.weather.go.kr/>) 맑음(0~2), 구름조금(3~5), 구름많음(6~8), 흐림(9~10이상)을 참조, 적용기준은 비행전 점검과 <http://www.windy.com/> 참조.

### 2) 안티드론 운용 기준

안티드론 운용에서 전파의 전파전파에 방해 요인 고려와 산업용, 의

료용, 사무용, 일상생활에 사용되는 각종 전파의 영향 고려를 위해, 본 연구에서는 관련 법령에 준거하여, <표 2>와 같이 기준을 마련하였다.

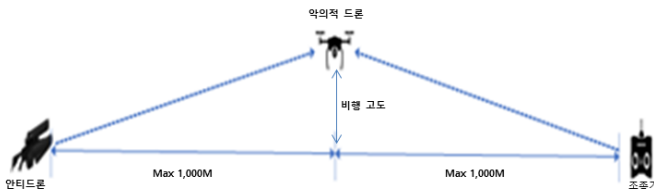
<표 2> 안티드론 재밍 실증 운용 기준

드론 모델	재밍 모드	안티드론 기술	비고
D/모델 D/P모델 D/M모델 P/D모델	모드1 제자리 정지	안티드론type(휴대용 재머) ISM 주파수 대역 900~930Mhz(MAX 30W)	각종 FC 및 무선controller 대상.
	모드2 영상송출 중단	1560~1610Mhz(MAX30W) 1200~1250Mhz(MAX30W) 2400~2500Mhz(MAX30W)	
	모드3 Wi-Fi, GPS	5725~5875Mhz(MAX20W) 안테나 빔(방사각30°)	개활지에서 ISM/GNSS 재밍

※ 실증데이터 측정 (2017년) 재밍모드별 각 375회, 모델별 각 1,875회.

아울러 외부요인(풍속, 운량, 습도) 이외 각종 요인을 통제하기 위해, 건축물과 최소 거리(3Km) 이상 이격된 개활지에서 실증을 준비하였으며, 피 측정 대상 드론 선정에서도 시장점유률, 그리고 최신의 정보통신기술 적용 및 채용기술의 안정화 정도 등을 고려하였다. 사용된 안티드론은 휴대용 플로토 모델로 드론 제어주파수 및 「전파법」 등 관련 법·규정을 고려하였으며, 실증기간은 연중 10개월(4계절) 동안 연속진행 하였으며, 다양한 시간대에 반복 측정은 <그림 3>과 같이 하였다.

<그림 3> 안티드론과 조종기 그리고 악의적 드론 기본 배치



출처 : 김형주 외, 앞의 논문, 84쪽.

### 3. 드론과 안티드론 재밍 및 전파이론

성장 잠재력이 큰 사물인터넷(IoT), 드론<sup>13)</sup>, 자율주행자동차 등 무선 통신 기반의 산업육성 정책을 주관하는 과학기술정보통신부는 6,859MHz 주파수대역 공급과 함께 2,679MHz 주파수대역과 2,520MHz 주파수대역 신규공급 계획을 수립하면서, 드론 및 위성제어 영상전송(환경.화재감시용)을 위하여 159MHz 대역(소형 드론 100MHz폭, 중대형 드론 59MHz폭)을 포함하였다.<sup>14)</sup> 그러나 2018. 7. 드론 활용 주파수 대역(2.4G, 5.8G) 규제에 인한 장거리 비행 드론 개발의 어려움을 논의한 드론기업 대표자 회의에서는 Wi-Fi 대역 활용에 따른 혼신과 전파장애 발생 우려와<sup>15)</sup> 함께 연구의 다양화에 대한 논의의 필요를 본격화하였다.<sup>16)17)</sup>

#### 1) 2.4GHz 주파수 대역과 드론 비행

멀티콥터가 사용하는 2.4GHz 주파수대역은 빈 채널을 찾아서 연결하는 호핑(frequency hopping) 방식으로 운영되고 있다. 이는 동시에 많은 기체와 조종기 간의 연결을 위한 것으로 해석되고 있으며, 연결된

13) 「전파법」에서는 2.4GHz에서 300mW 출력으로 드론 수신거리가 500m 내외이고, 5.8GHz에서 10mW 출력으로 드론 수신거리는 30m로 규정.

14) 주파수 분배표 및 무선설비 기술기준 개정(안)(www.msip.go.kr 참조).

15) 컨트롤에 920MHz대, 텔레메트리에는 2.4GHz대, 영상전송은 1.2GHz대(면허 필요), 2.4GHz대, 5.6GHz대가 사용되고 있다.

16) 정민석 외, “ISM 대역 전파환경에서의 건물 벽 반사 및 투과특성 분석”, 한국통신학회 학술대회 자료집, 2002, 212-215쪽. ‘ISM대역 전파는 빛과 유사하여 외부환경의 영향을 많이 받음은 물론 상호 간섭 및 방해로 고유의 전파 전송특성을 나타내지 못하는 단점에 유의할 필요가 있는 것으로 보았다’.

17) ITU-R 전파규칙에 의하면 ISM 대역에서는 ISM 기기에 우선권이 있고, ISM 대역을 사용하는 비신고(소출력, 근거리) 무선기기는 전파간섭을 용인해야 한다는 규정에 기초하여 우선순위를 인정해주어야 한다.

채널에 노이즈가 감지되면 자동으로 비어있는 채널로 변경 운용되므로 드론 운용에는 제약이 되는 것으로 보고 있다.<sup>18)</sup>

## 2) 그 외 주파수 대역과 드론 비행 관련성

### (1) 5.8GHz 주파수 대역

5.8GHz 멀티콥터 운용대역은 영상 송신용으로 사용되며, 국내 드론 설계·제작기준에서는 10mW 이하 출력을 규정하고 있으나, 제작사들은 2.4GHz와 5.8GHz 주파수대역을 모두 지원하는 기체의 개발과 함께 외부 간섭으로부터 비행안전 도모를 목표로 R&D 투자를 계속하고 있다. 그러나 주파수 선택에 따른 사고 위험 등에 대해 사용자들은 지식을 가지고 있지 않으므로, 관련 대책의 마련이 시급한 부분이다.<sup>19)</sup>

### (2) 5.0GHz 주파수대역

무인항공기 지상제어에 이용되는 주파수 대역은 5,030~5,091MHz 기존 사용 대역에서 61MHz 대역으로 확장을 준비하고 있으며, 이에 따라 ‘항공 업무용 무선설비 기술기준’ 개정<sup>20)</sup> 추진과 함께 드론지상관제시스템(GCS) 연구가 지속되고 있다.

이와 같은 주파수관련정책은 미래 드론 산업 활성화를 위해 꼭 필요한 정책이며, 주파수 관련 배분과 할당을 포함한 다양한 규제완화에 대한 요구의 수용이 필요한 분야라 할 수 있다. 이미 미국, 일본 등은 이

18) 관련규정에서는 드론의 가시권내 비행을 권고.

19) 전자파 발생 회로 제작사 및 설계자는 발진회로에서 부차적으로 생성되는 전자파에 의한 방해 최소화를 위해 관련 검증을 받아야 한다.

20) 과학기술정보통신부 국립전파연구원(WRC-15), 2015. 12.

와 같은 정책에 관심을 가지고 드론관련 규제 완화에 필요한 검토가 이루어지고 있음에 주목하여야 한다.<sup>21)</sup>

본 이론적 배경 연구에서는 불법드론(악의적 드론) 및 테러에 대응할 수 있는 경찰임무용 안티드론 실증에 초점을 두고, 풍속 그리고 조종자가 탑승하지 않고 무선으로 원격조종되는 드론의 속성을 고려하는데 초점을 맞추었다 할 수 있다. 그러므로 전파의 전파전파에 영향을 미치는 운량과 습도의 관련성 설명을 위해 Snell 법칙 논의에서는 작은 물방울 입자와 직진, 반사, 굴절, 회절에 대하여 설명하면서, 드론과 안티드론 재밍과 관련된 전파이론 중심으로 논의하였다.

### Ⅲ. 연구 모형 및 가설의 설정

김형주·이상원(2018)<sup>22)</sup>의 경찰예방임무용 안티드론 활용방안 연구에서는 악의적 드론의 조종력 상실, 이륙위치로 되돌아가 비행 멈춤, 영상신호 송출 차단, 선회비행 등으로 제시하였고, 김형주 외(2018)<sup>23)</sup> 경찰 임무용 안티드론 실증 연구에서는 조종력 상실, 이륙위치로 되돌아가 비행 멈춤, 영상신호 송출 차단, 선회비행 등으로 93%에서 98%까지 악의적 드론에 대응이 가능함을 보고하고 있다. 그러므로 본 장에서는 2%에서 7% 재밍 실패요인을 외부요인 중심으로 검정하기 위해 연구모형을 설계하였다.

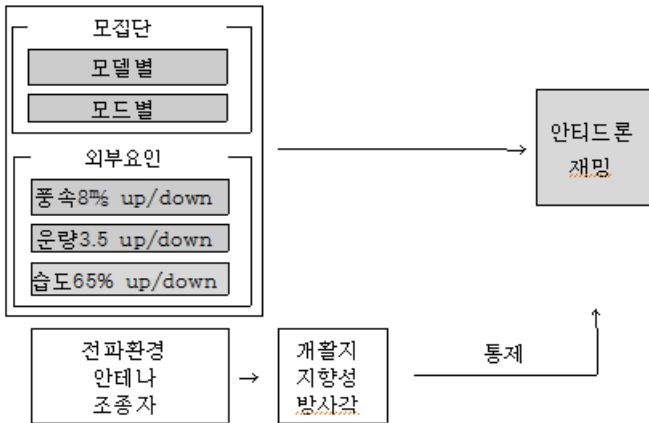
21) <http://koti10.blog.me/220991592960>(2017. 4. 27. 검색).

22) 김형주이상원, 앞의 논문, 91-112쪽.

23) 김형주 외, 앞의 논문, 69-93쪽.

## 1. 외부요인에 따른 안티드론 재밍 영향 연구 모형

〈그림 4〉 연구모형



〈그림 4〉와 같은 연구모형의 검증을 위하여 연구가설을 설정한다.

## 2. 모집단과 모델별 모드별 연구가설

드론 모델 및 모드별<sup>24)</sup>로 재밍 전파를 조준한 결과 대부분의 드론과 조종기 간의 송수신에서 전파교란이 나타나 조종이 어렵게 되었다. 이는 경찰임무용 장비로써 가능성을 의미한다 할 수 있다. 더 나아가 약 의적 드론 재밍 성공률 평균인 94.6%가 안티드론 성능의 한계가 아님을 본 장에서 외부요인 중심으로 설명하면서, 동시에 외부요인에 따른 영향이 모델별 모드별 재밍 성공에 미치는 영향을 탐색하면서, 그 차이를 설명하기 위해 다음과 같이 가정하였다.

24) 재밍모드는 제자리 정지모드, 영상송출중단모드, 선회모드.

가설 1, 모집단과 모델별, 모드별 표본들의 안티드론 재밍 성공 평균은 같다.

### 3. 외부요인에 따른 모델별 모드별 항재밍 연구가설

모집단 평균과 모델별, 모드별 평균의 차이 검정에서 귀무가설이 채택되면서, 외부요인 중심의 모델별, 모드별 안티드론 재밍 차이 확인을 위하여 다음과 같이 가설을 세운다.

#### 1) 풍속 8m/s기준에 따른 모델별, 모드별 항재밍 연구가설

드론 등 하늘에서 비행하는 비행체는 풍속에 매우 민감하다.<sup>25)</sup> 이는 풍속이 비행안정성은 물론 임무수행에 영향을 미치는 요인임을 의미한다.

공기가 데워지면 가벼워져서 올라가고 차가운 공기가 그 자리를 매우게 되며, 이와 같은 현상은 고도가 높을수록 기류의 이동 속도가 빨라짐에 따라 풍속이 강해지게 되므로, 이에 따른 영향의 검정이 필요하다 할 수 있다.

특히 우리나라 상공은 중국과 일본에 비해 상대적 저기압이 형성되므로 바람이 불어온다. 이로 인해 수도권에는 남서풍이 영남권은 남풍이 호남권은 남남서풍이 불어옴으로, 드론 비행전에는 반드시 풍속과 풍향의 점검이 필요하다.

이에 따라 이륙전 비행점검 사항에 풍속 및 풍향의 측정을 규정하고 있다. 회전익 드론 비행전 점검에서 권고 풍속은 6-10m/s 이므로, 그 이상이면 비행 중지를 검토하여야 한다. 이는 기체의 무게에 따라 풍속이 비행안전에 미치는 영향의 차이가 있기 때문에 이처럼 권고하고 있다.

25) 류영기박장환, 무인항공 드론 안전관리론, goldenBell, 2016, 230쪽.

예컨대 소형드론의 경우 8%의 풍속에서 비행 중인 기체가 30도에서 45도 까지 기울려진 상태에서 비행하는 모습은 위험하다 할 수 있다. 이처럼 풍속은 비행안전에 영향을 미치는 주요요인이므로, 안티드론 재밍에도 영향을 미칠 것으로 보아 다음과 같이 가정하였다.

가설 2, 풍속 8% 이하일 때가 이상일 때 보다 안티드론 재밍 성공률이 높다.

## 2) 운량 3.5기준에 따른 모델별, 모드별 항재밍 연구가설

우리나라 상공에는 저기압이 발달해 있으므로 주변 고기압권에서 바람이 불어온다. 이와 같은 바람은 하늘의 구름을 움직이는 동력원이며, 이와 같은 구름은 수증기의 응결에 의해 운량으로 나타난다. 그러므로 안티드론이 비행 중인 드론을 향해 전파를 송출하면 운량(작은 물방울 입자)에 의해 흡수, 입사 각도에 따라 전반사와 굴절하며 진행하게 된다.<sup>26)</sup>

기상학에서 운량은 하늘에 구름이 덮인 부분의 외관상 비율을 나타내며, 구름이 하늘에 전혀 없을 때를 운량=0, 구름이 하늘을 완전히 덮고 있을 때를 운량=10으로 나타내며, 일반적으로 운량이 2 이하일 때를 맑음, 3~7 사이는 구름 다소, 8 이상은 흐림으로 나타낸다.<sup>27)</sup>

이처럼 운량은 수증기 응결에 의해 생성되며, 운량에 전파가 도달하면 작은 물방울 입자에 의해 전파는 흡수, 반사, 굴절로 나타나 전파의 진행에 방해 요인이 된다. 특히 전계강도가 약한 무선통신대역에서는

26) 전파의 굴절은 매질이 서로 다른 경계면에서 발생하며, 진행 방향이 꺾이는 현상으로 경계면에서 속력이 느려질수록 굴절각이 작아진다.

27) 기상청은 맑음(0~2), 구름조금(3~5), 구름많음(6~8), 흐림(9~10이상)으로 발표(<http://www.weather.go.kr>).

이 같은 방해에 민감하게 반응한다 할 수 있다.<sup>28)</sup>

따라서 본 연구는 전계강도가 약한 ISM(industrial scientific and medical)대역인<sup>29)</sup> 2,400~2,483 MHz 에서 예상되는 영향의 고려와 함께, frequency hopping(FS) 기법에 주목하여, 운량이 전파 진행에 미치는 영향 중심으로 접근하였다.<sup>30)</sup> 이는 안티드론에서 송출된 전파 역시 직진, 반사, 회절, 흡수 또는 굴절하면서 수신점을 향해 진행하기 때문이다. 드론 및 안티드론이 운용되는 ISM대역은 전파의 세기가 매우 약하며, 이 대역은 빗과 같은 속성을 가지므로 진행 중 운량(작은 물방울 입자)을 만나게 되면 반사 및 굴절 등에 의해 감쇠가 일어나게 된다. 그러므로 전체 실증 일정에서 운량의 평균치를 기준으로 운량이 많은 날과 적은 날로 나누어 안티드론 재밍 성공률 차이를 검정하기 위해 다음과 같이 가정하였다.

가설 3. 운량 3.5 이하일 때가 이상일 때 보다 안티드론 재밍 성공률이 높다.

### 3) 습도 65%기준에 따른 모델별, 모드별 항재밍 연구가설

습도는 공기 중에 포함되어 있는 수증기 양의 정도를 나타내므로 습도가 높다는 것은 공기 중에 작은 물방울 입자가 많음을 의미한다. 전파는 습도가 높은 공기 속을 통과할 때보다 건조한 공기 속을 통과할

28) 블루투스, Wi-Fi, 셀룰러 시스템, 위성통신 등의 무선통신기술에 의해 드론 제어.

29) ITU-R는 ISM 대역을 산업, 과학, 의료 분야에서 운용을 위해 13553~13567kHz, 26975~27283kHz, 40.66~40.70MHz, 902~928MHz, 2.4~2.5GHz, 5.725~5.875GHz, 24~24.25GHz 규정.

30) frequency hopping은 호핑코드에 의해 매 순간 한 주파수로 호핑하여, 그 주파수에서 전송하며, 이 후 다른 주파수로 호핑 한 후 같은 동작을 반복하는 기법.

때 에너지 손실이 작다. 이는 전파가 수증기 입자를 만나게 되면 흡수, 굴절, 반사 현상이 나타나기 때문이라 할 수 있다.

이 같은 이론에 준거하여 날씨 및 시간 영역에서 신호 크기를 비교 실험한 연구에서는 비가 내리지 않은 흐린 날이 가장 크게 영향을 받고 있음을 주장한 문엄배(2015)는 대기 중 상대 습도와는 별개로 수분 입자분포에 의해 THz 전자기파 신호 전송량 감쇠가 나타나므로 대기 중 수분의 양 및 상대 습도와 THz 전자기파 크기는 반비례하는 것으로 보았으며, <그림 2>에 나타난 바와 같이 비 오는 날보다 상대습도가 높은 흐린 날이 RH 0.4% 정도 전송감쇠가 낮음을 보고하면서, 이 같은 현상을 수분 입자와 부딪히는 횟수에 의해 감쇠가 결정되는 것으로 설명하며, 습도에 따른 전자기파 감쇠 현상을 보고하였다.<sup>31)</sup>

습도의 변화가 신호의 지연, 혹은 앞 당겨짐의 반복을 유발하고 있음을 보고한 유사 연구에서는 수증기 밀도 및 습도가 전파 전송에 영향을 미치는 요인으로 규정하고 있다.<sup>32)</sup> 그러므로 본 연구에서는 연간 평균 습도(60~75% 범위)를 기준으로<sup>33)</sup> 습도가 높은 날과 낮은 날에 안티드론 재밍 성공률 차이가 나타날 것으로 보아 다음과 같이 가정하였다.

가설 4. 습도 65% 이하일 때가 이상일 때 보다 안티드론 재밍 성공률이 높다.

31) 문엄배, 앞의 논문, 17-19쪽.

32) Y. Yang, M. Mandehgar, & D. Grischkowsky, "Time domain measurement of the THz refractivity of water vapor", *Optics Express*, 20(24), 2012, pp. 26208-26218.

Y. Yang, M. Mandehgar, & D. Grischkowsky, "Determination of the water vapor continuum absorption by THz-TDS and Molecular Response Theory", *Optics Express*, 22(4), 2014, pp. 4388-4403.

33) <http://www.weather.go.kr> 참조.

## IV. 실증 분석

김형주 외(2018)<sup>34)</sup> 연구에서 93%에서 98%까지 악의적인 드론의 조종력 등이 재밍 되고 있음을 보고하고 있으므로, 본 장에서는 2%에서 7%의 조종력 등을 잃지 않은 악의적 드론에 대하여 살펴보고자 한다.

### 1. 기술통계량 분석

기술통계량 분석에서 안티드론 재밍 성공률 평균이 0.946로 나타나, 이를 검정값으로 하여 T검정을 하였다. <표 3>의 기술통계량 값에서 최소값 “0”과 최대값 “1”의 의미는 항재밍 실패를 “0”으로 성공을 “1”로 하고, 항 재밍이 이루어지는 상태를 5개 구간으로 범주화하여 측정하였다.<sup>35)</sup> 교란이 지속되지 않거나 교란이 간헐적으로 이루어진 횟수는 미미하였으며, 5개 구간으로 범주화한 변수의 정의에서는 재밍 전파가 악의적 드론에 도달하기까지 다양한 외부요인의 영향 및 지향성안테나 방사각에 따른 조준 정확성 정도, 그리고 휴먼 에라(human error) 및 우연 오차(accidental error) 등을 고려하고 있다.<sup>36)</sup>

34) 김형주 외, 앞의 논문, 87쪽.

35) 결과변수인 안티드론 재밍 변수의 정의: 실패는 “0”, 성공은 “1”로 보았으며, 초기 10분 이내 교란이 이루어지지 않으면 “0.2”, 교란이 일정 시간간격으로 실패와 성공을 반복하면 “0.5”, 교란이 유지되는 중 10분 이상 교란이 해지 되면 “0.7”로 범주화 하였다. 이는 5,000회 이상 다양한 환경에서 반복 측정 과정에 실험값에 근거하여 범주화하였으므로, 변수의 정의로 활용하였다.

36) 지향성안테나는 신호는 강하나 투과력이 떨어지고, 무지향성안테나는 전방위로 신호를 출력하므로 커버해야 하는 범위가 넓으므로, 전송거리가 짧아, 주변 환경에 의한 잡음의 영향을 보다 크게 받는다.

〈표 3〉 기술통계량 분석

type	N	min	max	ave	sd
D/I_D	375	0	1	.97	.176
D/I_V	375	0	1	.95	.220
D/I_W1_D	375	0	1	.96	.202
D/I_W1_R	375	0	1	.875	.3303
D/I_W1_V	375	0	1	.961	.1939
D/P_D	375	0	1	.96	.196
D/P_V	375	0	1	.963	.1874
D/P_W1_D	375	0	1	.95	.208
D/P_W1_R	375	0	1	.902	.272
D/P_W1_V	375	0	1	.96	.202
D/M_D	375	0	1	.942	.240
D/M_V	375	0	1	.94	.2315
D/M_W1_D	375	0	1	.93	.250
D/M_W1_R	375	0	1	.91	.284
D/M_W1_V	375	0	1	.92	.267
P/D_D	375	0	1	.99	.115
P/D_T	375	0	1	.99	.115
P/D_W_T	375	0	1	.96	.196

- 주 : 1) D/I\_D: D/I모델 제자리 정지, D/I\_V: D/I모델 영상송출 중단, D/I\_W1\_D: D/I모델 Wi-Fi 1 제자리 정지, D/I\_W1\_R: D/I모델 Wi-Fi 1 RTH, D/I\_W1\_V: D/I모델 Wi-Fi 1 영상송출 중단, D/P\_D: D/P모델 제자리 정지, D/P\_V: D/P모델 영상송출 중단, D/P\_W1\_D: D/P모델 Wi-Fi 1 제자리 정지, D/P\_W1\_R: D/P모델 Wi-Fi 1 RTH, D/P\_W1\_V: D/P모델 Wi-Fi 1 영상송출 중단, D/M\_D: D/M 모델 제자리 정지, D/M\_V: D/M 모델 영상송출 중단, D/M\_W1\_D: D/M 모델 Wi-Fi 1 제자리 정지, D/M\_W1\_R: D/M 모델 Wi-Fi 1 RTH, D/M\_W1\_V: D/M 모델 Wi-Fi 1 영상송출 중단, P/D\_D: P/D 모델 제자리 정지, P/D\_T: P/D 모델 선회, P/D\_W\_T: P/D\_W\_T 모델 Wi-Fi 1 선회.
- 2) 모델은 실증에 적용한 4개의 드론 모델, 모드는 재밍에서 적용한 3개의 모드(제자리 정지, 영상송출 중단, 선회).
- 3) 본 자료는 약 10개월 동안 재밍모드별(375회), 드론모델별(1,875회) 측정된 데이터.

## 2. 일표본 T 검정

모집단의 안티드론 재밍 성공률 평균이 모델별 모드별 재밍 평균과 같은가? 확인을 위해 T검정을 준비하였으며, 안티드론 재밍 성공률 평균이 모집단과 모델별, 모드별 표본 간의 차이 확인을 위하여 검정값을 0.946로 일표본 T검정을 하였다.

〈표 4〉 일표본 T 검정결과(N=375)

TYPE	검정값 = 0.946					
	t	자유도	유의확률	평균차	차이의 95% 신뢰구간	
					하한	상한
D/I_D	2.417**	374	.016	.022	.00	.04
D/I_V	.294	374	.769	.003	-.02	.03
D/I_W1_D	1.084	374	.279	.011	-.01	.03
D/I_W1_R	-4.151**	374	.000	-.0708	-.104	-.037
D/I_W1_V	1.452	374	.147	.0145	-.005	.034
D/P_D	1.382	374	.168	.014	-.01	.03
D/P_V	1.778	374	.076	.0172	.002	.036
D/P_W1_D	.806	374	.421	.009	-.01	.03
D/P_W1_R	-2.896**	374	.004	-.0441	-.074	-.014
D/P_W1_V	1.084	374	.279	.011	-.01	.03
D/M_D	-.591	374	.555	-.007	-.03	.02
D/M_V	-.301	374	.763	-.0036	-.027	.02
D/M_W1_D	-.982	374	.327	-.013	-.04	.01
D/M_W1_R	-2.427**	374	.016	-.0356	-.064	-.007
D/M_W1_V	-1.689	374	.092	-.023	-.05	.00
P/D_D	6.857**	374	.000	.041	.03	.05
P/D_T	6.857**	374	.000	.041	.03	.05
P/D_W_T	1.382	374	.168	.014	-.01	.03

\*\*p < 0.05.

주 : 1) 〈표 3〉의 주 1)과 동일함.

<표 4>의 일표본 T검정에서 D/I\_D, D/I\_W1\_R, D/P\_W1\_R, D/M\_W1\_R, P/D\_D, P/D\_T 등 6개 모델 및 모드는 유의확률(p) < 유의수준(0.05), t값이 각각(2.417, -4.151, -2.896, -2.427, 6.857, 6.857)로 나타났다. 그리고 95% 신뢰수준에서는 모집단과 각 모델별, 모드별 항재밍 성공률 평균이 D/I\_W1\_R, D/P\_W1\_R, D/M\_W1\_R 모델에서는 낮게, D/I\_D, P/D\_D, P/D\_T 모델에서 높게 나타났으며, 적게는 -0.104, 많게는 0.05 만큼의 차이가 확인 되었다. 그러나 나머지 모델 및 모드에서는 유의확률(p) > 유의수준(0.05)로 나타났으며, 모집단과 모델별, 모드별 검정값(0.946)을 기준으로 한 분석결과 및 95% 신뢰구간내에서 안티드론 재밍 성공률 평균의 차이가 있다 할 수 없으므로, 가설 1을 부분 채택하였다.

### 3. 독립표본 T 검정

일표본 T 검정에서 모델별 모드별 표본과 모집단 간의 평균 비교에서 일부 차이를 확인 할 수 있었으므로, 본 절에서는 그 차이가 외부요인에 의한 것인지 확인을 위하여 독립표본 T검정을 하였다.

#### (1) 풍속 8㎞ 기준에서 모델별 모드별 연구가설 검정

풍속 8㎞ 기준에서<sup>37)</sup> 분산의 동질성 검정을 위한 Levene의 등분산검정은 유의확률(p=0.000) < 유의수준( $\alpha=0.05$ )로 나타나,  $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  (등분산이 가정되지 않아), 풍속 8㎞ 이하인 날과 이상인 날의 안티드론 재밍 성공률 평균의 차이가 나타났다.

37) 풍속 8㎞를 기준으로 풍속이 8㎞ 이상인 날과 이하인 날에 안티드론 재밍 성공률 평균을 비교.

〈표 5〉 풍속 8<sup>m/s</sup> 기준으로 한 독립표본 T 검정결과(N=375)

TYPE	풍속 (8m/s)	기술통계량		T검정		
		평균	표준편차	t	유의확률	차이의 95% 신뢰구간
D/I_D	이상	.92	.275	-2.606**	.010	-.124
	이하	.99	.106			-.017
D/I_V	이상	.91	.289	-1.917	.057	-.116
	이하	.97	.181			.002
D/I_W1_D	이상	.90	.301	-2.711**	.008	-.140
	이하	.98	.136			-.022
D/I_W1_R	이상	.784	.4119	-3.019**	.003	-.2144
	이하	.913	.2821			-.0448
D/I_W1_V	이상	.909	.2888	-2.537**	.012	-.1296
	이하	.982	.1313			-.0160
D/P_D	이상	.93	.261	-1.731	.086	-.099
	이하	.97	.161			.007
D/P_V	이상	.911	.2836	-2.637**	.009	-.1295
	이하	.985	.1222			-.0185
D/P_W1_D	이상	.89	.313	-2.909**	.004	-.152
	이하	.98	.136			-.029
D/P_W1_R	이상	.818	.3875	-2.972**	.003	-.1972
	이하	.937	.2429			-.0397
D/P_W1_V	이상	.90	.301	-2.711**	.008	-.140
	이하	.98	.136			-.022
D/M_D	이상	.87	.335	-2.760**	.007	-.160
	이하	.97	.181			-.026
D/M_V	이상	.893	.3085	-2.225**	.028	-.1327
	이하	.963	.1875			-.0079
D/M_W1_D	이상	.88	.324	-2.178**	.031	-.139
	이하	.95	.208			-.007
D/M_W1_R	이상	.845	.3631	-2.443**	.016	-.1662
	이하	.937	.2395			-.0176
D/M_W1_V	이상	.85	.363	-2.960**	.004	-.182
	이하	.95	.208			-.036
P/D_D	이상	.95	.209	-2.278**	.025	-.085
	이하	1.00	.000			-.006
P/D_T	이상	.95	.209	-2.278**	.025	-.085
	이하	1.00	.000			-.006
P/D_W_T	이상	.88	.324	-3.526**	.001	-.173
	이하	.99	.087			-.048

\*\* p &lt; 0.05.

(주1) 〈표 3〉의 (주1)과 동일함.

<표 5>의 T검정에서 D/L\_V 및 D/P\_D 모델에서 만 유의확률 > 유의수준(0.05)로 나타나, 두 모델은 풍속 8㎞ 이하인 날과 이상인 날의 안티드론 재밍 성공 평균에 차이가 있다 할 수 없다. 그러나 나머지 모델에서는 유의확률 < 유의수준(0.05)로 나타나, 풍속 8㎞ 이하인 날과 이상인 날의 안티드론 재밍 성공 평균의 차이가 있다 할 수 있다.

그리고 기술통계량 분석에서 풍속 8㎞ 이하인 날이 이상인 날보다 평균이 작게는 0.04, 많게는 0.129 만큼 높게 나타났으며, 95% 신뢰구간에서도 풍속 8㎞ 이하인 날이 이상인 날보다 평균이 작게는 -0.2144, 많게는 0.007 만큼 높게 나타났다. 따라서 대부분의 모델 및 모드에서 풍속 8㎞를 기준으로 하였을 때 이하인 날이 이상인 날보다 안티드론 재밍 성공 평균이 높아 가설 2를 부분 채택하였다.

## (2) 운량 3.5 기준에서 모델별 모드별 연구가설 검정

운량 3.5을 기준으로<sup>38)</sup> 분산의 동질성 검정을 위한 Levene 등분산 검정에서 유의확률( $p=0.000$ ) < 유의수준( $\alpha=0.05$ )로 나타나,  $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  (등분산이 가정되지 않아), 운량 3.5 이하인 날과 이상인 날의 안티드론 재밍 성공 평균의 차이가 나타났다.

<표 6>의 T검정에서는 모든 모델에서 유의확률 < 유의수준(0.05)로 나타나, 운량 3.5 기준으로 보았을 때 안티드론 재밍 성공 평균의 차이가 있다 할 수 있다.

38) 운량 3.5를 기준으로 운량이 3.5 이상인 날과 이하인 날에 안티드론 재밍 성공 평균을 비교.

〈표 6〉 운량 3.5 기준 독립표본 T 검정결과(N=375)

TYPE	운량 (3.5)	기술통계량		T검정		
		평균	표준편차	t	유의확률	차이의 95% 신뢰구간
D/I_D	이상	1.00	.000	3.557**	.000	.025
	이하	.94	.230			.087
D/I_V	이상	1.00	.000	4.555**	.000	.050
	이하	.91	.284			.127
D/I_W1_D	이상	1.00	.000	4.148**	.000	.039
	이하	.93	.263			.110
D/I_W1_R	이상	1.00	.000	7.733**	.000	.1622
	이하	.782	.4127			.2732
D/I_W1_V	이상	1.00	.000	4.001**	.000	.0349
	이하	.931	.2523			.1028
D/P_D	이상	1.00	.000	4.006**	.000	.035
	이하	.93	.255			.104
D/P_V	이상	1.00	.000	3.855**	.000	.0314
	이하	.936	.2441			.0970
D/P_W1_D	이상	1.00	.000	4.286**	.000	.043
	이하	.92	.270			.115
D/P_W1_R	이상	1.00	.000	6.665**	.000	.1205
	이하	.829	.3765			.2218
D/P_W1_V	이상	1.00	.000	4.148**	.000	.039
	이하	.93	.263			.110
D/M_D	이상	1.00	.000	5.063**	.000	.065
	이하	.89	.310			.149
D/M_V	이상	1.00	.000	4.930**	.000	.0603
	이하	.90	.2988			.1406
D/M_W1_D	이상	1.00	.000	5.306**	.000	.073
	이하	.88	.321			.159
D/M_W1_R	이상	1.00	.000	6.343**	.000	.1077
	이하	.844	.3613			.2048
D/M_W1_V	이상	1.00	.000	5.776**	.000	.089
	이하	.87	.342			.181
P/D_D	이상	1.00	.000	2.257**	.025	.003
	이하	.98	.151			.044
P/D_T	이상	1.00	.000	2.257**	.025	.003
	이하	.98	.151			.044
P/D_W_T	이상	1.00	.000	4.006**	.000	.035
	이하	.93	.255			.104

\*\* p < 0.05.

주 : 1) 〈표 3〉의 주 1)과 동일함.

기술통계량 분석에서 운량 3.5 이상인 날이 이하인 날보다 평균이 작게는 0.02, 많게는 0.218 만큼 높게 나타났으며, 95% 신뢰구간에서도 운량 3.5 이상인 날이 이하인 날보다 평균이 작게는 0.003, 많게는 0.2732 만큼 높게 나타났다. 따라서 운량 3.5을 기준으로 한 비교에서는 이상인 날이 이하인 날보다 안티드론 제밍 성공 평균이 높아 가설 3을 기각하였다.

이와 같은 분석결과가 나타남에 따라 실증연구 조건에 대한 재검토를 하지 않을 수 없었다. 김형주 외(2018)<sup>39)</sup> 경찰임무용 안티드론 실증연구에서 <그림 3>과 같이 지상에서 악의적 드론을 향해 조종전파 및 교란전파를 송출하고 있다. 이는 악의적 드론에 조종기 전파와 안티드론 교란 전파가 동시에 도달함을 의미한다. 여기에서 조종기에서 송출되는 전파는 무지향성인데 반해, 안티드론에 의해 송출되는 전파는 지향성을 가짐에 주목 할 필요가 있다.<sup>40)</sup> 이는 전자계 에너지밀도( $\omega$ )가 전계(E)와 자계(H)의 공존에 따라 제곱의 합에 비례하고 있음을 이론적 연구에서 기술한 내용에 따르면, 본 실증에서는 지향성 안테나에 의해 송출된 전파가 무지향성 안테나에 의해 송출된 전파보다 악의적 드론 주변에 에너지 밀도가 높게 분포됨에 따른 것으로 볼 수 있다.

### (3) 습도 65% 기준에서 모델별 모드별 연구가설 검정

습도 65%를 기준으로<sup>41)</sup> 분산의 동질성 검정을 위한 Levene 등분산 검정에서 유의확률( $p=0.000$ ) < 유의수준( $\alpha=0.05$ )로 나타나,  $H_1: \sigma_1^2 \neq$

39) 김형주 외, 앞의 논문, 84쪽.

40) 동일한 조건으로 전파가 송출될 때 지향성 안테나에서 송출된 전파가 무지향성 안테나에서 송출된 전파 보다 상대적으로 밀도가 높다.

41) 습도 65% 이상인 날과 이하인 날에 안티드론 제밍 성공 평균을 비교.

$\sigma_2^2$  (등분산이 가정되지 않아), 습도 65% 이하인 날과 이상인 날의 안티드론 재밍 성공 평균의 차이가 나타났다.

<표 7>의 T검정결과 모든 모델에서 유의확률 < 0.05로 나타나, 습도 65% 기준에서는 안티드론 재밍 성공 평균의 차이가 있다 할 수 있다.

기술통계량 분석에서 습도 65% 이상인 날이 이하인 날보다 평균이 작게는 0.03, 많게는 0.243 만큼 높게 나타났으며, 95% 신뢰구간에서도 습도 65% 이상인 날이 이하인 날보다 평균이 작게는 0.003, 많게는 0.3161 만큼 높게 나타났다. 따라서 습도 65% 이상인 날이 이하인 날보다 안티드론 재밍 성공 평균이 높아 가설 4를 기각하였다.

이처럼 풍속과 운량 및 습도가 안티드론 재밍에 미치는 영향을 실증 데이터로 분석한 결과에서 외부요인인 풍속과 운량 및 습도는 안티드론 재밍에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하지만 이 같은 결과에서 운량과 습도가 안티드론 재밍에 미치는 영향이 매우 유사함이 발견되었다. 이는 비행고도가 낮은 때는 습도의 영향을 받게 되고, 비행고도가 높을 때는 운량(구름)의 영향을 받음을 의미한다 할 수 있으므로 비행고도에 따른 것으로 해석할 수 있겠다. 그리고 안티드론에서 송출된 전파는 지향성 안테나에 의해 송출되는 전파이나, 조종기에서 송출된 전파는 무지향성 안테나에 의해 송출된 전파이므로 이에 따른 차이로 해석할 수 있다. 이를 종합하면 운량 3.5 이상인 날, 그리고 습도 65% 이상인 날의 안티드론 재밍 신호는 조종기에서 송출되는 신호에 비해 악의적 드론에 크게 영향을 미친다 할 수 있겠다.

〈표 7〉 습도 65% 기준 독립표본 T 검정결과(N=375)

TYPE	습도 (65%)	기술통계량		T검정		
		평균	표준편차	t	유의확률	차이의 95% 신뢰구간
D/I_D	이상	1.00	.000	3.573**	.000	.029
	이하	.94	.247			.101
D/I_V	이상	1.00	.000	4.589**	.000	.059
	이하	.90	.304			.147
D/I_W1_D	이상	1.00	.000	4.174**	.000	.046
	이하	.91	.282			.127
D/I_W1_R	이상	1.00	.000	7.912**	.000	.1899
	이하	.747	.4349			.3161
D/I_W1_V	이상	1.00	.000	4.024**	.000	.0408
	이하	.92	.2704			.1192
D/P_D	이상	1.00	.000	4.029**	.000	.041
	이하	.92	.274			.121
D/P_V	이상	1.00	.000	3.876**	.000	.0366
	이하	.925	.2618			.1126
D/P_W1_D	이상	1.00	.000	4.315**	.000	.050
	이하	.91	.290			.134
D/P_W1_R	이상	1.00	.000	6.778**	.000	.1410
	이하	.801	.3992			.2568
D/P_W1_V	이상	1.00	.000	4.174**	.000	.046
	이하	.91	.282			.127
D/M_D	이상	1.00	.000	5.111**	.000	.076
	이하	.88	.331			.172
D/M_V	이상	1.00	.000	4.974**	.000	.0704
	이하	.883	.3193			.1631
D/M_W1_D	이상	1.00	.000	5.362**	.000	.085
	이하	.86	.343			.185
D/M_W1_R	이상	1.00	.000	6.189**	.000	.1194
	이하	.826	.3839			.2311
D/M_W1_V	이상	1.00	.000	5.849**	.000	.104
	이하	.84	.365			.210
P/D_D	이상	1.00	.000	2.261**	.025	.003
	이하	.97	.163			.051
P/D_T	이상	1.00	.000	2.261**	.025	.003
	이하	.97	.163			.051
P/D_W_T	이상	1.00	.000	4.029**	.000	.041
	이하	.92	.274			.121

\*\* p < 0.05.

주 : 1) 〈표 3〉의 주 1)과 동일함.

## 4. 추가 검정

지향성 및 무지향성 안테나 특성에 따라 수신점(악의적 드론)에서 전계강도 및 에너지밀도의 차이가 나타남과 전송 중인 전파가 작은 물방울 입자에 의해 흡수, 굴절, 반사 등으로 인한 손실의 증가 등으로 가설 3과 4의 귀무가설이 기각되었다.<sup>42)</sup> 이를 데이터로 설명하기 위해 외부요인의 차이를 극대화하여 추가분석을 하였다.<sup>43)</sup>

운량과 습도가 각각 3.5, 65% 이상인 날과, 운량과 습도가 각각 2.5, 55% 이하인 날의 비교를 통해 외부요인인 운량과 습도가 안티드론 재밍에 미치는 영향의 차이를 확인하기 위해서이다. 이는 전파가 습도가 높은 공기 속을 통과할 때보다 건조한 공기 속을 통과할 때 에너지 손실이 작아짐을 확인하기 위한 추가분석이라 할 수 있다. 이 같은 추가 분석에서는 ISM대역의 전파가 작은 물방울 입자를 통과할 때 흡수, 굴절, 반사의 차이 그리고 안테나 특성에 따른 차이를 함께 설명하게 될 것이다.

분산의 동질성 검정을 위한 Levene 등분산검정에서 유의확률 < 유의수준( $\alpha=0.05$ )로 나타나,  $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  (등분산이 가정되지 않아), 운량과 습도에 따른 안티드론 재밍 성공 차이가 있음을 확인 할 수 있었다.

<표 8>의 T검정에서는 모든 모델에서 유의확률 < 유의수준( $\alpha=0.05$ )로 나타나, 운량과 습도의 차이가 크면 안티드론 재밍 성공률 평균의 차이도 크게 나타남을 확인 할 수 있었으며, 나아가 외부요인 중 운량과 습도는 안티드론 재밍에 비례함도 확인 할 수 있었다.

42) <그림 3> 처럼 안티드론과 조종기 그리고 악의적 드론 배치하였을 때, 악의적 드론에 도달하는 전파는 상쇄 혹은 증폭.

43) 운량 3.5 이상, 습도 65% 이상인 날과 운량 2.5 이하, 습도 55% 이하인 날 간의 안티드론 재밍 차이를 비교.

〈표 8〉 운량 및 습도에 차이에 의한 독립표본 T 검정결과(N=205)

TYPE	운량/습도	기술통계량		T검정		
		평균	표준편차	t	유의확률	차이의 95% 신뢰구간
D/I_D	이상	1.00	.000	3.734**	.000	.070
	이하	.85	.359			.230
D/I_V	이상	1.00	.000	4.960**	.000	.142
	이하	.76	.428			.333
D/I_W1_D	이상	1.00	.000	4.444**	.000	.110
	이하	.80	.403			.290
D/I_W1_R	이상	1.00	.000	10.597**	.000	.4751
	이하	.415	.4938			.6949
D/I_W1_V	이상	1.00	.000	4.263**	.000	.0986
	이하	.815	.3881			.274
D/P_D	이상	1.00	.000	4.270**	.000	.100
	이하	.81	.393			.275
D/P_V	이상	1.00	.000	4.087**	.000	.0885
	이하	.828	.3775			.2565
D/P_W1_D	이상	1.00	.000	4.617**	.000	.121
	이하	.79	.412			.304
D/P_W1_R	이상	1.00	.000	8.237**	.000	.3488
	이하	.54	.4995			.5712
D/P_W1_V	이상	1.00	.000	4.444**	.000	.110
	이하	.80	.403			.290
D/M_D	이상	1.00	.000	5.646**	.000	.186
	이하	.71	.455			.389
D/M_V	이상	1.00	.000	5.461**	.000	.1716
	이하	.73	.4422			.3684
D/M_W1_D	이상	1.00	.000	5.992**	.000	.209
	이하	.69	.466			.416
D/M_W1_R	이상	1.00	.000	7.448**	.000	.3023
	이하	.588	.4954			.5227
D/M_W1_V	이상	1.00	.000	6.702**	.000	.255
	이하	.64	.484			.470
P/D_D	이상	1.00	.000	2.292**	.024	.008
	이하	.94	.244			.117
P/D_T	이상	1.00	.000	2.295**	.024	.008
	이하	.94	.244			.117
P/D_W_T	이상	1.00	.000	4.270**	.000	.100
	이하	.81	.393			.275

\*\* p < 0.05.

주 : 1) 〈표 3〉의 주 1)과 동일함.

그리고 기술통계량 분석에서 운량 3.5, 습도 65% 이상인 날이 운량 2.5, 습도 55% 이하인 날보다 평균이 작게는 0.06, 많게는 0.585 만큼 높게 나타났으며, 95% 신뢰구간에서도 운량 3.5, 습도 65% 이상인 날이 운량 2.5, 습도 55% 이하인 날보다 평균이 작게는 0.008, 많게는 0.6949 만큼 높게 나타났다. 이는 운량 3.5, 습도 65% 이상인 날이 운량 2.5, 습도 55% 이하인 날에 비해 안티드론 재밍 성공이 각각 2배정도 높으므로, 가설 3과 4에서 운량과 습도가 높은 날 안티드론 재밍 성공이 높게 나타난 검정결과를 확인시켜주고 있다. 이는 외부요인에 따라 ISM 대역에서는 전파 수신율의 차이가 나타남을 의미한다. 또한 지향성 안테나를 채용한 안티드론이 송출한 신호와 무지향성 안테나를 채용한 조종기가 송출한 신호가 수신점(악의적 드론)에서 에너지 밀도의 차이가 나타나고 있음을 증명해주고 있다. 이 같은 추가분석을 통해 우리는 운량과 습도는 안티드론 재밍에 영향을 미치는 외부요인임을 확인할 수 있었다.

## V. 결론

드론 관련 연구에서 재밍 관련 연구<sup>44)</sup> 및 외부요인에 대하여 논의한 선행연구를 찾기는 쉽지 않았다. 그러나 원인 불명의 추락, 비행 제어 이상 현상, 조종 미숙 등의 문제는 지속적으로 노출되고 있으므로, 정부는 드론산업 활성화를 위하여 R&D 투자와 시범사업 등으로 기업을 지원하고 있다. 하지만 참여 기업들은 모두 완성된 기체 중심 연구에

44) M. A, Muhammad, M. L, Yannick, "Jamming of UAV Remote Control Systems Using Software Defined Radio", *International Conference on Military Communications and Information Systems ICMCIS*, 2018.

집중 하고 있으므로 중복투자의 우려까지 낳고 있다.

그럼에도 불구하고 안티드론 기술연구와 응용 연구는 요소기술 분야(전자 및 정보통신 부분, 무선조종에 따른 전파 송수신 기술 및 안테나 기술) 중심으로 지속되고 있으며, 최근에는 외부요인 영향과 불법드론 대응에 초점을 두고 있다.

드론 범죄 및 테러 대응을 목표로 하는 안티드론 관련 연구는 불법 및 악의적 드론의 비행정지, 체포, 수사, 증거수집 등을 목표로 하고 있으므로 경찰임무에 초점이 맞추어져 있다 할 수 있다. 이 같은 연구에서는 2%에서 7%의 재밍 실패요인 탐색 논의로 안티드론 성능개선 및 운용실무 등에 정보 제공 목적을 가진다.

나아가 안티드론 재밍 관련 연구는 보다 폭 넓은 실증, 그리고 빅데이터 구축으로 국가주요시설 경비와 테러에 대응을 준비하고 있으므로 민·관 공동 연구의 필요를 시사하고 있다.

재밍(ISM대역) 전파를 이용한 본 실증연구는 ISM대역이 산업, 과학, 의료용 기기는 물론 공중 무선랜(wireless LAN), 블루투스, 전파 식별(RFID), 디지털 전화(CT) 등에 다양하게 활용되고 있음에 주목하고 있으며,<sup>45)</sup> 이 같은 연구로 ISM대역에서 드론 및 안티드론 활용방안 제시 및 관련범죄 예방에 기여하고자 한다.

그러므로 본 실증연구는 ISM대역의 소출력 무선기기 영향 배제를 위해 개활지에서 실시하였으며, 이를 통해 외부요인(풍속, 운량, 습도)이 안티드론 재밍에 미치는 영향 연구에 집중 할 수 있었다. 나아가 연구

45) 대부분의 활용이 허가를 요하지 않는 소출력 무선기기라는 점과 ISM 대역에서는 ISM 기기의 기본파를 규제하지 않는 ITU-R의 전파규칙(radio regulation)을 적용하고 있으나, 국내에서는 ISM 대역에서도 ISM 기기의 기본파를 제한하고 있음.

의 신뢰도 및 타당도를 높이기 위해 이들 외부요인의 준거기준을 마련하고, 이에 따라 연구표본을 나누어 평균의 비교로 다음과 같은 결론에 도달하였다.

첫째, 안티드론 재밍 성공 평균이 모집단과 모델별, 모드별 서로 다른지를 일표본 T검정으로 분석한 결과, 일부 모델별 및 모드별에서 안티드론 재밍 성공 평균이 적게는 -0.104, 많게는 0.05 차이를 나타내어 가설 1을 부분 채택하였다.

둘째, 안티드론 재밍 성공 평균 비교에서 풍속 8m/s 이하인 날이 작게는 0.04, 많게는 0.129 만큼 높았고, 95% 신뢰구간에서도 풍속 8m/s 이하인 날이 작게는 -0.2144, 많게는 0.007 만큼 높게 나타났다. 그러나 일부 모델 및 모드에서 유의확률 > 0.05로 나타나 가설 2를 부분 채택하였다.

셋째, 안티드론 재밍 성공 평균 비교에서 운량 3.5 이상인 날이 작게는 0.02, 많게는 0.218 만큼 높았고, 95% 신뢰구간에서도 운량 3.5 이상인 날이 작게는 0.003, 많게는 0.2732 만큼 높게 나타나 가설 3을 기각하였다.

넷째, 안티드론 재밍 성공 평균 비교에서 습도 65% 이상인 날이 작게는 0.03, 많게는 0.243 만큼 높았고, 95% 신뢰구간에서도 습도 65% 이상인 날이 작게는 0.003, 많게는 0.3161 만큼 높게 나타나 가설 4를 기각하였다.

분석결과, 운량과 습도가 높을 때 안티드론 재밍 성공률이 높게 나타나 가설 3과 4가 기각됨에 따라 추가분석을 하였다. 추가분석에서 운량 3.5, 습도 65% 이상인 날이 운량 2.5, 습도 55% 이하인 날보다 안티드론 재밍 성공 평균이 작게는 0.06, 많게는 0.585 만큼 높았으며, 95% 신뢰구간에서도 작게는 0.008, 많게는 0.6949 만큼 높게 나타났다. 이

같은 결과를 운량 3.5, 습도 65%의 분석결과와 비교하면, 안티드론 재밍 성공에 미치는 영향의 차이가 2배 정도 나타나고 있음을 확인 할 수 있다. 이는 운량과 습도가 안티드론 재밍 성공에 영향을 미치며, 그 영향은 비례 관계에 있음을 의미한다.

이 같은 외부요인을 중심으로 한 안티드론 재밍 연구가 가지는 의의는 향후 관련기준 제정 및 성능 연구에 기여는 물론 국내 드론산업 활성화에 긍정적으로 작용할 것이며, 나아가 이 같은 실증연구가 임무장비 활용자인 경찰과 연구자가 민·관 공동연구로 이어질 때 국민의 재산을 지키고, 단 한명의 생명이라도 희생시키지 않는 방안을 찾는 데 기여할 것으로 보고 있다.

향후 연구에서는 융·복합에 의하여 드론기술이 고도화 될 때 안티드론 재밍에 미치는 영향의 검정으로 불법드론으로부터 국민의 생명과 재산을 지키는 경찰 임무용 장비로 제안에 한걸음 다가가고자 한다.

<논문접수 : 2019. 8. 1, 심사개시 : 2019. 8. 8, 게재확정 : 2019. 9. 9.>

## 참 고 문 헌

### I. 국내문헌

#### 1. 단행본

류영기·박장환, 무인항공 드론 안전관리론, goldenBell, 2016.

#### 2. 논문

김형주·이상원, “경찰 예방임무용 Anti Drone 활용 방안에 관한 연구”, 한국 치안행정논집, 제15권 제3호, 2018.

김형주 외, “경찰임무용 안티드론 실증연구”, 치안정책연구소, 제32권 제2호, 2018.

문염배, “건물 사이의 테라헤르츠 펄스 전파를 통한 대기의 날 및 씨감쇠율 측정”, 한국해양대학교 대학원 석사학위논문, 2015.

정민석 외, “ISM 대역 전파환경에서의 건물 벽 반사 및 투과특성 분석”, 한국 통신학회 학술대회 자료집, 2002.

#### 3. 기타

「전파법」, 법률 제15373호.

「항공안전법」, 법률 제15326호.

<http://www.edaily.co.kr/news>(2018, 7. 23. 검색).

<http://koti10.blog.me/220991592960>(2017. 4. 27. 검색).

<http://www.msip.go.kr>.

<http://www.weather.go.kr>.

<http://www.windy.com>.

YTN news, 2018. 12. 22. 검색.

## II. 외국 문헌

- Muhammad, M, A., Yannick, L, M., “Jamming of UAV Remote Control Systems Using Software Defined Radio”, *International Conference on Military Communications and Information Systems(ICMCIS)*, 2018.
- Yang, Y., Mandehgar, M., & Grischkowsky, D., “Time domain measurement of the THz refractivity of water vapor”, *Optics Express*, 20(24), 2012.
- Yang, Y., Mandehgar, M., & Grischkowsky, D., “Determination of the water vapor continuum absorption by THz-TDS and Molecular Response Theory”, *Optics Express*, 22(4), 2014.

< ABSTRACT >

## A Study on the Influence of External Factors on Anti-Drone Jamming

Kim, Hyung-Ju · Kim, Beom-Mo

This study is a follow-up study of Kim et al.(2018) police anti\_drone empirical study that reported success rate of malicious\_drone anti\_jamming from 93% to 98%. Therefore, the purpose of this study is to investigate the influence of external factors on the anti\_drone jamming by exploring 2~3% of the anti\_drone jamming failure factors based on external factors, and to provide information on anti\_drone jamming performance improvement and operation practice.

Therefore, the study method should be based on the frame of reference of external factors (wind speed, cloud amount, humidity) and T test.

As a result of the analysis, the average success rate of anti\_drone jamming by model and type, the days with a wind speed of more than 8<sup>m</sup>%, was 0.04 at alow rate and 0.129 at most, the days above more than below 3.5 the cloud amount, was 0.02 at alow rate and 0.218 at most, the days above more than below 65% the humidity, was 0.03 at alow rate and 0.243 at most, respectively. In the confidence interval estimating the likelihood of the actual population average at 95% confidence interval, the success rate of the anti\_drone jamming by model and type, the days with a wind speed of more than 8<sup>m</sup>%, was - 0.2144 at alow rate and 0.007 at most, the days above more than below

3.5 the cloud amount, was 0.003 at low rate and 0.2732 at most, the days above more than below 65% the humidity, was 0.003 at low rate and 0.3161 at most, respectively.

The external factors such as wind speed, cloud amount, and humidity were found to affect anti\_drone jamming in both mean and 95% confidence interval. the effect was inversely proportional to the wind speed, was marked as proportional to the cloud amount, humidity, respectively.

◆ Key words : Anti-Drone, Drone, Malicious\_Drone, Anti-Jamming, Uav, Wind Speed