

선박/해양플랜트 유지보수 점검용 드론의 기술현황과 과제

김경화* · 천강우**†

*, ** (사)한국선급 미래기술연구팀

Technical Trends and Issues Related to Maintenance/Inspection Drones for Ships or Offshore Plants

Kyunghwa Kim* · Kangwoo Chun**†

*, ** Future Technology Research Team, Korean Register of Shipping (KR), Busan 46762, Korea

요 약 : 군사용으로 먼저 개발되어 온 드론은 요소기술의 급격한 발전을 통해 민간 분야로 확대되면서 최근 다양한 산업분야에 활용되고 있다. 이러한 시대적 흐름에 따라, 조선해양 산업계에서도 유지보수 및 점검용으로 드론의 활용이 유럽을 중심으로 본격화되고 있다. 이와 관련하여, 본 논문에서는 조선해양 분야에 적합한 드론의 기술개발을 위해 선박 및 해양플랜트의 유지보수 점검의 현상태를 진단함으로써 드론 기술개발의 방향성을 제시한다. 즉, 조선해양용 드론이 이미 상용화 된 선진국의 기술력을 살펴보고, 조선해양 산업계에서 드론시대를 대비하여 해결해야 할 기술적 과제들을 소개한다. 또한, 이러한 드론의 시장성장 가능성을 전망함으로써 기술개발의 추진력을 제공하고자 한다.

핵심용어 : 드론, 선박, 해양플랜트, 유지보수, 점검

Abstract : Drones, which were first developed for the military use, have been widely applied in various industrial fields through the rapid development of element technology. Following this trend, the marine industry has started to utilize drones for maintenance and inspection purposes, especially, in Europe. To extend the use of drones in the marine industry, this paper first discusses the necessity of drones for the marine use by presenting problems related to maintenance and inspection works on ships and offshore plants. In addition, the technical levels of advanced countries where drones have been commercialized already in the marine industry are mentioned. Furthermore, technical challenges that must be solved are explained in preparation for a drone era in the marine industry. Lastly, the potential growth of the drone market in the marine industry is considered.

Key Words : Drone, Ship, Offshore plant, Maintenance, Inspection

1. 서 론

드론은 현재 다양한 의미로 사용되고 있으며, 미국 및 유럽에서는 UAV(Unmanned Aerial Vehicle) 및 UAS(Unmanned Aircraft Systems)로도 불리어지고 있다. 본 논문에서는 KS W 9000 (무인항공기시스템-제1부: 분류 및 용어)에 따른 무인비행체의 범위 중 소형 무인동력비행장치(Small UAV)(Table 1)를 대상으로, 선박/해양플랜트 유지보수 점검용으로의 활용방안에 대해 작성하였다.

이러한 소형 무인동력비행장치 유형의 드론은 1930년대에

군사적 용도로 처음 개발되었으나, 현재의 가치는 그 한계를 정할 수 없을 만큼 크다. 즉, 범죄예방, 화물운송, 재난감시, 군사목적 뿐 아니라 방송촬영, 농약살포, 물품배송에 이르기까지 많은 분야에 걸쳐 관심을 받고 있으며, 기존의 단순한 영상촬영 용도에서 벗어나 일정 임무를 수행하는 진화된 서비스를 제공하고 있다. 그 중 유지보수 점검용 드론이 다수의 업체에서 개발되고 있으며, Target 시장 중 하나로 조선해양 산업을 주목하고 있다. 이러한 기술흐름에 따라, 국제선급연합회(IACS)에서는 2016년 6월, Recommendation No.42 ‘Guidelines for Use of Remote Inspection Techniques for Surveys’을 전면 개정하고 원격무인장비인 URA(Unmanned Robot Arms), ROV(Remotely Operated underwater Vehicle), Climber와 함께 드론을 검사용 장비에 포함시켰다.

* First Author : kimkh@krs.co.kr, 070-8799-8759

† Corresponding Author : kwchun@krs.co.kr, 070-8799-8745

Table 1. Categories of UAV according to maximum take off weight

Category	Max. take off weight
Large UAV	over 600 kg
Medium UAV	150 kg ~ 600 kg
Light UAV	25 kg ~ 150 kg
Small UAV	2 kg ~ 25 kg
Micro UAV	under 2 kg

본 논문에서는 조선해양 분야에서 유지보수 점검용 드론의 현 상황을 진단하고, 조선해양 산업계에서는 아직 생소한 드론의 성공적인 기술진입을 위해 필요한 기술정보를 제공하고자 한다. 이와 관련하여, 본 논문의 2장에서는 유지보수 점검의 범위 및 문제점을, 3장에서는 해외에 적용된 사례를, 4장에서는 상용화를 위해 해결해야 할 기술적 현안들에 대해 제시하였다.

2. 유지보수 점검의 범위 및 문제점

2.1 유지보수 점검의 범위

선박 및 해양플랜트에서 유지보수(Maintenance)의 의미는 점검 과정 중 고장이 검출 혹은 예견되거나, 운전 중 돌발사고가 발생 시 수반되는 전반적인 활동을 칭하며, 부품, 소모품, 장비의 수리 및 교체, 계측기기류의 교정, 도장 및 용접 작업 등이 포함된다. 이때, 필요한 장비로는 치, 공구류, 줄자, 해머, 랜턴, 용접장비, 도장장비, 장비 운송용 크레인 및 도르레 각종 안전장비 및 계측장비 등이 포함된다.

또한, 점검(Inspection)의 의미는 정기적으로 수행되는 정기 점검 혹은, 기기의 특성별로 정해진 주기에 따라 시행하는 예방점검 활동(PMS; Planned Maintenance System)을 칭하며, 장비 및 도장 검사, 선체두께 계측, 탱크 및 화물창 검사 등이 포함된다. 이때 필요한 장비로는 랜턴, 적외선 열화상 카메라, 디지털 카메라, 각종 비파괴검사 장비, 휴대용 가스탐지기, 두께 계측장비, (홀드 내부검사 시) 체리피커, 각종 안전장비 및 계측장비 등이 해당된다.

이와 관련하여, 드론의 수요자인 해운사, 선급, 정밀검사 및 수리전문 업체를 대상으로 업무 범위를 조사한 결과는 Table 2와 같다.

2.2 유지보수 점검의 문제점

해양사고의 사전대응 및 유지보수 점검 시의 안전성 확보를 위해 ‘선박 및 해양플랜트용 드론’의 필요성이 높아지고 있다. 특히, 앞에서 언급한 수요자 대상 설문조사에서 드론의 활용이 가장 선호되는 구역은 ‘밀폐구역’과 ‘고소구역’으

Table 2. Inspection or maintenance items for ship/offshore plant

Category	Item
Maintenance	(Inside) Various types of mechanical equipment, electric equipment, automation system, tanks, cargo hold, lighting, navigation lighting, detectors, exhaust gas funnel, inside painting, etc.
	(Outside) An arm/wire of cranes, mooring winches & chains, outside pipes, outside painting, radar mast, foremast, lighting, etc.
	(Inside) The same as the ship above (Outside) Including the items of ship above, flare tips, pipes under the platform, etc.
Inspection	(Inside) Inspection of various types of mechanical equipment, electric equipment, automation system, inspection of cracks, corrosion, painting inside of tanks or cargo holds, inspection of exhaust gas funnel, etc.
	(Outside) Inspection of an arm/wire of cranes, mooring winches & chains, inspection/checking leakage gas of outside pipes, measuring thickness of hulls, inspection of paintings, measuring draft, etc.
Offshore Plant	(Inside) Including the items of ship above, inspection of seawater lift pump caisson, J-tube, etc.
	(Outside) Including the items of ship above, inspection of flare tips, splash zone, under deck (Cracks, Paintings, etc.), inspection of unmanned wellhead platforms, inspection / checking leakage gas of outside pipes, etc.

로 조사되었다(Fig. 1).

우선, 선박에서는 폐위된 밀폐구역(Confined Space)에서의 유지보수 작업 시 사고발생의 가능성이 대단히 높다. 즉, 탱크에서 발생하는 위험물질로 인한, 화재 및 폭발가능성과, 가스, 연기, 증기 및 산소결핍으로 인한 기절 및 질식 등의 위험요소가 상존해 있기 때문이다. 이러한 주요 밀폐구역에는 보일러, 압력용기, 화물창, 화물탱크, 평형수 탱크, 이중선체 구역, 연료유 탱크, 윤활유 탱크, 오수 탱크, 펌프룸, 공소, 덕트킬, 엔진 Crankcase 등이 포함된다(KR, 2015).

또한, 선박 및 해양플랜트에서는 혹독한 기후조건, 선원의 부주의, 보호장비 미착용 등으로 인해 추락사고의 위험성이 높다. 산업안전관리공단 산업재해조사 통계(2015년)에 따르면, 선박 건조/수리업 종사자 재해사고 1위(15.4%)는 추락사고인 것으로 조사되었다.

선박/해양플랜트 유지보수 점검용 드론의 기술현황과 과제

이에 대한 해결책으로, 인력의 접근이 힘든 장소에 대신 투입될 수 있는 다양한 형태의 로봇이 개발되고 있다. 특히, 비행능력이 있는 드론의 역할이 주목받고 있으며, 이미 다수의 실적을 통해 인명사고 예방 뿐 아니라, 검사 시간의 단축도 입증되고 있다.



Fig. 1. Dangerous working conditions for maintenance/inspection.

3. 유지보수 점검용 드론의 해외동향

육상플랜트 분야에 공급해 온 유지보수 점검용 드론을 해양플랜트 분야로 확대시킨 업체가 증가하고 있으며, 이미 글로벌 주요 석유&가스 기업인, Statoil, Shell, BP, Total, Exxon 등에 드론이 납품되고 있다. 이러한 드론의 주요 활용 범위는 아래와 같다(Fig. 2).

- Live Flare Stack(폐가스 소각탑) 및 Flare Tip(Flare Stack 최상부에 설치되는 설비) 검사
- Splash Zone(비말대, 파도에 노출된 구역) 부식 검사
- Cargo 탱크 내부 검사
- 위험상황 시 상황보고 및 긴급출동
- Under deck 검사
- Topside 검사

이렇듯 드론이 해양플랜트에 적용되는 사례가 증가함에 따라, 2017년 1월, 운용자가 고려해야 할 관리 지침인, ‘Unmanned Aircraft Systems (UAS) Operations Management Standards and Guidelines’을 Oil & Gas UK 사에서 발표하였다.

선박의 경우에는 해양플랜트와는 달리, 드론 활용이 초기 도입단계이나 최근 들어 드론이 시험 적용되기 시작하였다. 한 예로, 2016년 Mearsk 선사에서는 방폭형 드론으로 시험운전을 수행하였으며, 최근에는 탱크 내부검사를 위한 밀폐구역 전용 드론이 사용되기 시작했다.

또한, 드론과 함께 가상현실(Virtual Reality) 기술을 사용하여 도장 및 부식검사 등의 선박 검사업무를 고도화시키는 R&D 프로젝트(RECOMMS; Remote Evaluation of Coatings and Corrosion on Offshore Marine Structures and Ships)가 영국회사를 중심으로 2017년 초에 시작되었으며, 드론으로 촬영한 영상을 온라인 상에서 확인, 관리 및 분석할 수 있는 사용자 전용 웹사이트를 함께 제공하는 업체도 등장하고 있다(Fig.

3). 이러한 조선해양용으로 시범운용 혹은 판매가 되고 있는 드론제품의 사양은 Table 3과 같다.

이러한 시대적 흐름에 따라, 조선해양 분야의 수요자가 원하는 수준으로 드론이 개발하기 위해서는 사용목적(정찰/감시, 정밀검사 등), 사용환경(해상환경, 밀폐공간 등) 및 선종별 특성(위험물 적재 여부 등)에 적합한 요소기술이 확보되어야 한다. 또한, 국내·외 시장진출에 필수적인 기반구축 연구도 병행되어야 한다.



Fig. 2. Drones for offshore plants or ship (Left: AIRFILMS, Right: Sky-futures).



Fig. 3. The web sites for drone users (Left: Cyberhawk, Right: Sky-futures).






4. 상용화를 위한 기술적 제언

선박/해양플랜트 유지보수 점검용 드론의 상업화 진출을 위해 기술적으로 고려해야 할 사항들을 기술분류에 따라 살펴보면 아래와 같다.

4.1 드론의 설계 및 제작 기술

선박/해양플랜트는 오일 혹은 가스를 수송 및 취급하는 유조선, LNG선, LPG선, FPSO(Floating Production Storage and Offloading), Drillship 뿐 아니라, 기본적으로 가연성의 가스, 증기 및 분진을 발생시킬 수 있는 연료(Fuel oil), 페인트 등을 가지고 있다. 따라서 드론을 폭발위험이 있는 방폭구역(Hazardous area) 내에서 안전하게 사용하기 위해서는 장비의 방폭화가 요구된다. 이때, 방폭등급이 표시된 도면(Fig. 4), 폭발성 가스 혹은 증기의 종류, 발생빈도 및 발화온도 등을 사전에 확인하여야 하며(Min, 2016), 드론에 탑재되는 모터, 카메라, 센서 등도 방폭형으로 선정하여야 한다. 따라서 방폭형 드론은 방폭 설계로 인해 중량증가가 불가피하므로,

Table 3. The specification of drones for marine/offshore application

Model	LE 4-8X Dual Atex	Phantom 4 Pro	Highone4 HSE Pro	Elios UAV	Cyberhawk
Figure					
Company	Xamen (France)	DJI (China)	SEIKEY (Italy)	Flyability (Switzerland)	Cyberhawk (UK)
Size	120cm	35cm (Excluding Propeller)	72cm	40cm	100m
Weight	4.2kg	1.4kg (Including Battery, Propeller)	9kg	0.7kg (Including Battery, Payload & Protection)	2kg
Max. flight time	8~15 min.	30 min.	15~30 min.	10 min.	-
Speed	16m/s	20m/s (S mode)	-	3 m/s (Normal mode) 7 m/s (Pro mode)	-
Main mounting equip't	Explosion-ploof camera (Zone2)	Full HD camera (4K 60fps)	Full HD camera	Full HD camera (1920x1080 30fps) Thermal camera (160x120, 9fps)	Full HD camera, Thermal camera
Application	Outside inspection including explosion areas (Underdeck/topside of offshore plant, ship's outside hull, flare tip(stack), corrosion areas(splash zone), gas detection, etc.)	Outside/inside inspection (Corrosion check, cargo hold inspection(open space), etc.)	Outside inspection (Underdeck/topside of offshore plant, ship's outside hull, flare tip(stack), corrosion areas(splash zone), gas detection, etc.)	Enclosed space inspection (Corrosion check, tank/cargo hold inspection (enclosed space), etc.)	Outside inspection (Underdeck/topside of offshore plant, ship's outside hull, flare tip(stack), corrosion areas(splash zone), gas detection, etc.)
Etc.	<ul style="list-style-type: none"> Obtained ATEX Zone2 certification Trial test for a ship owner MAERSK (2016) Autopilot (50 waypoints) 	<ul style="list-style-type: none"> Lithium polymer battery (5870mAh, 468g, 100W) Remote control: 7km (Unobstructed) Satellite Positioning Systems: GPS/GLONASS Trial test for a class DNVGL (2016) 	<ul style="list-style-type: none"> Wind resistance: 13m/s Return Home with auto-landing 	<ul style="list-style-type: none"> Remote control: ~0.5km Collision resistance: ~15km/h Wind resistance: ~5m/s (Pro mode) Lithium polymer battery (33.08Wh) LED lighting (28W) 	<ul style="list-style-type: none"> High hovering accuracy Supplied to offshore O&G companies since 2012

(Source: websites of each drone company)

제공시간 확보를 위한 경량화 설계가 중요하다. 하지만 드론이 방폭성능을 가지게 되면 활용범위를 보다 넓힐 수 있으며, 특히 넓은 구역의 가스 누출 검사에 유리하다.

그리고 해상환경에서 사용되는 드론의 경우에는 해당 지역의 풍속, 돌풍빈도, 강우빈도 및 안개 등의 기상조건에 따라 내염분성, 방수성 및 내풍성을 만족하여야 한다. 특히, 해상은 육지에 비해 장애물이 없어 평균 풍속이 약 20% 정도 높은 점을 고려할 필요가 있다(KOTRA, 2014). 또한, 해상은

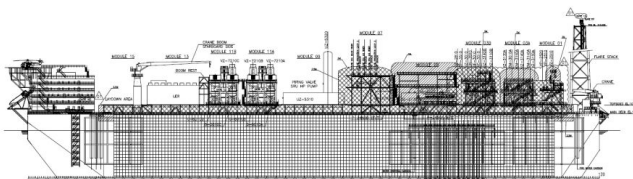


Fig. 4. Example of FPSO hazardous area drawing (IEC, 2012).

육지에 비해 바람의 난류 및 풍속 변화가 적으나(Kim et al., 2012), 국지성 돌풍으로 인해 기체의 균형상태가 깨지게 되면 추락사고가 발생할 수 있다. 따라서 풍속이 높아지면 모터의 출력을 제어함으로써 자세를 유지시키되, 허용 풍속을 초과하면 자동으로 귀환할 수 있어야 한다.

또한, 탱크 혹은 화물창 내부에 드론이 투입될 경우에는 충돌방지를 위한 짐볼형태의 드론이 적합하다. 이때 드론을 둘러싼 Guard의 재료선택이 중요한데, 선진업체인 Flyability社에서는 경량성과 탄력성이 있는 탄소섬유를 사용하였다.

이렇듯 조선해양용 드론은 방폭성능 및 내환경성 그리고 경우에 따라서 Guard 장착형이 될 수 있다. 따라서 조건에 따라 기체가 무거워질 수 있으므로, 비행시간을 고려한 최적의 기체 크기 및 성능 선정이 중요하다.

더불어, 갑자기 기체와 컨트롤러와의 연결이 두절되는 상태, 비행 중 돌풍에 의한 자세불안정, 드론의 전원공급 상실

선박/해양플랜트 유지보수 점검용 드론의 기술현황과 과제

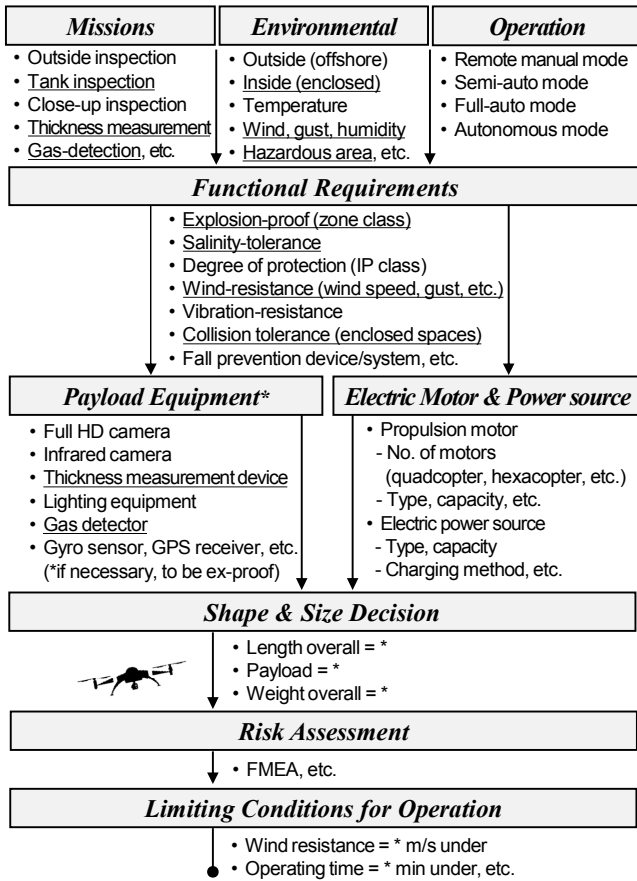


Fig. 5. Example of a simple process for the drone design (underline: particular requirements for the ship/offshore application).

및 제어 오류 등 다양한 위험요소를 감소시키기 위한 이중화 설계(Redundancy Design)가 요구된다(Kim and Han, 2017). 이러한 이중화 설계는 비용 및 무게증가가 수반되므로, 각 구성품별 고장영향을 분석하는 FMEA(Failure Mode and Effects Analysis)가 설계단계에서 권고된다(Shawn Reimann et al., 2013). 특히, 모터 한 개가 고장이 나더라도 RTH(Return To Home) 기능에 의해 자동착륙이 가능하여야 하며, 선박 및 해양플랜트 환경을 고려한 다양한 사고 시나리오를 사전에 검토하여야 한다.

또한, 드론의 대표적인 추락 방지책인 낙하산은 고도가 높지 않은 조선해양용으로는 적합하지 않은 것으로 판단되며, 대신 해상 추락에 대비하여 탈부착이 가능한 에어쿠션이 사용될 수 있다. 그리고 향후에는 드론 전체를 에어백으로 감싸 추락 시 인명피해를 막을 수 있는 기술도 가능할 것으로 기대된다(Fig. 6).

그리고 기본적으로 카메라 및 기타 탑재장비를 통한 정확한 데이터 획득을 위해서는 진동보강 설계가 이루어져야 한다. 이때 기본적으로 짐볼의 댐퍼(Damper)가 비행 시 발생하는 진동을 흡수하는 완충기 역할을 담당한다. 그리고 3축 운

동(Roll/Pitch/Yaw)을 통해 동적인 외란에도 불구하고 카메라의 시선을 추적할 수 있는 안정화 구동장치가 사용될 수 있으며, 보다 정교한 제어기법에 관한 연구도 진행 중에 있다(Byun and Cho, 2016). 따라서 유지보수 점검용 드론 설계 시 고려사항을 단계별로 살펴보면 Fig. 5의 예시와 같으며, 특히 타용도의 드론과 대비하여 아래와 같은 사항이 고려될 것을 제안한다.

- 사용처 및 기상조건에 따른 내환경성(내풍성, 내염분성, 방수성 등)
- 방폭구역 검사를 위한 방폭성(방폭등급/종류 검토 필요)
- 밀폐구역(탱크/화물창) 내부검사 시의 내충격성
- 설계단계에서의 위험성 분석(FMEA 등)을 통한 안전 설계
- 추락 방지를 위한 부가장비(에어쿠션, 에어백 등)의 적용
- 촬영영상 및 센서값의 정확성을 위한 진동보강 설계 등



Fig. 6. Prevention methods for drone falling (Left: WaterStrider, Right: Disney (Concept design)).

4.2 드론의 체공시간

다른 산업용 드론과 마찬가지로, 드론의 사용에 있어서 가장 중요한 부분인 운용시간의 한계를 넘어서기 위해서는 배터리 기술의 발전이 필수적이다. 현재 보편적으로 사용되고 있는 리튬 배터리의 경우, 최대 30분 이상의 비행에는 무리가 따른다. 또한, 기체의 성능이나 기상여건, 탑재무게 등에 따라서 운용시간이 크게 영향을 받는다(Choi and Ahn, 2015). 즉, 높은 풍속에 견딜 수 있도록 설계할 경우에는 전력소모량이 커서 체공시간이 보다 짧아질 수 있다.

이와 관련하여 배터리의 최신 기술동향을 살펴보면, 연구 단계인 리튬에어 배터리(Lithium-air Battery)는 기존 리튬이온 배터리에 비해 약 5~10배나 높은 고밀도의 에너지를 가지고 있어 상용화될 경우, 드론의 비행시간에 있어 획기적인 발전을 가져올 것으로 예상된다. 더불어, 최근 얇은 니켈 박막을 사용하여, 저온에서도(영하 20~30도) 에너지 손실 없이 전력을 공급할 수 있는 리튬이온 배터리 기술도 발표되고 있으므로(Irobot News, 2016), 향후 북극해의 해양플랜트 혹은 빙해선과 같은 극저온 환경에서도 드론이 사용 가능할 것으로 기대된다.

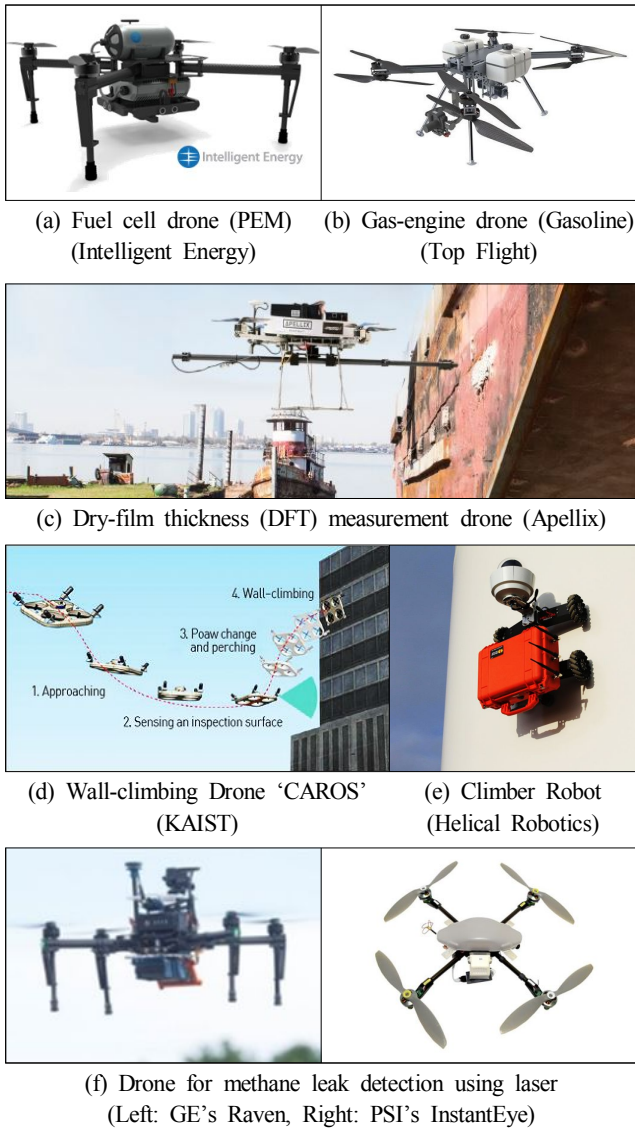


Fig. 7. The various types of drones.

또한, 전력선의 연결 없이 근접거리에서 전자기유도(Induction coupling) 방식에 의해 무선으로 배터리를 충전하는 방식도 상용화 단계에 진입하였으므로(Robotnews, 2016), 드론도 휴대폰과 같이 간편하고 빠른 충전이 가능할 것으로 전망된다. 그리고 장기체공을 위한 다른 대안으로, Cargo Tank, Cargo Hold와 같이 제한된 장소에서는 운전 중 케이블을 통해 전력을 공급받는 유선방식도 고려될 수 있다.

한편, 드론의 전력원으로 배터리와 함께 연료전지(Fuel Cell) 혹은 발전기 엔진을 같이 사용하는 Hybrid 발전 방식도 적용 가능하다. 우선 연료전지를 사용하게 될 경우에는, 수소 공급을 위한 연료(LNG, LPG, 압축수소 등)를 주기적으로 공급해 주어야 한다. 또한, 수소 가스는 폭발범위가 넓고 폭발화염 전파속도가 매우 빠른 가연성 가스이므로(Hoseo University,

2006), 누출로 인한 사고가 발생되지 않도록 설계하여야 한다. 하지만 연료전지는 소음 및 배출가스가 없으며, 리튬 배터리 대비 높은 에너지 밀도를 가지고 있어 운전시간이 긴 장점이 있다. 특히, 취급이 비교적 용이하고 100℃ 이하의 낮은 운용온도 특성을 갖는 PEM(Proton Exchange Membrane) 연료전지의 경우, 약 2~4시간 정도의 장시간 비행성능을 가진다(Sisco, 2017; Kim, 2016). 그리고 최근 상용화 단계로 진입한 탄소섬유 재질의 압축수소 저장탱크(Kim, 2016)의 사용도 중량감소를 위해 검토될 수 있다(Fig. 7(a)).

반면, 오래 전부터 군용 무인항공기에 주로 적용해 온 발전기 엔진의 경우에는 연료충전 문제 뿐 아니라, 소음 및 진동, 그리고 배출가스에 의한 환경오염 문제도 고려하여야 한다(Osenar et al., 2017)(Fig. 7(b)).

이렇듯 드론의 동력원을 선정할 경우에는 드론의 사용 목적 및 사용 환경을 고려하여야 한다. 즉, 순찰 및 외관검사와 같은 장시간 검사용으로는 Hybrid 발전 방식을, 제한된 구역 내에서 영상촬영 및 정밀검사를 위해 높은 자세유지(Hovering) 성능이 필요한 경우에는 배터리 발전방식이 적합하다. 즉, 드론의 체공시간 관련하여 아래와 같은 방안이 검토될 것을 제안한다.

- 단시간(20~30분) 검사 시 리튬배터리 전원방식
- 장시간(30분 이상) 검사 시 Hybrid(연료전지 혹은 발전기 엔진) 전원방식
- Cargo hold, Tank 등 제한구역 내 비행 시 유선전원 방식
- 배터리 전원 적용시 신속한 충전을 위한 무선충전 방식
- 배출가스, 소음, 진동 등을 고려한 동력원의 선정
- Hybrid 동력원 드론의 경우, 중량감소를 위한 경량화 및 소형화 설계 등

4.3 드론의 제어 기술

드론의 제어 기술은 원격제어(Remote Control)와, 자동제어(Automatic control) 그리고 자율제어(Autonomous Control)로 구분될 수 있다. 현재 드론은 원격 조종기(Remote Controller)로 근거리에서 제어하는 원격제어 방식에서, 미리 설정된 GPS 경로점에 따라 자동비행을 하는 방식으로 진화하고 있으며(Fig. 8(a)), 자율제어 기술은 아직 도입 전 단계로 관련 연구가 활발히 진행 중에 있다.

특히, 선박 및 해양플랜트와 같이 복잡한 형태의 구조물의 경우, 사전에 정밀한 경로점 설정이 필요하며 이를 위해 미리 3D 이미지를 통해 정확한 진단을 할 필요가 있다. 그리고 화물창 혹은 탱크내부와 같은 밀폐구역 점검시, SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)과 같은 자율비행 기술은 초기 연구단계이므로 바닥의 마커(Marker)를 통한 영상처리 기법(Fig. 8(b)), 실내 스캔(3D맵)을 통한 위치인식 방법,

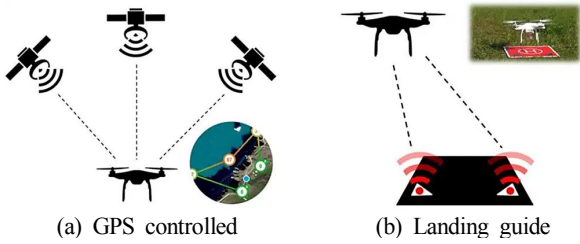


Fig. 8. The auto piloting of drones (Parrot).

그리고 비콘신호를 이용하는 방법 등 다양한 기법이 시도될 수 있을 것으로 예상된다(Lee et al., 2015).

그리고 외관 검사의 경우에도 보다 정확한 GPS 정보를 받기 위해 2개 이상의 GPS 신호를 받는 방식이 적용될 수 있다. 한 예로, 중국 DJI 社의 일부 드론은 위치정밀도를 높이기 위해 GPS 및 GLONASS 위성신호를 모두 받도록 설계되었다. 이와 관련하여, 최근 GPS의 오차를 1m 이내까지 줄이는 초정밀 GPS 보정시스템인 ‘SBAS(Satellite Based Augmentation System)’가 전 세계적으로 개발 중에 있다(KARI, 2016). 이러한 보다 정확하고 정밀한 위성통신 인프라의 구축은 드론을 사용한 택배서비스(예: 아마존의 Prime Air)나 배달서비스(예: 도미노피자의 Domi Copteter)의 상용화를 앞당길 뿐 아니라, 드론을 활용한 선박/해양플랜트 외관검사의 실효성도 높일 수 있을 것으로 보인다.

더불어 드론의 비행은 기본적으로 카메라 및 초음파 센서를 이용한 장애물 감지 및 충돌회피 기술이 수반되어야 한다. 이는 드론과의 충돌로 구조물의 손상 뿐 아니라 인명피해도 발생할 수 있기 때문이다. 다만, 타용도의 드론과 달리, 정밀검사용 드론은 근접촬영을 위해 필요시에는 장애물 감지 및 회피 거리를 단축시킬 수 있어야 한다. 따라서 드론의 제어기술과 관련하여 아래와 같은 사항들이 검토될 것을 제안한다.

- 사전 정밀분석을 통한 드론의 비행 경로점 설정
- 위치인식 기법을 통한 밀폐구역에서의 자동비행 기술
- 다수의 위성통신을 통한 외관구역에서의 자동비행 기술
- 정밀검사(근접촬영 등)용 드론의 경우, 장애물 감지 및 충돌회피 기술의 특별사양 검토 등

4.4 드론을 활용한 정밀검사 기술

선박 및 해양플랜트의 정밀검사는 일반적으로 두께 계측기 및 각종 비파괴검사(NDT; Non-Destructive Testing) 장비 등을 사용하며, NDT의 경우 초음파탐상검사(UT; Ultrasonic Test), 방사선투과검사(RT; Radio-graphic Test) 등이 사용된다. 하지만 이러한 검사장비는 접촉식이거나 무거워 드론에 탑재하기 어려운 문제점이 있다.

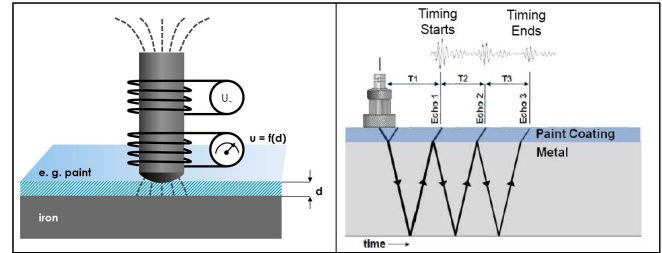


Fig. 9. Magnetic induction method (Source: phynix).

Fig. 10. Ultrasonic thickness (Source: farwestcorrosion).

물론 최근 항공기 및 자동차 분야에서는 적외선 열화상 카메라를 활용한 새로운 비접촉식 비파괴 검사 방법이 적극 도입되고 있다. 즉, 기존에는 대상체에 가해지는 외부 에너지 지원이 없이 대상체의 순수 온도만을 측정하는 수동적(Passive) 검사기법이 사용되었으나, 최근에는 대상체의 고유 적외선량에 의존하지 않고 제어 가능한 에너지를 입사하고, 그 반응으로 대상체가 방사하는 적외선 에너지를 측정하여 분석하는 능동적(Active) 검사기법이 정밀 균열판독에 주로 활용되고 있다. 대표적으로 대상체에 진동 또는 초음파 에너지를 가하고 그 주파수와 열화상 카메라의 노출을 동기화시키는 ‘Lock-in 서머그래피’가 많이 사용된다. 이 방법은 염료나 분말침투 및 방사선 투과검사법 등의 불편한 방법을 사용하지 않아도 되며 인체에도 무해하다(Lee, 2013). 하지만, 이러한 검사장비도 가진장치의 무게 및 부피로 인해 드론에 적용하기 위해서는 아직 현실적인 어려움이 있다. 따라서 드론 자체에 대한 기술 뿐 아니라, NDT 검사장비의 소형화 및 경량화 기술이 수반되어야 한다.

또한, 선박 및 해양플랜트는 해수 및 해풍에 의한 부식상태를 점검하기 위해 도장검사가 수행된다. 이때, 고소(高所) 구역의 도장두께 계측 시 드론을 사용하게 되면, 로프, 족장 등의 설치 없이 간편하게 계측이 가능하다. 최근(2017년 8월) 접촉식 프로브를 통한 자기유도(Magnetic Induction) 방식의 도장두께 계측용 드론이 출시되었다(MP, 2017)(Fig. 7(c)). 이 자기유도 방식은 철소재 위의 페인트와 같은 비자성도장을 측정하는 가장 보편화된 방식으로, 전극을 도장면에 접촉하여 전압을 가해 자속을 발생시키고, 이때 발생된 자속의 변화로 거리를 측정하는 방법이다(Sechang Instruments, 2007)(Fig. 9). 이 외에도 선체 및 도장 두께, 금속 내부의 크랙, 기공 등의 검사에 주로 사용되는 초음파 두께계측기를 드론에 탑재하는 방법도 고려할 수 있다. 이러한 초음파 계측은 발신부에서 보낸 초음파가 대상물체에 부딪혀서 수신부로 돌아오고, 이런 송수신간의 반향시간으로 대상 물체와의 거리를 측정하는 방법으로(Fig. 10), 장비의 소형화 및 경량화, 드론의 진동 최소화, 자세위치의 정확성이 수반된다면 상용화가 가능하다.

또한, 다른 대안으로, 넓은 구역에 걸친 정확한 검사위치의 파악은 고화질 카메라가 장착된 드론으로 확인하고, 벽면에 밀착하여 이동할 수 있는 Climbing Robot에 접촉식 두께계측기를 장착하여 협업으로 검사하는 방법이 시도될 수 있다. 이와 관련하여, 최근 개발된 비행 중 자세변환을 통해 벽면등반도 가능한 복합드론(KAIST, 2015)도 정밀검사용으로 검토할 만하다(Fig. 7(d), (e)).

그리고 가스 누출을 원거리에서 신속하게 확인하기 위해 화학센서, 레이저 검지기, 적외선 열화상 카메라 등을 탑재한 드론이 사용될 수 있다. 특히, 육상 플랫폼을 중심으로 화재사고 예방을 위해 레이저 메탄 검지기를 장착한 쿼드콥터 드론(Fig. 7(f))이 개발되어 실제 운용시험을 완료하였다(Unmanned Aerial, 2016). 이 메탄 검지기는 확산성이 적으면서도 메탄에 반응하는 적외선 레이저의 특성을 이용한 것으로, 누출지점으로 레이저를 보내고 누출된 메탄에 반응해 변형돼 돌아오는 반사파의 양을 측정해 가스누출 여부와 누출량을 측정(Fig. 11)하는 원리이다. 이때, 레이저빔을 조사하여 돌아오는 빛의 세기를 측정하기 위해서는 약 2초간 체공 상태에서 흔들림 없이 자세를 유지할 수 있어야 한다(Gasnews, 2016).

특히, 메탄 검지기용 드론은 메탄을 주성분으로 하는 LNG 수송선 및 LNG-FPSO(부유식 LNG 생산·저장·하역 장치)에서 가스누출 여부를 확인하는데 유리하다. 또한, 선내 잔존 가능한 유증기 및 유독성 가스(암모니아, 프로판 등)의 탐지를 위해서도 드론의 활용이 고려될 수 있다.

이러한 정밀검사는 주로 NDT, 두께계측기 등의 장비를 보유한 전문검사업체와 선주 및 선급 감독관의 입회하에 수행하게 된다. 따라서 드론과 같은 새로운 검사장비에 대한 상세정보 및 검사 방법 등이 사전에 문서로 제출되어야 하며, 충분한 협의를 거친 후 검사가 진행되어야 한다. 또한, 선급규칙에서는 정밀검사의 정의가, ‘손이 닿을 수 있는 거리에서 대상물의 상태를 육안검사에 의하여 시행하는 세밀한 검사’로 되어 있다(IACS, 2016). 따라서 드론을 통해 정밀검사를 수행하게 될 경우, 정밀검사에 대한 새로운 용어 정의, 기존의 검사 방법의 적절성 등을 보다 구체적으로 검토할 필요가 있다. 따라서 정밀검사용 드론 개발을 위해 제안하는 사항은 아래와 같다.

- 드론 탑재를 위한 NDT 장비의 비접촉화, 소형화 및 경량화
- 두께계측을 위한 진동 최소화 및 자세유지의 정확성
- Climbing Robot과 드론의 협업 또는 자세변형이 가능한 드론의 개발

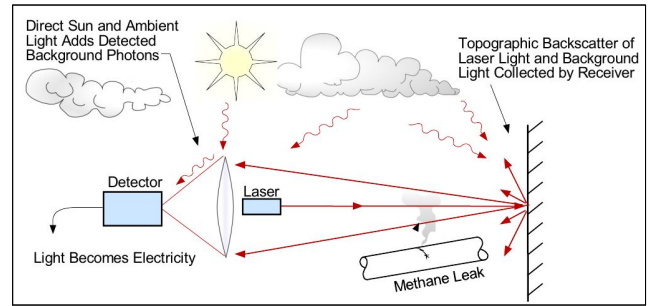


Fig. 11. Simple layout of remote laser-based methane detector (Heath Consultants Incorporated).

- 누출가스 검사를 위한 가스 검지기, 열화상 카메라의 소형화 및 실시간 전송기술
- 정밀검사용 드론의 신뢰성 확보를 위한 관련 기준/규칙 검토 등

4.5 드론의 운용 및 시험평가 기술

혹독한 해상환경 및 가연성 가스에 드론이 노출될 경우, 기체파손 및 인명피해 등 사고발생의 우려가 있으므로, 드론 기체에 대한 시험평가 및 인증기준을 마련하여 안전성을 확보할 필요가 있다. 특히, 해양드론의 경우, 2016년 12월 한국해양대(부산영도)가 시범공역으로 선정되어 해상 반경 5.5 km, 면적 23.7 km² 부지가 확보된 상태로, 향후 해양드론의 시험평가 장소로 활용될 예정이다(KMOU, 2017). 이러한 시험 및 인증기준의 확보는 국내 뿐 아니라, 해외시장 진출을 위한 중요한 발판이 될 것이다.

더불어, 현장 적용 이전에 조선해양 분야 사용자에게는 생소한 드론을 현장에서 무리 없이 사용하기 위한 가이드라인을 개발하여 사전에 지원책을 마련할 필요가 있다. 즉, 드론을 유지보수 점검용으로 활용 시 준비사항, 주의사항 및 비상상황 발생 시의 대처방법 등에 대한 교육훈련 및 조종자 자격요건, 그리고 법적책임 및 피해보상 방안도 사전에 준비되어야 할 것이다.

또한, 육상과 마찬가지로 드론의 주파수 영역이 선박 및 해양플랜트 운용에 간섭 혹은 혼선이 되지 않도록 명확한 국제 기준이 마련되어야 한다. 따라서 드론의 운용 및 시험평가와 관련하여 아래와 같은 방안이 고려될 것을 제안한다.

- 해상환경에 적합한 드론의 시험평가 및 시운전 방안 마련
- 조선해양용에 적합한 안전규칙 및 조종자 자격 요건 마련
- 사고 발생 시의 법적 책임 및 피해보상 방안 마련
- 기존 통신 네트워크와의 주파수 혼선/간섭에 대한 대응책 마련 등

선박/해양플랜트 유지보수 점검용 드론의 기술현황과 과제

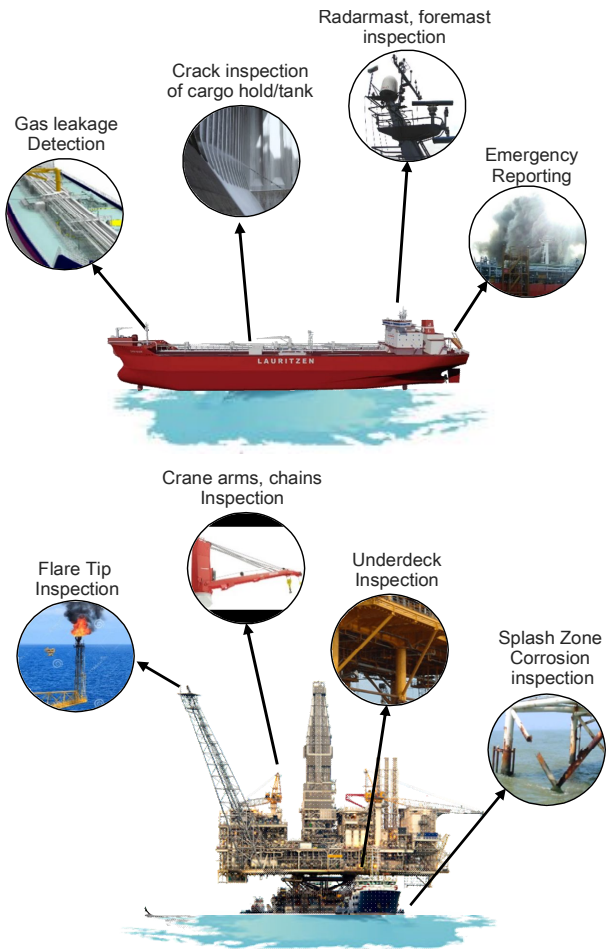


Fig. 12. Variable drone applications for ships or offshore plants.

5. 향후 전망

드론은 현재 단순한 비행장치에서 나아가 임무를 수행할 수 있는 장비로 활용되고 있으며, 조선/해양플랜트 분야에서는 유지보수 점검용으로의 역할이 가장 기대되고 있다(Fig. 12).

특히, 해양플랜트 산업에서의 운영/유지관리 비중은 전체의 40%를 차지하는 가장 큰 고부가가치 영역으로(MOF of ROK, 2016), 드론과 같은 첨단장비를 활용한 고도화된 유지보수 전략이 필요하다.

또한, 2016년 기준으로 상업용 선박의 평균 선령이 20.31년(UNCTAD, 2016)으로 20년 이상 된 선박의 비중이 약 53%를 차지하고, 해양플랜트의 약 60%(SBM Offshore, 2015)를 차지하는 FPSO도 16년 이상 된 비율이 75%(Clarkson Research, 2015)를 차지하는 등 노후화된 선박 및 해양플랜트의 비율이 상당히 높은 실정이다. 따라서 향후 드론을 활용한 O&M 시장은 꾸준히 증가할 것으로 예상된다.

이와 함께 4차산업 혁명시대를 맞아, 드론에서 촬영한 영상데이터 및 계측정보를 수집 후 축적된 빅데이터를 분석함으로써, 지능형 유지보수 전략 수립도 가능할 것으로 전망된다.

더불어 드론의 기술개발이 고도화되어, 초소형 미니드론도 일반 드론과 동등한 기능을 보유하게 되면, 발전기/엔진의 배기관, Funnel, 해양구조물의 Seawater Lift Pump 케이스 혹은 J-tube, 파이프 내관 등 좁은 구역의 점검도 드론으로 가능할 것으로 기대된다.

6. 결론

지금까지 조선해양 분야에서 유지보수 점검용 드론의 도입 필요성 및 해외 사례, 그리고 기술적 현안들에 대해 살펴 보았다.

현재 선박 및 해양플랜트에서 특히, 폐위된 밀폐구역 및 고소 작업 시의 위험성으로 인해 인력을 대체할 수 있는 드론의 활용이 주목받고 있으며, 이미 해외에서는 해양플랜트를 중심으로 주로 외관검사용 드론이 공급되고 있다. 이때의 드론은 농약살포용, 배달용, 산림 감시용 등 기타 산업용과는 다른 특화된 기술들이 고려되어야 한다. 이와 관련하여, 본 논문에서는 드론의 설계 및 제작, 체공시간, 제어기술, 정밀검사 기술, 그리고 운용 및 시험평가 기술을 중심으로 해상환경 및 밀폐구역 그리고 유지보수 점검 측면에서 고려하여야 할 기술적 사항들을 살펴보았다.

물론 다른 산업분야에서와 마찬가지로, 상업화에 성공하기 위해서는 기술의 신뢰성 및 안전성이 담보되어야 하며, 이를 위해 극복해야 할 기술적 과제들이 남아 있다. 하지만 아래와 같이 드론을 검사장비로 활용 시 분명한 이점이 있기 때문에, 다른 요소기술(센서, 모터, 배터리, 소프트웨어, 통신 등)과의 융합을 통해 빠른 기술진보를 이룰 것으로 전망된다.

- 인명사고 예방 및 근로자 만족도 향상
- 검사의 정확성 및 효율성 증가, 유지보수 점검 비용 감소
- 차별화된 기술로 유지보수 시장 선점
- 사고 예방 및 사전 조치
- 축적된 빅데이터를 활용한 유지보수 전략 수립

이렇듯 드론은 선박 및 해양플랜트의 건조, 개조, 유지보수 및 폐선에 이르기까지 전 생애에 걸쳐 활용 가능하므로, 국내에서도 조선해양 분야에 적합한 유지보수 점검용 드론을 개발하여 성공적인 기술 진입을 이루기를 기대한다.

감사의 글

“이 논문은 2016년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(선박/해양플랜트 유지보수 점검용 드론 핵심 기술개발 기획연구).”

References

- [1] Byun, G. S. and H. R. Cho(2016), The Stabilization Loop Design for a Drone-Mounted Camera Gimbal System Using Intelligent-PID Controller, J. Korea Institute of Intelligent Transportation Systems, Vol. 15, No. 1, p. 103.
- [2] Choi, Y. C. and H. S. Ahn(2015), The Technical Developments and Prospects of Drones, The World of Electricity, Vol. 64, No. 12, p. 22.
- [3] Clarkson Research(2015), Shipbuilding Forecast Club - Fore-cast Report, p. 172.
- [4] Gasnews(2016), Bridge pipeline diagnosis technology and equipment development using drones, December 8 2016.
- [5] Hoseo University(2006), Safety Management Technique for Hydrogen Gas, R&D report, p. 1.
- [6] IACS(2016), UR Z10.2 - Hull Surveys of Bulk Carriers, p. 7.
- [7] IEC(2012), Patrick Leroux, Area Classification, p. 36.
- [8] Irobot news(2016), Development of lithium-ion battery operating at low temperature, February 1 2016.
- [9] KAIST(2015), Korea Advanced Institute of Science and Technology, Development of a wall-climbing drone, History and Future Dialogue of 2015.
- [10] KARI(2016), Korea Aerospace Research Institute, Competition to develop ultra-precise GPS calibration system with error less than 1m, <http://blog.kari.re.kr/?p=2941>.
- [11] Kim, D. W., J. J. Song, J. Nam and H. Y. Choi(2012), Design of SCADA System for a Large-Scale Offshore Wind Farm, KIPS (Transactions on Computer and Communication Systems), Vol. 1, No. 3, p. 161.
- [12] Kim, H. S. and Y. H. Han(2017), Implementation of Fail-Safe During Drone's Flight, Journal of Korean Institute of Information Technology (KIIT), Vol. 15, No. 2, p. 33.
- [13] Kim, K. B.(2016), Technical Trends of Aircraft Electric Propulsion System, KARI (Korea Aerospace Research Institute), Vol. 14, No. 1, p. 72, pp. 76-77.
- [14] KMOU(2017), Korea Maritime and Ocean University, The drones float at KMOU, Press release, March 21 2017.
- [15] KOTRA(2014), Fujian Province - China offshore wind power energy industry trends and forecasts, C&I (Control & Instrumentation), p. 104.
- [16] KR(2015), Korean Register of Shipping, Guidebook for classification survey, p. 193.
- [17] Lee, S. N.(2013), Non-destructive inspection technology using infrared ray camera, Procon, Special Issues - September, pp. 128-129.
- [18] Lee, Y. S., E. Kim and J. M. Kim(2015), A Study on the Drones which the Flight Covers Indoor using by a Beacon, IEIE (Institute of Electronics and Information Engineers), Annual Summer Conference 2015, p. 1625.
- [19] Min, C. S.(2016), A Study on the Electrical Facilities Design with Explosion Proof, The Korean Institute of Electrical Engineers, Autumn Symposium, October 27-29 2016, p. 85.
- [20] MOF of ROK(2016), Ministry of Oceans and Fisheries of Republic of Korea, Competition to support the feasibility study of offshore plant service industry, Press release, February 15 2016.
- [21] MP(2017), Materials Performance, Drone Shows Promise in Measuring Coating Thickness, July 31 2017.
- [22] Osenar, P., J. Sisco and C. Reid(2017), Advanced Propulsion for Small Unmanned Aerial Vehicles, BALLARD White Paper, p. 6.
- [23] Reimann, S., J. Amos, E. Bergquist, J. Cole, J. Phillips and S. Shuster(2013), UAV for Reliability, AEM 4331 - Aerospace Vehicle Design, p. 2.
- [24] Robot News(2016), Wireless charging system for drones, September 1 2016.
- [25] SBM Offshore(2015), Floating Production Systems Market Outlook 2015-2019, p. 5.
- [26] Sechang Instruments(2007), Coating thickness measurement technology, p. 7.
- [27] Sisco, J.(2017), New fuel cell technologies extend missions for vertical take-off and landing unmanned aerial vehicles, AUVSI's XPONENTIAL 2017-Sisco, p. 14.
- [28] UNCTAD(2016), United Nations Conference on Trade and Development, Review of Maritime Transport 2016, p. 30.
- [29] Unmanned Aerial(2016), General Electric Has a New Drone in the Works: the Raven, Drone News, October 5 2016.

Received : 2017. 05. 31.

Revised : 2017. 07. 10. (1st)

: 2017. 08. 10. (2nd)

Accepted : 2017. 08. 28.