

산업용드론 재해발생 특성과 원인분석을 통한 재해예방에 관한 연구

변형식*† · 임종국**

A Study on Accident Prevention through Analysis of Industrial Drone Accidents and Their Causes

Hyung Shik Byun*† · Jong Kuk Rhim**

†Corresponding Author

Hyung Shik Byun

Tel : +82-2-6711-2930

E-mail : kosha2000@naver.com

Received : September 3, 2019

Revised : November 9, 2019

Accepted : December 12, 2019

Abstract : It has been only a few years since drones have been introduced to Korea, and as the use of drones has increased in industrial sites as well as in hobby activities, accidents such as workers' body parts coming into contact with rotating propellers have been occurring since 2016. Industrial accident cases are being filed. In the case of a remote control vehicle, if you release the remote controller in the event of an abnormal situation, it stops in place and no further danger occurs but in case of drones flying over the sky is different. Sudden motor stops during flight, uncontrolled changes in flight posture, loss of radio waves, loose propeller, etc, numerous factors can lead to accidents due to unintentional movements. Therefore, drone operators need safety knowledge as well as high knowledge about drones. However, drones with a weight of less than 12 kg can fly without a pilot's certification, and therefore, a minimum accident prevention measure is required. 10 accidents approved as industrial accidents since 2016, 23 accidents surveyed by general drone operator, 40 accidents surveyed by the Korean Consumer Resources Unfortunately for the purpose of writing this paper, drones are a new species and do not have many parameters for analysis but my experience has shown that the type of disaster does not deviate significantly. In addition, there is no paper that analyzes drone related industrial accidents not only in Korea but also in other countries. However, even if you watch an overseas drone accident video through YouTube, it is not much different from the case that occurs in Korea. I hope that this study will be of little help to all the drone pilots as well as the work safety of industrial drones used in industrial sites.

Key Words : industrial drone accident, drone risk factors, drone safety, drone safety measures

Copyright©2019 by The Korean Society of Safety All right reserved.

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

무인비행장치의 한 종류인 드론(이하 '드론'으로 지칭)은 사람이 타지 않고 무선전파로 원격조종하는 비행기나 헬리콥터 모양의 무인항공기를 의미한다¹⁾. 2010년대를 전후하여 군사적 용도 외에 다양한 민간 분야에도 활용되고 있다.

우리나라에서 드론을 조종하기 위해서는 항공안전법 제125조(초경량비행장치 조종자 증명)에 따라 자체

중량 12 kg을 초과하는 경우 조종자증명을 취득하도록 되어있으나, 자체중량 12 kg이하의 드론의 경우에는 자격조건 없이 조종이 가능하다. 항공안전법 제122조(초경량비행장치 신고)에 따라 자체중량 12 kg을 초과하는 드론은 초경량비행장치로 구분하여 장치신고를 하도록 규제하고 있다. 이렇게 초경량비행장치로 구분되어 있는 드론은 농약살포, 소형소포 배달 등의 특수한 목적으로 활용되고 있으며, 자체중량이 12 kg에 미치지 못하는 소형드론도 산업현장에서 사진촬영, 감시용, 측정용, 점검용 등으로 다양하게 활용되고 있다. 특

*한국교통대학교 안전공학과 박사과정 (Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation)

**한국교통대학교 안전공학과 교수 (Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation)

히 자체중량 12 kg 이하의 드론은 비행금지시간, 비행 금지지역, 비행금지행위 등의 조종자 준수사항²⁾만 준수하면 아무런 제약 없이 비행이 가능하여 위험 사각 지대에 놓여있다고 할 수 있다.

드론이 우리나라에 도입되기 시작한 것이 수년에 불과하나 행정부에서 첨단기술 융합산업인 드론산업의 성장 잠재력을 높이 보고 사업용 중심의 드론산업 육성, 공공수요 창출을 통한 공공 선도형 시장 육성, 미래형 드론시장 선점을 위한 선도 기술 개발, 국제수준의 인프라 구축 등 2017년 말에 ‘드론산업을 5년 내 20배 육성하기 위한 종합계획’[국토교통부 보도자료, 2017.12.21.]을 세워 범부처 협업을 통한 종합적이고 체계적인 지원 등에 힘입어 급속도로 확산 및 발전하고 있으며, 드론 활용의 증가에 따라 2016년부터는 드론과 관련하여 회전하는 프로펠러에 접촉하는 등의 재해 발생 사례도 접수되고 있다. 따라서 관련 재해도 급증할 것으로 예상되므로 드론관련 재해를 예방하기 위하여 위험요인을 도출하고 대책을 제시하며, 또한 안전 기술 지침 등을 제정하여 이를 산업현장에 적용하도록 하여 다양하게 활용되는 드론 관련 재해를 예방하고자 본 연구를 시작하게 되었다.

2. 연구 방법

2.1. 드론관련 재해 분석 및 특성

드론관련 재해발생 시 인명피해가 있거나 물적 피해가 있을 경우, 가해자와 피해자의 합의과정에서 재해 내용이 노출되지만, 자신의 기체파손, 신체피해, 무상해 재해 및 앓차사고 사례 등은 노출되지 않고 묻혀버림으로서 잠재적 위험요소로 방치되어 자칫 더 큰 재해로 발전 될 수 있어 우려스러운 일이다. 따라서 2016년 이후부터 산업재해로 승인된 드론관련 재해(10건)³⁾와 일반드론 조종자에게 면담조사를 실시하여 실제 경험하였던 재해사례(23건)⁴⁾, 한국소비자원 드론안전실태조사⁵⁾중 소비자위해감시 시스템(CISS) 위해사례(40건) 분석결과 등을 분석하여 위험성을 도출하고 재해 사례에 따른 방지대책을 제시하고자 한다. 모수가 적어(총73건) 아쉬운 면은 있으나 본인의 드론 운용 경험상 재해의 유형에서 크게 벗어나지 않으며, 과거에는 발생되지 않은 새로이 등장한 기인물에 의한 재해에 대하여 선제적으로 예방할 수 있는 대책을 수립하여 보급한다면 산재예방에 크게 기여할 것으로 판단된다.

드론과 관련된 산업재해를 살펴보면 드론은 새로이 등장한 장비로 2016년 이후부터 산업재해 발생의 기인물로 접수되고 있다. 그 이전에는 취미활동으로 이용

Table 1. Drone-related accidents by year

Classification	Sum	2015	2016	2017	2018	2019.4
Number	73	11	21	18	14	9

Table 2. Drone-related accident by age

Classification	Sum	10s	20s	30s	40s	50s	60s	No. response
Number	73	9	7	14	19	6	1	17
Unit(%)	(100)	(12.3)	(9.6)	(19.2)	(26.0)	(8.2)	(1.4)	(23.3)

되어 왔으나, 산업 현장에서도 드론의 활용이 증가하게 됨에 따라 산업재해도 발생하게 되었고, 활용 영역이 각종 택배사업 등의 배달산업, 농약살포 등의 농업, 고속도로 교통위반단속, 환경 분야의 환경위반 단속 위험지역 분석⁶⁾ 등으로 다양하게 발전하는 등 그 용도가 무궁무진하게 증가할 것으로 예측되어지며 병행하여 드론의 속도 및 크기의 증가, 조종영역의 확대, 대수의 증가로 사고의 발생 빈도 및 위험성 등도 빠르게 증가할 것으로 예상된다.

Table 1에서 보는 바와 같이 드론이 산업현장에서 본격적으로 활용하기 시작한 2015년 이후 드론과 관련된 재해가 일정부분 꾸준히 발생하고 있으며, 드론 활용의 증가와 함께 재해발생 건수도 증가할 것으로 예상된다.

Table 2에서 보는 바와 같이 드론의 위험성은 어느 연령대를 막론하고 재해가 발생되고 있음을 보여주고 있으며 특히 가장 사용빈도가 높은 30대~40대의 재해가 많은 것으로 분석되었으나, 이는 취미뿐만 아니라 산업현장에서 주축을 이루고 있는 연령대로 산업재해 신청이 가장 높게 나타난 것으로 분석되었으며, 취미활동으로 드론을 활용중인 10대~20대의 사고사례는 22%를 차지하는 것으로 나타나지만 노출되지 않은 재해발생은 더 많을 것으로 추정된다.

Table 3에서 보는 바와 같이 회전하는 프로펠러에 접촉하여 발생하는 재해가 대부분이며, 이는 위험성을 알고 있음에도 불구하고 제작, 유지·보수, 점검, 정비

Table 3. Incidents caused by drone accident

Classification	Number	Unit (%)	AVG lost work days
Sum	73	(100)	94.8
① Propeller contact or collision with drones	40	(54.8)	98
② Drone crash, malfunction	15	(20.5)	94.5
③ Battery explosion and fire	11	(15.1)	-
④ Near miss	5	(6.8)	-
⑤ Falling	2	(2.7)	85.5

등의 작업 시 프로펠러를 제거하여야 하는 수고를 귀찮아하거나, 사전 설정이 잘못되어 있다는 것을 인지하지 못하고 있기 때문이다. 드론추락, 오작동 등의 발생도 20%를 차지하는데 이는 정비 불량, FC(Flight Controller)셋팅 불충분 등으로 기인하는 것으로 추정되며, 배터리폭발 및 발화는 배터리의 관리 미흡, 충분하지 못한 방전용량의 배터리사용으로 인한 발열에 기인한 것으로 추정된다.

[“FC (Flight Controller : 비행제어장치)”란 드론의 두 뇌역할을 하는 가장 중요하고 핵심적인 부품으로, 자세제어, 가속센서 등 각종 센서와 신호를 처리할 컴퓨터가 포함되어 있는 보드를 말한다. 프로그램 설정을 위한 USB포트를 통하여 비행을 위한 다양한 설정을 할 수 있다.]

Table 3에서 분석한 재해발생내용을 살펴보면

① 프로펠러 접촉 및 드론과 충돌은 전체 분석재해의 54.8%를 차지하고 있는데, 이러한 재해 특성은 회전하고 있는 프로펠러에 신체일부가 접촉하게 되면서 베이는 재해로 압도적으로 많다. 회전운동중인 모터에 부착된 프로펠러 외에는 특별한 위험성이 없다고 판단하여 정지 상태에서는 프로펠러에 대한 위험을 크게 인지하지 못하고 있다가 의도하지 않게 갑자기 모터가 회전하는 경우 프로펠러에 신체부위를 베이는 사고가 발생하게 된다. 이러한 현상은 FC(Flight Controller)나 전자변속기(ESC)등의 전자장비의 설정 오류나 FC(Flight Controller)의 장착방향을 잘못 설정하는 등 이유는 다양하다. 조종자는 이러한 오류를 사전에 발견하지 못하고 배터리를 연결하거나, 드론에 근접하여 점검하던 중 재해가 발생하는 것이다.

[“전자변속기(ESC-Electronic Speed Controller)”는 FC로부터 명령을 받아 각각의 모터에 필요한 전기에너지를 전달하여 모터의 회전을 제어하는 역할을 한다.]

재해발생 내용은 대부분이 회전하는 프로펠러에 기인하고 있는데, 이를 선풍기와 비교를 해보면, 우리가 주로 사용하는 스탠드형 선풍기는 날개에 방호망이 있으나, 천장에 설치되는 실링형 선풍기는 방호망이 없다. 이는 천장에 사람이 올라가서 접촉할 일이 드물기 때문일 것이다. 드론의 경우 주로 상공을 비행하는 용도로 프로펠러에 방호장치 없이 운용하고 있으나, 안전상의 이유로 프로펠러에 방호망을 한다면 드론 전체 무게에 방호망 만큼 더해지기 때문에 비행에 치명적인 방해로 작용하여 비현실적인 대책이라 할 수 있다. 비행효율을 위해 프로펠러를 노출시킬 수밖에 없으므로, 비행 시에는 노출된 프로펠러에 의한 위험을 감수하고 운용하되, 제작, 유지·보수, 점검, 정비 시에는 프로펠

러를 제거하고 작업을 하여야 한다. 사용자들도 너무나 잘 알고 있는 상식적인 수준의 사실이지만 여러 가지 사유의 귀찮음으로 잘 지켜지지 않아 실제로 재해로 이어지고 있는 것이다. 드론의 프로펠러를 제초기의 날과 비교하기도 하나, 드론의 프로펠러는 의도하지 않게 갑작스런 회전의 경우가 많아 철저한 설정과 그 설정에 대한 확인이 반드시 필요하다.

② 드론추락, 오작동 등과 관련된 재해는 20.5%를 차지하는데 이는 FC(Flight Controller), 전자변속기(ESC), 모터 및 프로펠러의 조합, 기체중량과의 조합 등을 고려하여 적절하게 설정함으로써 모터가 과열되지 않도록 하거나, 모터에 입력되는 전류량을 적절하게 조절하는 등의 사전설정을 통하여 최적의 조건에서 비행할 수 있도록 하여야 하나 그렇지 않을 경우 추락 등의 사고로 인하여 재해로 이어질 수 있다.

아울러 드론은 비행 시 진동이 동반되는데 모터와 연결되는 전선의 연결 상태가 불량한 경우 진동에 의하여 분리된다면 모터의 회전이 정지하게 되어 추락할 수 있다. 또한 송·수신 상태 불량으로 드론이 조종자의 신호를 받지 못하여 오동작으로 이어질 수도 있다.

③ 배터리의 폭발 및 발화관련 재해는 15.1%를 차지하며, 배터리의 경우에도 유지보수과정에서 잘못된 관리로 배터리가 폭발하거나 화재가 발생하여 재해로 이어지고 있다. 리튬폴리머 배터리는 체적에너지밀도가 높고 충전효율이 대단히 높아 2차 전지로 널리 사용되고 있지만, 반면으로는 에너지 밀도가 높아 과충전, 과방전, 과전류, 단락시 폭발의 위험성이 존재한다. 배터리 화재는 급격한 반응의 폭발 등으로 쉽게 천이할 수 있는 큰 위험성을 가지고 있는데, 배터리 중에서도 리튬계열 배터리는 높은 전압을 형성하는 리튬염 전해액을 사용하는 이차 전지이다⁷⁾. 이러한 위험성이 있음에도 관리가 불충분하고, 배터리의 방전용량을 모터에 적합한 것을 선정하여 사용하여야 하나 가격 등의 이유로 충분하지 못한 방전용량의 배터리를 장착하고 비행하던 중 배터리의 과방전에 의한 과열로 화재가 발생하여 기체가 추락하는 일도 종종 발생한다.

④ 앓차사고는 6.8%를 차지하는데, 예를 들어 프로펠러의 방향을 잘못 장착하는 등의 사례이다. 드론을 공중으로 상승시키기 위하여 프로펠러가 회전하면서 아랫방향의 하향풍을 만들어야 하는데 프로펠러의 방향을 잘못 장착하게 된다면 드론을 지상으로 누르게 되는 상향풍이 발생되게 되어 드론이 기울어지게 되는데 이를 감지한 FC(Flight Controller)가 해당 모터의 속도를 더욱 증가시켜 결국에는 드론이 뒤집어지게 되어 주변에 있는 사람을 덮치는 사고가 발생하게 된다.

Table 4. Accidents by injury part

Classification	Sum	Arms or hands	Head or face	Foot	Hip	Property damage	No response
Number	73	27	10	2	1	6	27
Unit(%)	(100)	(37.0)	(13.7)	(2.7)	(1.4)	(8.2)	(37.0)

⑤ 넘어짐 재해는 2.7%이며, 이는 드론을 운반하거나 회수하던 중 넘어져 발생한 재해이다.

아울러 평균근로손실일수는 94.8일로 파악되었으며, 이는 중상해사고의 기준인 90일을 초과하는 수준의 재해가 발생하고 있음을 알 수 있다.

Table 4에서 보는 바와 같이 회전하는 프로펠러에 접촉하여 부상당하는 부위는 당연히 손 부위 높게 나타나고 있으며, 머리 및 얼굴도 비교적 높은 부상을 당하고 있는 것으로 나타나고 있다.

드론에 관한 형사법적 쟁점 연구⁸⁾에서 제시한 각국의 드론관련 규제를 종합하여보면 Table 5와 같으며 선진국의 드론관련 규제를 비교 검토한 결과, 비행금지구역의 설정, 150 m고도 이하로 비행, 유인항공기에 양보의무, 인구밀집지역 비행금지, 일출 후부터 일몰 전 비행, 가시권내 비행, 위험물품 운반 및 적재물 투하금지 등은 조종자 준수사항으로 대부분 공통적으로 규정하고 있다. 특히 할 점은 우리나라는 12 kg이상의 드론부터 등록 및 조종자 자격의무가 있으나, 미국, 영국, 중국 등 국가에서는 안전상의 문제를 초래할 수 있

는 250 g 이상의 드론부터 등록 및 조종자 자격의무를 부과하고 있는 추세이다. 이러한 규제마저도 피하고자 2019년 11월 DJI사에서는 249 g의 Mavic Mini를 출시하는 등의 노력을 하고 있으나, 우리나라의 12 kg 초과 드론부터의 규제는 외국에 비하여 지나치게 관대하다고 할 수 있다.

3. 연구 결과

1. 회전하는 프로펠러에 접촉하여 발생하는 재해 예방대책

- ① 제작, 유지·보수, 점검, 정비 등의 작업 시에는 반드시 프로펠러를 모터에서 분리한 후 해당 작업을 진행한다.
- ② Arming의 방법을 사전에 설정하여 모터 시동 시에는 반드시 사전에 설정된 방법에 의하여 모터의 회전이 시작되도록 한다.
[“Arming”이란 이륙하기 전 프로펠러(모터)를 최초 작동시키는 것을 말한다. 아밍/시동 없이는 스로틀을 올려도 모터는 회전하지 않는다. 자동차 시동을 거는 것과 유사한 개념.]
- ③ FC(Flight Controller)의 설정을 안전한 방법으로 비행할 수 있도록 설정하고, 프로펠러를 장착하기 전에 의도하지 않은 오동작의 가능성이 있는 지를 철저히 검증하도록 한다. (예를 들어 드

Table 5. Comparison of Regulations by Country

Country	Self weight	Registration / Reporting Obligation	Flight approval	Qualification of pilot	Remarks
Korea	Excess 12 kg	○	○	○	Compliance with pilot compliance
	Below 12 kg	×	○ (Over 150 m)	×	
U.S.	Under 25 kg	○ (More than 250 g)	×	○	Delegation to each country under 150 kg
EU	Excess 150 kg	○	○	○	
England	Below 20 kg	○ (More than 250 g)	○	○	
	Excess 20 kg				
Germany	More 250 g	○	×	×	
	2 kg ~ 5 kg	○	×	○	
	More 5 kg	○	○	○	
Japan	Except under 200 g	×	○	×	No Flying above important building as nuclear power plant ETC
China	Below 1.5 kg	○ (More than 250 g)	○	○ (More than 7 kg)	
	1.5~4 kg				
	4~15 kg				
	15~116 kg				
Australia	More 100 kg	○	○	○	
	100 g ~ 100 kg	×	○ (Over 400 m)	×	

론의 자세가 몇도 이상 기울어지면 모터의 회전이 시작되지 않도록 설정하는 방법 등)

- ④ 실내에서 기체 테스트는 절대 금지하고 사람이 없는 넓은 옥외의 장소에서 실시하여 의도하지 않은 오동작에 대비하여야 한다. 이때 조종자도 의도하지 않은 오동작에 대비하여 보호막 등의 뒤편에서 조작하도록 한다.
- ⑤ 이·착륙 시 조종자 및 보조자는 돌풍의 영향에 따라 의도하지 않게 드론이 밀리면서 프로펠러에 접촉될 수 있는 경우에 대비하여 충분한 거리를 두고 이착륙시키도록 한다.
- ⑥ 프로펠러가 회전하고 있는 경우에는 어떠한 경우에도 근로자가 접근하지 못하도록 조치하여야 한다.
- ⑦ 조종자 및 보조자는 반드시 안전모, 보안경, 안전화 등의 개인보호구를 착용하는 등 발생할 수 있는 재해에 대비를 하여야 한다.
- ⑧ 지나치게 저고도 비행을 금지하여 지상의 근로자들에게 위해를 주지 않도록 하여야 한다.

2. 드론의 추락이나 오동작에 의하여 발생하는 재해 예방대책

- ① 조립 시에는 진동 등에 의하여 나사가 풀리지 않도록 나사풀림 방지조치를 하여 비행중 나사풀림에 의한 추락을 예방하여야 한다.
- ② 센서드론(GPS드론)의 경우 IMU(Internal Measurement Unit, 관성측정장치) Calibration 및 Compass(나침반) Calibration을 정확하게 실시하여 드론이 수평이나 방향 등 자세를 정확하게 유지할 수 있도록 필요시 교정 작업을 하여야 한다.
[“센서드론(GPS Drone)”이란 GPS신호 및 근접센서 등을 이용하여 자동으로 정지비행이나 자동비행을 할 수 있는 드론을 말한다.]
[“IMU (Internal Measurement Unit)”란 관성을 측정하여 드론의 움직임을 감지하는 장치이다.]
- ④ FC(Flight Controller)의 설정은 각 제조사에서 제공하는 정보를 기체의 특성에 맞게 정확하게 입력한다.
- ⑤ 신호로 작동되는 기체조종용 송수신기, 영상송수신기, GPS관련장비 등의 부품은 KC인증품을 사용하여 외부 전자파 등의 영향으로 오동작하지 않도록 한다.
- ⑥ FC(Flight Controller) 및 전자변속기(ESC)의 성능향상을 위하여 수시로 업데이트할 경우 기존의 설정치가 지워질 우려가 있으므로 업데이트 후 확인할 필요가 있으며, 특히 모터의 방향이 변경되지 않았는지 반드시 확인하도록 한다.

- ⑦ 조종기(송신기)를 먼저 켜고, 기체(수신기)를 나중에 켜도록 한다. 끌 때는 반대로 기체(수신기)를 먼저 끄고, 조종기(송신기)를 나중에 끈다. 기체(수신기)의 전원을 먼저 켤 경우 기체가 다른 주파수의 신호를 오인하여 의도하지 않은 동작을 할 수도 있다.
- ⑧ 이·착륙 시 청결한 바닥에서 실시하여야 하며, 여의치 않을 경우 이·착륙 패드 등을 이용하여 먼지 또는 수풀 등에 의하여 기체가 훼손되거나, 프로펠러에 손상이 가해지면서 기체가 의도하지 않은 방향으로 날아가지 않도록 하여야 한다.
- ⑩ 수신기의 수신 상태가 항상 양호하도록 비행 전 레인지테스트를 실시하여 비행 중 수신불량으로 추락하지 않도록 조치하여야 한다.
- ⑪ 전원 투입 전에 모터를 손으로 회전하여 회전부에 간섭이 있는지, 모터 및 전자변속기(ESC)에 과열 흔적이 있는지를 확인하고 사소한 사항이라도 이상발생시 부품교체 등을 통하여 이상이 없음을 보장하고 비행을 시작하여야 한다.
- ⑫ FC(Flight Controller)의 감도설정을 적절하게 하여 과열이 발생하지 않도록 조치하여야 한다.
- ⑬ 비행 전에 주위의 타 비행체가 있는지 등을 충분히 확인하고, 타 비행체가 있을 경우 타 조종자와 충분한 소통을 통하여 상호간 간섭이 없도록 조치한 후 비행에 임하도록 하여야 한다.
- ⑭ 추락 등에 대하여 높은 신뢰성을 요구하는 드론의 경우 헬리콥터 이상을 드론을 사용하여 하나의 모터이상에도 비행이 가능하도록 하여야 한다. (예를 들어 모터가 4개인 쿼드콥터의 경우 모터 1개라도 회전을 멈추면 추락을 하게 되는데 반하여, 모터가 6개인 헬리콥터는 모터 1개가 회전을 멈추어도 계속비행이 가능하기 때문이다. 다시 말해 책상을 4명이 들어서 옮기는 과정에서 한사람이 빠지게 되면 그쪽으로 기울어져 옮길 수 없는 것과 같은 원리이다)
- ⑮ 비행불능상태시를 대비하여 적절한 Fail Safe를 미리 설정하여야 한다. Return To Home 또는 Landing 등 비행 상황에 맞는 대책을 미리 세워두고 설정을 하여야 한다. [“RTH (Return To Home)”이란 GPS센서로 아밍시의 이륙 위치로 되돌아오는 기능으로 드론 비행 중 노콘 상태가 되거나, 배터리가 일정량 이상 떨어졌을 때 등의 예상하지 못한 위급상황에 대비하여 Fail Safe기능을 RTH으로 설정하여 자동으로 되돌아오도록 하여 안전성을 높이는 것을 말한다.]

⑯ 수신기, GPS, 영상장치 등의 수신감도를 지속적으로 모니터링 하여 감도가 지나치게 낮아지지 않는 범위 내에서 비행한다.

⑰ 비행 중 타 비행체 발견 시 우선 양보하는 방향으로 비행하여 충돌 등의 사고를 예방한다.

3. 배터리폭발 및 발화에 의한 재해 예방대책

① 배터리의 극성(+,-)을 2중 3중으로 확인하여 극성이 반대로 연결되는 것을 방지하여야 한다.

② 리튬폴리머 배터리의 각 셀 당 공칭전압은 3.7볼트이며, 충전 시 4.2볼트를 초과하지 않게 충전하고, 방전 시 3.3볼트 미만으로 방전되지 않도록 하며, 장기간 보관 시에는 3.8볼트로 유지하는 등 철저한 관리가 필요하다⁹⁾.

③ 배터리의 용량에 맞도록 충전·방전하여야 한다.

④ 배터리의 외형이 변화가 있는지(부풀었는지 여부)확인하고, 배터리가 셀당 전압 3.3볼트 이하로 과방전된 경우 즉시 충전을 하여 모든 셀이 정상적으로 충전이 되는지 확인한다. 만약 셀 하나라도 정상적으로 충전이 되지 않을 경우 그 배터리는 사용하지 않는다.

⑤ 배터리의 전선은 피복이 손상되었는지 수시로 확인하여야 하며 이상 발견 시 교체를 하거나 절연 조치를 하여 단락에 의한 화재나 폭발을 방지하여야 한다.

4. 앗차사고에 따른 재해 예방대책

① 비행전 드론의 육안점검으로 프로펠러의 장착 방향을 2중 3중을 확인하여 정확하게 장착하도록 한다.

② 프로펠러의 조임을 확실하게 하여 이륙 시 또는 비행 중 풀림에 따라 추락 등의 재해가 발생하지 않도록 한다.

5. 넘어짐 등 기타 재해 예방대책

드론을 운반하거나 불시착한 드론을 회수하는 과정에서 발생된 넘어짐 재해의 사례가 있으며, 대책으로는 안전화, 안전모 등의 개인보호구를 착용하고 바닥의 상태를 잘 살펴보면서 운반이나 회수작업을 실시하여야 하겠다. 접근이 어려운 장소에 불시착한 드론을 무리하게 회수하기 보다는 포기할 줄 아는 것도 재해를 예방하는 방법일 수 있다. (예를 들어 사람이 접근 불가능한 장소에 추락한 드론을 회수하기 위하여 고소작업차 등의 장비를 투입할 경우 드론가격보다 장비이용료가 더 비싸지는 경우도 있으며, 위험한 지역을 가던 중 재해가 발생할 우려가 있다면 과감하게 포기할 줄 아는 결단력도 필요하다)

6. 조종자에게 요구되는 사항

드론의 조종에 있어 사람이 탑승하지 않을 뿐 추락에 따른 위험성은 사람이 탑승하고 있는 비행체와 다를 바가 없다. 따라서 조종사의 훈련된 조종능력이 필요하다. 따라서 자체중량 12 kg초과하는 드론은 초경량비행장치 조종자 증명을 요구하는데 반하여 그 이하의 경우에는 별다른 조건 없이 조종이 가능함에 따라 다음과 같은 교육·훈련이 필요하다.

① 조종자는 조종에 따른 자신의 행동에 책임을 지는 것은 물론 여러 상황 하에서 관계법령의 이해나 해석에 근거하여 적절한 판단에 따라 의사결정을 하고, 그 결과로서 올바른 행동이 기대되는 것이다¹⁰⁾.

② 조종자는 드론을 3차원 공간에서 운용하기 때문에 높은 지적능력을 필요로 한다. 지적 능력이라는 기초에서 나타나는 행동의 효율, 즉 높은 지적효율(제한된 시간 안에서 결과적으로 바람직한 행동을 이끌어내는 의사결정의 비율)이 중요시된다.

③ 안전의식 수준을 향상시키도록 필요한 정보처리능력의 훈련을 평소에 반복함으로써 조종자에게 필요한 안전의식수준 및 정보처리 능력을 높이도록 한다.

④ 놀라거나, 당황하거나, 과도하게 긴장하는 등의 반응은 인간이 갖고 있는 정상적인 반응이지만 조종자로서의 과잉반응을 하지 않는 안정성이 요구된다. 항상 안정성을 유지하기 위해 이러한 반응을 스스로 제어 할 수 있는 방법을 습득하는 것이 중요하다.

⑤ 조종자의 정서가 불안하면 비행장치의 조종에도 영향을 미친다. 정신적으로 성숙하다는 것은 안전한 비행과 사회적 악용방지에도 이어지는 것이다.

⑥ 비행 상황에 관련된 모든 정보 중에서 활용될 만한 것을 선택하여, 허용된 시간 내 판단하여 의사결정을 하여 비행을 할 것인지 말 것인지를 판단하는 능력도 필요하다.

⑦ 조종에 있어 조작이 무의식적으로 반응되기까지 훈련한다. (실제 드론으로 바로 훈련하기 보다는 파손의 우려가 없는 시뮬레이션 등으로 비행조작 방법을 익힌 후 실제 드론으로 훈련하도록 한다)

⑧ 빠른 상황판단능력은 모든 조종자 및 보조자에게 필수요건이다. 전반적인 주변상황과 비행 상태를 판단하고, 이러한 파악된 정보들을 처리할 수 있는 능력이 필요하다.

- ※ 비상상황 발생 시 드론을 반드시 이륙했던 지점으로 가져오는 것이 아니라, 비행 중 즉시 안전한 장소에 착륙하여야 하는 경우도 있다.
- ⑨ 조종자는 정신적, 신체적으로 문제가 없어야 하며, 비행 전 비행에 필요한 기상상태, 주위의 장애물, 비행경로 등을 파악하고 이륙직전 드론의 외관상태 등을 최종적으로 확인하여야 한다.

7. 드론의 규제대상범위 확대 필요

미국, 영국, 중국 등 드론 선진 국가에서는 안전상의 문제를 초래할 수 있는 250 g 이상의 드론부터 신고의무를 부과하고 있는 추세임을 고려하여 우리나라도 현재의 신고대상인 12 kg 이상을 훨씬 낮춰 규제대상의 범위를 확대하여 통제 하에서 운영하도록 할 필요가 있다.

8. 보험가입

드론을 운용하는 과정에서 근로자가 산업재해가 발생된다면 당연히 산업재해보상보험법에 따라 보상을 하게 되지만 근로자가 아닌 타인이 드론에 의해 우연히 발생한 사고로 인하여 타인의 신체나 재물에 피해가 발생하였을 경우 이를 배상하여 줄 수 있도록 손해를 보상해 주는 내용의 보험¹¹⁾에 가입하여야 한다.

4. 결론

산업현장에서의 드론 활용이 늘어나고 있음에 따라 관련된 산업재해도 증가할 것으로 예상되므로 드론을 활용한 작업 시 지켜야할 기술지침을 제시하는 등 선제적으로 대응할 필요가 있다. 따라서 다음과 같이 본 연구의 결론을 요약할 수 있다.

- ① 드론관련 재해의 대부분은 노출된 프로펠러에 근로자가 노출되어 발생하는 것임에 따라 항상 드론과 일정거리를 유지하여 접근하지 않도록 하여야 하며, 의도하지 않은 회전을 방지하기 위하여 FC(Flight Controller)의 설정치를 비행 전 반드시 점검하여 갑작스런 회전이 되지 않도록 하고, 유지·보수·점검 등의 작업 시에는 반드시 프로펠러를 제거하고 작업에 임하여야 하겠다. 아울러 착륙장소가 마땅치 않은 경우 하강하는 드론을 손으로 잡는 방법 보다는 착륙패드를 이용하여 그 위에 안전하게 착륙시키도록 하여야 하겠다.
- ② 비행 중 갑작스런 추락을 방지하기 위하여 비행 전 지상에서 모터의 배선상태확인, 모터 권선 접촉 불량여부확인 등 모터의 정상 회전상태 등 육안검사를 실시하고, Fail-Safe 설정 상태 확인, 조

- 조기와 드론간의 송수신 상태를 레인지테스트를 통하여 전파수신 상태를 확인하여야 하겠다.
- ③ 배터리에 의한 재해도 많이 발생하고 있음에 따라 고속비행이 필요하거나, 무거운 장비를 탑재하는 등의 비행 요구조건에 맞는 배터리를 선정하여 과방전이 되지 않도록 사전 점검이 필요하며, 충전 시에도 해당 배터리의 용량에 맞도록 충전하여 배터리 화재·폭발로 이어지지 않도록 철저히 관리하여야 하겠다. 아울러 비행 전 배터리 충전상태 및 배터리 외관 이상 유무 확인 등의 조치가 필요하다.
- ④ 프로펠러의 방향을 잘못 장착하는 실수를 방지하기 위하여 비행 전 육안점검을 통하여 2중, 3중으로 확인을 하여야 하며, 이륙 전 드론이 지상에 닿아있는 상태로 아주 천천히 모터의 회전속도를 증가시켜보면서 이상 유무를 판단하도록 하여야 하겠으며 또한 프로펠러의 조임 상태도 확인하여 비행 중 풀림이 발생하지 않도록 하여야 한다.
- ⑤ 드론을 운반하거나 회수하는 과정에서 넘어지는 경우를 예방하기 위하여 바닥의 상태를 확인하고 바닥을 주시하면서 안전하게 이동을 하여야 하며, 접근이 불가능한 곳에 불시착 하였다면 무리하게 회수하지 말고 과감하게 회수를 포기하는 결단력도 필요하다.
- ⑥ 조종자에게는 책임 있는 조종능력이 필요함에 따라
 - 자체중량 12 kg 이하의 드론에도 조종자 증명제도를 도입하여 훈련된 조종자가 조종할 수 있도록 하여야할 필요가 있으며,
 - 드론은 최근에 보급 확대된 신종의 장비로 아직까지 안전작업 기술지침 및 안전교육교재가 부재하므로 빠른 시일 내 이를 제작·보급하여 조종하기 전에 반드시 안전사항을 주지시키고, 제작, 유지·보수, 점검, 정비, 운영 등의 작업자 및 조종자가 그에 따라 작업 및 조종할 수 있도록 안전의식을 충분히 높여야 함으로 지속적인 교육이 필요하다. (제조사에서 제공하는 매뉴얼에 안전사항이 있으나 최근에는 매뉴얼이 제품과 함께 제공되기 보다는 필요시 온라인에서 다운받아보는 방식으로 안전에 관한 내용은 무시되기 쉽다.)
 - 회전하는 프로펠러가 노출되어 있는 등 위험성을 안고 비행하고 있음에 따라 추락 등의 위급상황 발생 시 사람이 없는 곳이나 위험성이 없는 곳으로 추락시키는 등 위험을 회피하는 적

응능력을 키워야 할 것이다.

- ⑦ 드론 운용 중 타인에게 물적, 인적피해를 가하였을 경우를 대비하여 보상보험을 가입하여야 하겠다.

본 논문을 작성하면서 아쉬운 점은 드론이 새로이 등장하기 시작한 기인물로 분석을 위한 모수가 많지 않으나 본인의 드론운영 경험으로 보아 재해의 유형이 크게 벗어나지 않는 결과가 도출되었다. 또한 국내뿐만 아니라 국외에서도 드론관련 산업재해를 분석한 논문은 찾아볼 수 없어 외국에서의 사례를 인용하지 못한 점도 아쉬움이다. 그러나 유튜브 등을 통하여 해외 드론 사고영상을 보더라도 국내에서 발생하는 사례와는 크게 다르지 않다.

아무쪼록 본 연구가 산업현장에서 활용되는 산업용 드론의 작업안전은 물론 모든 드론조종자 등에게도 조금이나마 도움이 되었으면 하는 바램이다.

References

- 1) Product Safety Team, Korea Consumer Resources Agency, Drone Safety Survey Results, p. 2, 2017.
- 2) Pilot compliance (Article 129 of the Aviation Safety Act, Article 310 of the Enforcement Rules), 2017.
- 3) KOSHA Industrial Accident Statistics System
- 4) Result of Racing Drone Korea Club Survey
- 5) Product Safety Team, Korea Consumer Resources Agency, Drone Safety Survey Results, pp. 12-13, 2017.
- 6) J. H. Lee, K. W. Jun and B. H. Jun, "Application of Drones for the Analysis of Hazard Areas in Mountainous Disaster", J. Korean Soc. Saf., Vol. 33, No. 3, pp. 65-70, 2018.
- 7) H. J. Ko and E. J. Lee, "Combustion Characteristics of Ionized Fuels for Battery System Safety", J. Korean Soc. Saf., Vol. 33, No. 1, pp. 22-27, 2018.
- 8) S. Kwon, A Study on the Criminal Issues about Drones, pp. 39-56, 2018.
- 9) Y. S. Kwon, FPV Racing Drone Bible, Sung Shin Media, pp. 147-154, 2018.
- 10) J. W. Park, Y. K. Ryu, Drone Unmanned aerial vehicle operation, Golden bell, pp. 86-91, 2018.
- 11) H. Jung, A Study on Legal Framework for the Invigoration of Drone Sports, pp. 52-56, 2018.