

드론(UAV)의 해양과학조사 활용 국제동향

정의영 선임연구원, 동해연안침식연구실

이메일: eyjeong@kiost.ac.kr

1. 서론

드론은 일반적으로 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)를 지칭하는 말로 ‘조종사가 탑승하지 않고 지상에서 원격으로 조종하거나 사전에 입력된 임무 프로그램으로 비행기가 주위환경을 인식하고 판단하여 스스로 비행하는 무인비행체’를 말한다(윤지영, 2016). 국내 항공법 시행규칙 제14조 제6호에 따르면 초경량비행장치 중 무인동력비행장치란 사람이 탑승하지 아니하는 것으로 연료의 중량을 제외한 자체 중량이 150킬로그램 이하인 무인비행기 또는 무인회전익비행장치를 뜻한다.

드론은 형태에 따라 고정익과 회전익으로 분류가 된다. 고정익의 경우 하나 또는 두 개의 프로펠러를 이용하여 기동하며, 방향타를 이용하여 방향을 바꾼다. 회전익은 3개 이상의 연직방향으로 배열된 프로펠러를 이용하여 기동하며, 각 프로펠러의 강약 조절을 통하여 방향전환이 가능하다. 이러한 특징으로 인하여 표 1에서와 같은 장단점을 가지게 된다. 드론을 해양과학조사에 사용할 때에는 목적에 맞추어 이러한 장단점을 고려한 후 사용하여야 한다.

표 1. 고정익과 회전익 비교

| | 고정익(Fixed-wing) | 회전익(Rotary-wing) |
|----|---|--|
| 장점 | -긴 비행시간(30분 이상) -넓은 지역 조사 가능 -바람에 강함 | -이착륙에 좁은 공간 필요 -다양한 장비 탑재 가능-호버링(정지비행) 가능 |
| 단점 | -이착륙에 넓은 공간 필요(반경 30m이상) -카메라 및 소형장비 탑재 가능 -호버링(정지비행) 불가능 | -짧은 비행시간(30분 이하) -바람에 약함 -이륙시 배터리 소모가 많음 |

| | | |
|-------|--|---|
| 드론의 예 |  <p data-bbox="422 510 627 539">eBee (SenseFly)</p> |  <p data-bbox="922 510 1294 539">Aibotix (Hexagon Geosystems)</p> |
|-------|--|---|

드론은 군사목적으로 처음 사용되었다. 1차 세계대전 중 ‘케터링 버그(Kettering Bug)’라는 무인 항공기는 80km 정도 날아간 후, 날개를 분리해 동체 폭탄으로 목표물을 타격하였는데, 이 항공기를 드론의 시초로 보고 있다(Hunt, 2013). 1935년 영국 해군의 원격제어 항공기인 ‘DH 82B Queen Bee’의 시연을 보고 스탠들리 미국 해군 제독이 무인항공기를 ‘Drone(숫벌)’이라고 명명한 후, ‘드론’은 무인항공기를 통칭하였다(Zimmer, 2013). 이후 정찰이나 전투 등 군사적 목적으로 사용되던 드론은 1990년대 이후 민간부분에서 활용되기 시작하였다. 최근 중국 DJI 사, 프랑스 Parrot 사, 미국 3D 사 등에서 취미용 드론을 개발 및 판매하면서 전 세계적으로 보급 되었다.

‘하늘의 산업혁명’이라 불리는 드론은 초기에는 군사 목적으로 사용되었으나 최근에는 물류 택배, 시설물 관리, 감시, 측량, 연구 및 구조/수색 분야 등 민간분야에서 폭넓게 사용되고 있다 (Floreano and Wood, 2015; <https://www.microdrones.com>). 물류 택배 분야에서는 아마존, DHL 등의 물류관련 회사들이 택배 서비스를 위한 드론을 개발 중에 있으며, 시설물 관리에서는 풍력발전기, 송전탑, 교량 및 댐 등 사람이 접근하기 어려운 곳에서 드론을 이용하여 이상여부에 대한 관리를 하고 있다. 감시분야에서는 산불 감시, 야생동물 감시, 연안 감시, 빙하 이동 감시, 방사능 감시 등으로 넓은 지역에 대한 모니터링을 실시하여 적극적 대응이 될 수 있도록 정보를 제공하고 있다. 드론에 장착된 카메라를 이용하여 3차원 정밀 지형자료를 획득하는 방법으로 측량분야에서도 활발하게 활용되고 있다. 연구분야에서는 고고학 연구, 화산 연구, 해양 연구, 바다생물 연구, 태풍 연구 등에서, 구조/수색분야는 재해현장 모니터링, 표류자 구조, 응급처치 등에서 활용되고 있다. 이외에 농업에서는 농업용으로 카메라 이외에 적외선 카메라와 초분광 센서 등을 장착하여 농작물 성장, 관개 배수 등의 작물관리에 필요한 정보를 얻을 수 있도록 특화된 드론이 개발되어 활용되고 있다(Ballesteros et al., 2014; Cheslofska, 2015).

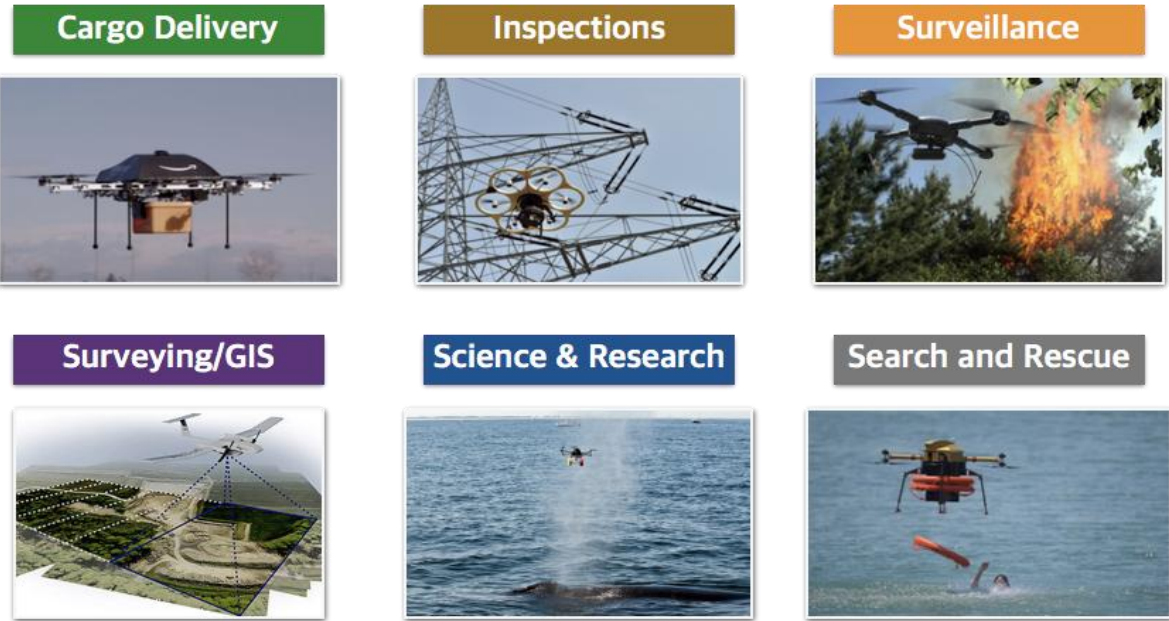


그림 1. 드론의 활용분야

기존의 해양과학연구를 위한 원격탐사 자료는 인공위성 또는 유인항공기를 이용한 영상으로 넓은 지역의 영상자료를 획득할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 이들 영상은 고해상도 영상을 획득하기 어렵고 가격이 비싸다는 단점이 있다. 이에 비해 소형인 드론은 운용이 간편하여 원하는 시기에 측정이 가능하며, 저렴한 가격으로 좁은 지역에서 cm급의 고해상도 자료를 획득할 수 있는 장점이 있다. 또한 소형화된 장비를 드론에 장착하여 원하는 자료를 얻을 수 있다. 초기에는 드론에 카메라를 장착하여 비디오나 사진 자료를 획득하여 영상을 분석하거나 중복 촬영된 사진들을 이용하여 3차원 지형자료를 얻었다. 최근 장비들의 소형화로 인하여 열화상 카메라, 초분광 센서, LiDAR(Light Detection and ranging), SAR(Synthetic Aperture Radar) 등을 장착하여 사용되고 있다(Klemas, 2015).



그림 2. 드론용 소형 센서

앞서 기술한 바와 같이 많은 분야에서 드론의 장점을 이용한 활용이 활발하지만, 국내 해양과학조사에서의 이용은 아직 시작 단계이다. 한국해양과학기술원은 무인 해양과학조사 시스템을 구축하기 위하여 해양과학 조사에서 드론 활용 현황을 국제적으로 파악하고 그 적용성을 검토해야 할 필요성을 느끼고 있다.

2. KIOST 관련 연구사업 소개

2.1 필요성

이상기후로 인한 태풍, 이상고파 및 해일 등으로 해마다 예측하기 어려운 국지성 해양재해 발생빈도가 증가하고 있는 추세이다. 또한 해안 난개발 및 구조물 노후화 등으로 인하여 갑작스런 안전사고의 발생빈도도 증가하고 있다. 또한 연안침식의 가속화로 인하여 연안에서의 거주권 및 경제권에 위협을 주고 있다. 이러한 해안가 건축물 붕괴, 돌발성 해안사면 붕괴, 해안도로 붕괴 등과 같은 국지성 해안재해 대응에 있어서 신속한 재해현황 파악 및 피해범위의 정량적 계측이 필요하다. 하지만 해안재해 지역의 특성상 인력의 접근이 어려워 정확한 계측이 불가능 또는 장시간이 소요되어 해안 지형과 지물 변동과 피해상황을 신속하게 계측 분석할 수 있는 대응기술 개발이 필요하다. 이에 드론을 이용한 국지성 해안재해 대응체계를 개발하고자 하였다.



그림 3. 국지성 해안재해

2.2 주요내용

국지성 해안재해 대응에 드론을 활용하는 미래창조과학부의 창조 비타민 프로젝트 사업인 ‘소형 무인항공기를 활용한 국지성 해안재해 대응체계 개발(협업부서: 해양수산부)’을 통하여 해안재해 대응 공간정보관리시스템을 개발하였다(미래창조과학부, 2016). 해안재해 대응 공간정보관리시스템은 크게 한국형 해안 드론사진측량 운용체계와 국지성 해안재해 대응 GIS 솔루션으로 구성 되어 있다.



그림 4. 해안재해 대응 공간정보관리시스템 개발 흐름

한국형 해안 드론사진측량 운용체계에는 정확도가 2cm인 RTK-GPS(Real-Time Kinematic GPS)를 탑재한 회전익 드론과 이를 운용하기 위한 매뉴얼로 구성되어 있다. 국지성 해안재해 대응 GIS솔루션은 현장분석용 툴과 정밀분석 및 관리 UI로 구성되어 있어 현장에서 드론을 이용하여 획득된 자료 이용하여 해안재해 피해규모를 산정할 수 있도록 하였다. 특히 정밀분석 및 관리 UI에서는 기존에 드론으로 얻은 DSM(Digital Surface Model)자료와 3차원 변화를 비교할 수 있는 기능과 피해액을 산정할 수 있는 기능 등을 넣어 공간정보자료를 효율적으로 사용할 수 있도록 하였다. 이러한 기능을 활용한다면 연안침식 모니터링 및 난개발 현황 파악 등에도 사용이 가능하다.

드론의 연안침식 모니터링 활용성을 평가하기 위하여 비행고도, 중복도, 지상기준점의 배치 등에 대한 테스트를 수행하였다. 드론을 이용한 해안지형측량은 5cm 내외의 정확도를 가져 연안 침식 모니터링에서 활용이 가능한 수준으로 판단되었다. 또한 연안침식 관심지역 10곳에 대하여 시범측량을 실시하였으며, 경북 울진 봉평해수욕장의 경우 태풍 고니에 의한 피해 전후 영상을 획득하여 비교하였다.



그림 5. 태풍 고니(2015년 8월)으로 인한 울진 해안피해지역 드론촬영 전후 영상

3. 국제동향

3.1 주요 쟁점별 논의 방향

해양과학조사 분야에서 드론은 2000년 대에 들어와서야 활용되기 시작했다. 2015년 Duke 대학교에서 열린 ‘해양과학과 보호에서의 UAV’ 워크숍에서는 이러한 해양과학조사에서의 활용을 넓히 고자 다음과 같은 해양과학분야의 활용에 대한 소개와 앞으로의 방향에 대하여 논의되었다(Duke University Marine Laboratory, 2015).

- Emergency response
- Identifying and analyzing marine debris
- Monitoring protected and endangered species and their habitats
- Supporting fisheries stock assessments, effort surveys and habitat assessments
- Supporting marine animal entanglement and stranding efforts
- Monitoring effects of climate change, coastal erosion and sea level rise
- Monitoring sea grass and marsh health

Lomax et al.(2005)은 IOOS(Integrated Ocean Observing System)의 주요 조사항목 중 현재 드론을 이용하여 조사 가능한 항목과 미래에 장착장비 기술발달로 가능한 항목에 대하여 표 2와 같이 분류를 하였다. 다양한 센서를 탑재한 드론의 이용은 서식지 모니터링, 위험대응 및 관리, 자원관리 및 상업적 이용을 위한 연안 특성 연구에 좋은 도구를 제공할 것으로 예측하였다.

표 2. 드론으로 관측가능한 IOOS의 주요 조사 항목(Lomax et al., 2005)

| Core Variable | Current Capability | Future Capability |
|------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Salinity | | X |
| Temperature | X | |
| Bathymetry | | X |
| Surface wave | | X |
| Surface current | | X |
| Ice Distribution | X | |
| Contaminants | X | |
| Optical Properties and Ocean Color | x | X |
| Heat Flux | X | |

NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)에서는 드론의 관측능력 향상, 높은 과학적 활용을 위한 드론 개발 등을 목표로 2012년부터 드론을 이용하여 해양쓰레기 모니터링, 오일 확산 연구, 하구역 연구 등을 수행해 오고 있다(<https://uas.noaa.gov/>).

드론은 안정적인 이착륙 장소가 필요하며 카메라를 장착하여 중복 촬영된 사진측량기법으로 DSM자료와 정사영상을 획득할 수 있어 연안환경을 모니터링하기 위하여 가장 많이 사용되어지고 있다(Pereira et al., 2009; Gocalves and Henriques, 2015; Klemas, 2015; Casella et al., 2016;

Papakonstantinou et al., 2016; Turner et al., 2016). 이 논문들에서는 연안지형 및 환경 모니터링을 위한 기존의 지형조사를 대체하기 위한 적응성 평가 및 지형변동 연구를 주로 다루고 있다. 이외에도 드론은 연안의 양식어장을 지도화하고(Ventura et al., 2016), 열적외선 카메라를 장착한 드론을 이용하여 연안 지하수 배출량을 추정하는데 활용되었다(Lee et al., 2016).

조사선에서 드론을 이착륙시키는 시스템을 개발하여 대양에서 해양과학조사 시에 드론을 활용하고 있다(Waugh and Mowlem, 2010; Reinman et al., 2013). Waugh and Mowlem(2010)은 조사선에서 이륙하고 바다에 동체착륙하여 기체를 회수하는 드론을 사용하였다. 동체착륙시 파손에 의한 손실을 최소화하고자 저가의 드론을 개발하였으며, 실시간으로 자료를 전송하여 파손에 의한 자료손실을 최소화 하도록 설계하였다. Reinman et al.은 SCRIPPS 해양연구소의 조사선 Revelle에 드론 이착륙 시스템을 설치하여 해양-대기 경계층의 구조와 역학에 대한 연구를 수행하였다. 여러 해양관측장비를 설치한 드론에서 얻어진 대기 및 해양환경 자료는 조사선에 장착된 장비와의 자료 동기화에 사용되었다(Lenain et al., 2013; Reinman et al., 2013).

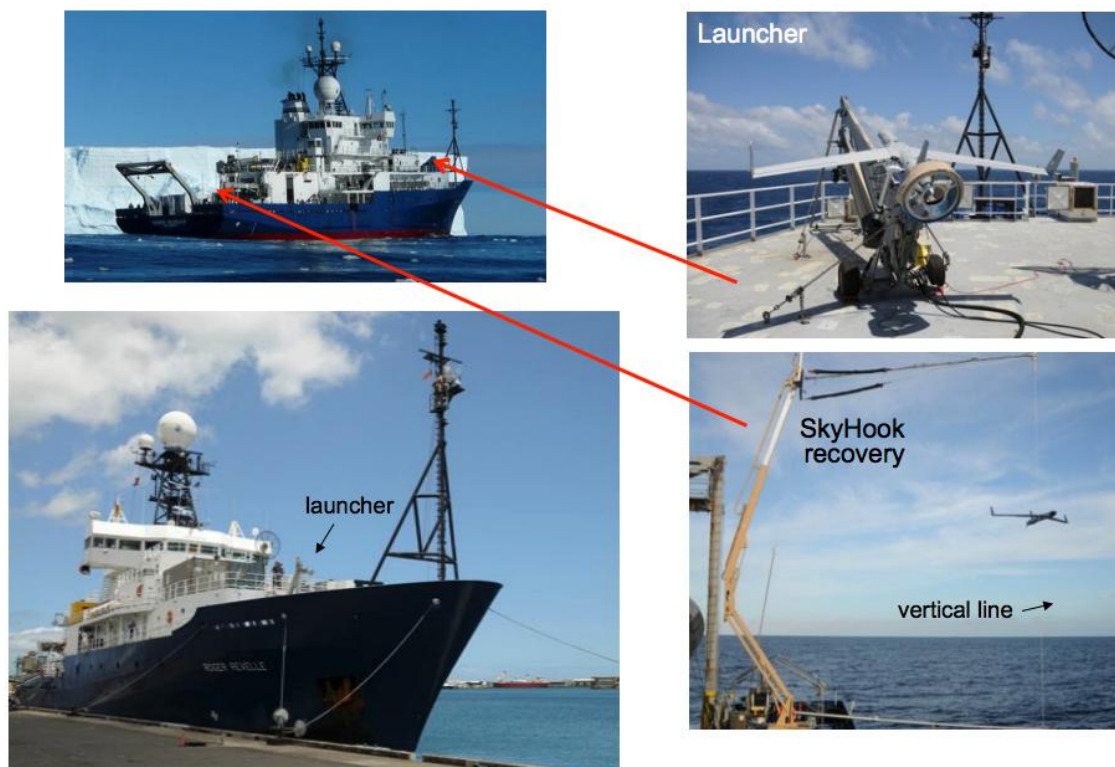
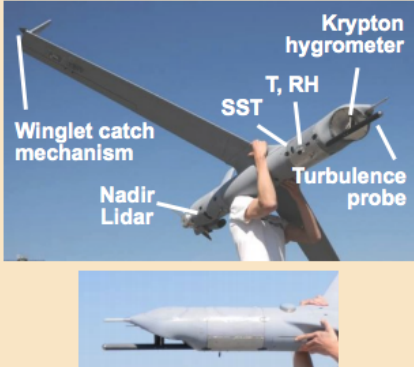


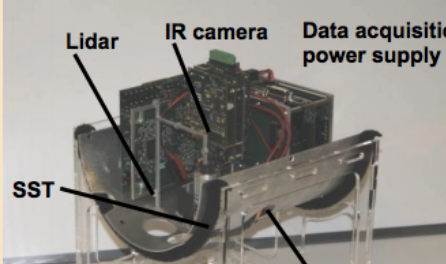
그림 6. R/V Revelle의 드론 이착륙 시스템(SCRIPPS 해양연구소)

"Flux" payload

| Instrumentation | Measurement |
|------------------------------------|---|
| 9-port turbulence/gust probe | Winds, momentum fluxes, other fluxes (vertical wind est. accuracy 2.6 cm/s) |
| Laser altimeter | Surface waves, a/c control |
| Humidity/temperature | H/T profiles and bulk fluxes |
| SST sensor | SST, frontal processes |
| Fast response optical temp. sensor | T, sensible heat flux |
| Krypton hygrometer | H ₂ O covariance fluxes |
| DAQ system | Data acquisition |
| DGPS | georeferencing, winds, a/c control |
| IMU – LN200 | georeferencing, winds |

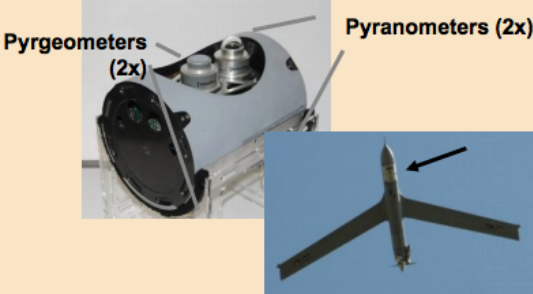


"Imaging" payload



| Instrumentation | Measurement |
|-----------------------|---|
| Laser Altimeter | Surface waves, a/c control |
| Digital Video Camera | Ocean surface processes, wave kinematics and breaking |
| SST sensor | SST, frontal processes |
| Humidity/Temperature | H/T profiles and bulk fluxes |
| FLIR A325 LWIR Camera | SST, fronts, ocean surface processes |
| DAQ system | Data acquisition |
| DGPS | georeferencing, winds, a/c control |

"Radiometric" payload



| Instrumentation | Measurement |
|----------------------|---|
| Humidity/Temperature | H/T profiles and bulk fluxes |
| Radiometers | SST, radiation budget |
| SST sensor | SST |
| Digital Video Camera | Ocean surface processes, wave kinematics and breaking |
| DAQ system | Data acquisition |
| DGPS | georeferencing, winds, a/c control |

그림 7. SCRIPPS 해양연구소 드론에 장착된 센서 및 측정자료(Lenain et al., 2013)

드론과 AVU(Autonomous Underwater Vehicles)를 결합한 해양과학조사도 시도되었다(Rajan et al., 2014). 조사선에서 조사해역에 여러 대의 AUV와 통신용 부이를 투하한 후, 드론을 이용하여 이들과의 통신을 중계하였다. 같은 시스템으로 드론, AUV 및 조사선을 이용하여 실시간으로 여러 해양 동물을 추적하고 각 동물 주변의 수중환경 자료를 수집하였다(Oliveira et al., 2013). 또한 드론을 이용하여 태풍 및 표층 해류 모니터링, 파랑 모델 연구자료를 획득할 수 있는 소형 부이를 설치하기도 하였다(Miles et al., 2001).

해양 감시를 하는 데 있어 드론은 낮은 가격과 적은 위험, 뛰어난 모니터링 능력을 갖추고 있다. 적용폭도 넓어 해상초계, 항해, 조사와 비상대응, 해양 탐색 및 구조, 주운수로 측정, 선박에서 배출되는 오일 및 하수 감시 및 조사에 활용하는 등 해역 모니터링, 바다 불법 사용 현상의 감소 등에 효율적으로 확대 적용될 수 있다(Duan and Zang, 2014).

3.2 KIOST 연구사업에 미치는 영향

드론은 인공위성과 유인항공기에서 얻어지는 원격탐사자료보다 그 측정 가능 범위는 좁지만 고해상도의 자료를 획득할 수 있으며 장착된 장비에 따라 여러 분야에서 적용이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 국제동향에서 본 바와 같이 해양과학조사에서 드론은 이제 활용이 시작되는 단계로 많은 가능성을 가지고 있다. 상용화된 드론과 자료처리 프로그램을 이용하여 얻어진 3차원 정밀 지형자료를 분석하면 연안침식 모니터링에 바로 적용할 수 있다. 드론에 특화된 열화상 카메라, 초분광센서 및 LiDAR 등을 장착하며 표층수온, 온배수 확산, 기름유출 경로 추적 등 다른 연안 해양환경 연구에 활용할 수 있을 것이다. 운용해양예보와 관련하여 드론은 해양환경에 대한 준실시간 자료획득과 모델자료와의 비교 분석이 가능할 것이며, 해양 구조 및 수색과 관련하여 정확도를 높일 수 있을 것이다. 무인 해양관측 시스템에서 드론은 AUV와 함께 운용되었을 때 공중과 수중에서의 3차원적 자료획득이 가능할 것이다. SCRIPPS 해양연구소와 같이 조사선에서 운용될 수 있는 드론을 개발한다면 조사선 이사부호의 대양 연구분야 확대에 큰 도움이 될 것이다. 이외에도 드론에서 획득된 공간정보는 연안침식 관리, 연안 난개발 감시 및 공유수면 관리 등 연안관리 및 연안정책 결정자료로도 활용이 될 것이다.

4. 결론 및 정책 제언

군사적 목적으로 시작된 드론은 취미용 드론산업의 발달과 함께 여러 분야에서 활용되면서 급속도로 발전하고 있다. 해양과학조사용 드론도 이와 맞물려 그 활용성이 증가하고 있다. 하지만 드론이 가지고 있는 한계는 아직도 많이 남아있다. 기술적인 문제는 배터리의 한계로 인한 짧은 비행시간과 주파수 충돌이다. 비행시간을 늘이기 위하여 배터리를 추가하였을 때 기체 무게가 증가하여 비행시간이 짧아지며, 추가적으로 장비를 장착하였을 때도 비행시간이 짧아지게 된다. 또한 드론에서 사용되는 단일 주파수를 사용하게 되어 다른 기기와의 주파수 충돌로 인한 추락의

위험이 있다. 국내에서 드론은 추락에 의한 파손이나 망실에 대한 보험가입이 되지 않아 다른 해양조사장비와는 달리 보상을 받을 수 없으므로 경제적으로 부담이 크다. 드론은 특성상 기상조건과 현장상황에 따라 갑작스런 현장조사를 해야만 하는 경우가 있다. 하지만 국내 항공법상 드론을 이용한 촬영은 국방부의 허가를 받아야만 하는데 신청 후 1주일 이상 소요된다. 이러한 기술적 및 법적 장애물은 드론의 해양과학조사분야에서의 확대 활용에 방해가 될 수 있다. 사생활 및 국가안보의 법적 규제 안에서 드론이 해양과학조사에서 활용되기 위하여 연구목적의 드론 사용에 대한 규제완화 및 제도보완이 필요하다고 생각한다. 향후 한국해양과학기술원이 드론을 이용한 해양과학조사 분야의 선도적 역할 하기 위하여 많은 관심과 지원이 절실히 필요하다.

참고 문헌

미래창조과학부 2016 소형 무인항공기를 활용한 국지성 해안재해 대응체계 개발

윤지영 (2016) 법집행기관의 드론 이용에 관한 법적 쟁점과 입법적 개선 방안, 형사법의 신동향 통권 (51):108-137

Ballesteros R, Ortega JF, Hernandez D, Moreno Ma (2014) Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part I: Description of image acquisition and processing, Precision Agriculture 15(6): 579-592

Casella E, Rovere A, Pedroncini A, Stark CP, Casella M, Ferrari M, Firpo M (2016) Drones as tools for monitoring beach topography changes in the Ligurian Sea (NW Mediterranean), Geo-Mar. Lett. 36: 151-163

Cheslofska D (2015) The 7 Best Agricultural Drones on the Market
<http://dronelife.com/2015/10/14/7-best-agricultural-drones-market>

Concalves JA, Henriques R (2015) UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal area, J. Photogrammetry and Remote Sensing 104: 101-111

Duan GJ, Zhang PF (2014) Research on application of UAV for maritime supervision, J. Shipping and Ocean Engineering 4:322-326

Duke University Marine Laboratory (2015) Unmanned aerial systems in marine science and conservation: A facilities scoping workshop, 3p

Floreano D, Wood RJ (2015) Science, technology and the future of small autonomous drones. *Nature* 521(7553):460–466

Hunt D (2013) World War I History: The Kettering Bug – World's First Drone
<http://hubpages.com/education/World-War-1-History-The-Kettering-Bug-Worlds-First-Flying-Bomb>

Klemas V (2015) Coastal and environmental remote sensing from unmanned aerial vehicle: An overview, *J. Coastal Research* 31(5): 1260-1267

Lee E, Yoon H, Hyun SP, Burnett WC, Koh DC, Ha K, Kim DJ, Kim Y, Kang KM (2016) Unmanned aerial vehicles(UAVs)-based thermal infrared(TIR) mapping, a novel approach to assess groundwater discharge into the coastal zone, *Limnology and Oceanography: Methods* 14(11): 725-735

Lenain L, Melville K, Reineman B, Statom N (2013) Ship-based UAV measurements of the marine atmospheric boundary layer in the equatorial Pacific, UNOLS IFC meeting-SIO

Lomax AS, Corso W, Ertel JF (2005) Employing unmanned aerial vehicles (UAVs) as an element of the integrated ocean observing system, *OCEANS*. In: *Proceedings of MTS/IEEE* 1: 184–190

Miles RT, Melhado JA, Hughes EW, Osiecki D (2001), Air-launched expendable micro-sized wave buoy, *Proceedings of MTS/IEEE Oceans 2001*: 1867–1871

Oliveira M, Rajan K, Sousa J, Niller E (2013) Fish-tracking robots take to the seas and skies of Portugal. Monterey Bay Aquarium Research Institute News Release, 13 July 2013: 1–3

Papakonstantinou A, Topouzelis K, Pavlogeorgatos G (2016) Coastal zones identification and 3D coastal mapping using UAV spatial data, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 5(6), 75

Pereira E, Bencatel R, Correia J, Felix L, Goncalves G, Morgano J, Sousa J (2009). Unmanned air vehicles for coastal and environmental research, *Proceedings of the ICS, J. Coastal Research* 56: 1557–1561

Reineman BD, Lenain L, Melville WK (2016) The use of ship-launched fixed-wing UAVs for measuring the marine atmospheric boundary layer and ocean surface processes, *J. Atmospheric and Oceanic*

Technology 33: 2029-2052

Rajan K. Sousa J, Niiler E (2014) Eyes in the sky—And the sea. Discover, April 2014: 20

Turner IL, Harley MD, Drummond CD (2016) UAV for coastal surveying, Coastal Engineering 114: 19-24

Ventura D, Bruno M, Lasinio GJ, Belluscio A, Ardizzone G (2016) A low-cost drone based application for identifying and mapping of coastal fish nursery grounds, Estuarine, Coastal and Shelf Science 171: 85-98

Waugh E and Mowlem M (2010) Technical Note: A low cost unmanned aerial vehicle for ship based science missions, Ocean Sci 6: 615-619

Zimmer (2013) The flight of 'Drone' from bees to planes, The Wall Street Journal, 2013. 7. 26.
<http://www.wsj.com/articles/SB10001424127887324110404578625803736954968>