

물류수송을 위한 무인 시스템 기술동향

무인항공기 유도 및 제어기술의 급격한 발전은 군사용 목적을 넘어 민간분야에서의 활용과 관련된 연구 및 개발을 더욱 촉발시키고 있다. 특히, 최근에는 물류수송을 위한 상업용 무인항공기 기술개발이 각광을 받고 있다. 본 논문에서는 국내외에서 개발되고 있는 물류수송용 무인항공기에 대한 기술동향과 국내 실정에 적합한 무인시스템을 제안한다.

■ 조성욱*, 정연득**, 심현철*
(*한국과학기술원, **한국항공우주연구원)

I. 서론

최근 무인항공기의 발전은 군사적 측면보다 민간분야에서 훨씬 가속화되고 있는 추세이다. 기존의 군사용, 연구용에 국한되어 있던 외부환경 혹은 자기위치 측정용 센서 및 탑재체 등의 소형화, 프레임에 포함하는 비행체 개발용 기자재의 생산성 및 경제성 향상, 무인항공기의 임무수행과 관련된 새로운 연구 및 산업분야 창출 등 다양한 사회 전반적인 현상들로 인하여 그 속도를 더욱 높이고 있다[1]. 특히 국제무인시스템협회(Association for Unmanned Vehicle Systems International, AUVSI)는 2015년에서 2025년까지 무인항공기를 활용한 산업이 미국에서만 약 10만 개 이상의 일자리 창출 및 약 820억 달러의 유, 무형의 경제적 효과를 가져올 것으로 예측함에 따라 모든 국가에서 무인항공기를 활용한 산업발전에 대해 관심을 가지지 않을 수 없게 되었다[2]. 또한 최근에는 국가뿐만 아니라 국제기구에서도 무인항공기를 활용한 활동을 계획하여 실행하기 위한 초기 단계가 진행되고 있어서 민간분야에서의 활용도를 더욱 높이고 있다[3].

이러한 민간분야에서의 무인항공기 활용 중 가장 대표적인 사례는 무인항공기를 활용한 물류수송이라고 할 수 있다. 이미 아마존(Amazon), DHL, UPS, Fedex 등의 국제 물류수송업체에서는 무인항공기를 활용한 물류수송 시스템을 계획하고 있고 DHL은 각각 PrimeAir, Paketkopter 라는 이름의 시스템을 개발하여 운용개념소개를 위한 초기 시연 및 시스템 검증 단계를 수행

함과 동시에 법적인 문제를 해결하고 있는 중이다[4-7]. 최근에는 구글(Google)은 Project Wing을 통해 고정익/회전익 비행모드 변환이 가능한 비행체를 이용하여 물류수송 무인항공기를 개발하였고 호주에서 성공적인 비행시연을 수행한 바 있다[8]. 한편 국내에서는 아직 이러한 물류수송 시스템을 기업에서 직접 연구, 개발, 체계종합을 수행한 사례는 보고된 바 없으며 학계에서 연구 차원의 개별적 기능검증이 논문으로 보고되고 있는 수준이다. 이는 다른 나라에 비해 주거 및 생활환경 자체가 고도로 집적 및 고층화 되어있는 우리나라의 특수성을 맞추기 위한 물류수송 개념이 정립되지 않았기 때문이라고 할 수 있다.

한편, 무인항공기의 민간임무 수행, 그 중에서도 물류수송임무는 우리의 일상생활과 밀접하다. 그렇기 때문에 해결해야 할 기술적인 난제뿐만 아니라 민간공역, 물적/심적 피해 등과 관련된 법적인 문제도 같이 해결해야 한다[9-10].

본 논문에서는 항공 선진국에서부터 시작된 무인항공기를 이용한 물류수송에 대하여 개발사례별로 기술동향을 조사한 결과를 제시하고 상용화를 위해 해결해야 할 문제에 대하여 언급한다. 또한 이를 토대로 새로운 물류수송 개념을 제시하고자 한다. II에서는 물류수송을 위한 무인항공기 개발과 관련된 사례를 기술하고 III에서는 이들이 앞으로 상용화를 위해 해결해야 할 과제에 대하여 기술한다. IV에서는 새로운 물류수송 무인시스템을 제안함으로써 개발된 기술들과의 차별화 및 새로운 연구분야를 개척하고자 한다.

II. 물류수송을 위한 무인항공기의 국내외 기술개발 사례

본 절에서는 Amazon, DHL, Google과 같은 국외 민간 회사에서 개발된 물류수송용 무인항공기와 카이스트 (KAIST) 복합시스템설계연구소 내 필드로보틱스 연구센터에서 개발된 물류수송용 무인항공기에 대해 소개한다.

i. Amazon 사의 Prime Air (Fig. 1)

미국 온라인쇼핑몰 Amazon 사는 2013년 12월, 미국 CBS TV 쇼 '60 Minutes' 에 8개의 모터를 사용하는 옥토크터 형태의 멀티로터 기체를 이용한 물류수송 무인항공기를 개발하여 실제 비행시연까지 성공적으로 수행한 결과를 선보였다[11]. 이로 인해 전 세계의 관심사는 군용 무인항공기 기술보다 실생활에 응용될 민간 무인항공기 기술로 이동하였다. Amazon 사의 CEO인 Jeff Bezos가 직접 소개한 물류수송용 무인항공기 소개영상에서는 총 2단계의 영상을 제공하고 있다. 먼저, 구매자는 Amazon에서 물건을 구매하고 배달방식을 무인항공기를 이용한 방식으로 선택하면 해당 물건이 자동화 공정을 통해서 노란색 저장용기에 들어가게 되고 공정의 종말 단계에서 무인항공기의 하단부에 자동으로 위치하게 된다. 그 다음 무인항공기는 동체 하단부에 장착된 그리퍼(gripper)를 통해 저장용기를 자동으로 탑재하게 되고 구매자의 주소를 GPS 위치로 인식하여 비행을 통해 배달한다[12].

이 프로젝트는 'Prime Air' 라고 하며 CEO가 직접 방송을 통해 전국에 위치한 Amazon 사의 물류센터를 이용하여 소비자 구매 후 30분 안에 배달하는 것이 목표라고 언급했다.



그림 1. Amazon 사의 Prime Air[12].

Amazon 사에서 비행시연을 통해 검증하고 공개한 실험결과는 16 [km] 범위 안에서 2.27 [kg] 이하의 상품을 30분 내에 노란색 통에 담아 구매자의 집 앞까지 배송이 가능하다고 한다. 상세한 기체 및 탑재체 정보는 공개하지 않고 있으나 배송 가능한 물품의 무게, 비행시간 등의 공개된 정보를 이용하여 유추한 결과 약 1.5 [m]~1.8 [m] 의 정사각형의 형태, 이륙 전 중량 약 6~8 [kg], 전동 배터리 22.2 [V] 이상의 제원을 갖는 중소형급 옥토크터인 것으로 추정한다[13]. Amazon 사에서는 현재 지속적인 연구행을 통해 기술적인 측면에서는 이미 상용화 단계에 이르렀으며 규정문제가 해결된다는 가정 하에 2년 후에는 현실화가 가능하다는 입장을 밝혔다 [14]. 그러나 Amazon 사는 미 연방항공청(FAA)에 제출한 무인항공기의 상업용도 사용관련 승인요청이 통과하지 못함에 따라 CEO가 야심차게 발표한 상용화 계획이 지연되고 있다 [15-16].

하지만 무인항공기 기술개발 스타트업 기업인 에비(Evi) 테크놀로지스, 실시간 이미지처리 시스템 개발을 통해 자동 물류시스템을 구축하는 키바(Kiva) 시스템즈 등 Prime Air 프로젝트의 상용화를 위해 필요한 기업을 적극적으로 인수하고 있고 이와 관련된 인력을 약 5천명 이상 보강하고 있으며 최근에는 미 연방항공청의 규제를 피해 영국 캠브릿지 지역에서의 상용화 사업 비행시험을 계획하고 있고 5년 이상 무인항공기 조종 경험자와 무인항공기 운용관련 규정에 능통한 사람들을 보강하려고 시도하는 등 이전보다 적극적인 자세로 물류수송을 위한 무인항공기 개발을 주도하고 있다[17-20].

ii. DHL 사의 PaketKopter (Fig. 2)

독일의 DHL 사는 4개의 모터를 사용하는 쿼드로터 형태의 멀티로터 기체를 이용한 물류수송 무인항공기를 개발하여 독일의 Juist 섬에서 Norddeich 항구에 이르는 약 12 [km]의 거리를 상대적으로 50 [m]의 상공에서 1.2 [kg]의 의약품을 싣고 약 15분간 GPS 위치기반으로 물류수송 비행시연을 성공적으로 수행하였다[21]. DHL 사도 마찬가지로 기체 및 탑재체 상세정보는 공개하지 않고 있지만 최대 배송무게가 약 3 [kg], 비행시간이 약 15분인 쿼드로터 형태, 프로펠러 장착방식이 소형 모터에 사용하는 프롭-어댑터(adapter) 방식이 아닌 대형 모터에 사용하는 나사고정용 방식임을 감안하면 직경 0.4572 [m] (18 in.), 피치 0.1016 [m] (4 in.) 이상의 대형 프로펠러와 330 [KV] 이상의 대형 브러쉬리스 모터, 22.2 [V]의 추력용 배터리, 약 1~1.5 [m] 사이의 직경을 갖는 대형 쿼드로터인 것으로 추정된다[22-25]. 기체의 원형은 영국 BAE 사에서 개발한 것과 유사하지만 크기는 보다



그림 2. DHL 사의 PaketKopter(22).

큰 것으로 보이며 모터를 기밀화하여 외부로부터의 이물질 유입을 방지하였다. 이는 시연을 수행한 공간이 바다 위라는 점을 감안하고 제작한 것으로 보인다. 수송용 물품의 탑재는 기체 하단에 배치된 탑재체 공간(payload bay)에 수동으로 탑재하고 착륙 후 수동으로 열어서 확인할 수 있도록 하였다.

흥미로운 점은 DHL 사는 Amazon 사와 다르게 무인항공기를 이용한 물류수송 서비스를 상용화하지 않고 지상으로의 접근이 불가능한 지역에 한하여 응급약품 등 비상시 필요한 물품에 한하여 배송을 수행하겠다는 점이다[25]. 이것은 미 연방항공청과 같은 역할을 수행하는 유럽항공안전국 (European Aviation Safety Agency, EASA)의 무인항공기 상용화와 관련된 강력한 규제를 사전에 방지하고 자사가 보유한 각 나라의 물류배송시스템과 무인항공기 시스템을 결합하는 시도를 보다 안정적으로 수행하려는 시도인 것으로 판단된다. DHL 사의 PaketKopter는 독일 본사에 위치한 연구개발부서에서 주도하여 연구 및 개발되고 있으며 최근 관련 인력의 보강을 시도하고 있는 것으로 알려져 있다.

iii. Google 사의 Project Wing (Fig. 3)

Google 사는 2014년 8월 28일, 사내 연구그룹인 Google X 그룹을 통해 물류수송용 무인항공기 Project Wing을 소개하였다. 이것의 목적은 앞서 언급한 물류수송용 무인항공기와 동일하지만 Amazon과 같은 상업적 용도를 전면에 내세우기보다는 DHL과 같은 재해고립지역에 의약품, 배터리, 수리부품 등을 배송하는 것을 단기 목표로 제시하였다. 또한 비행시연도 상대적으로 규제가 덜한 호주에서 수행하였다[26-28].



그림 3. Google 사의 Project Wing(28).

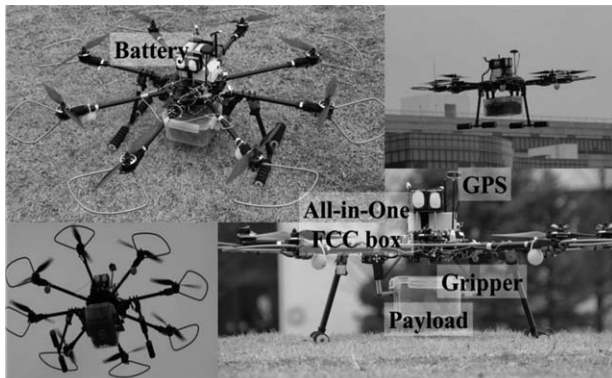
이는 Amazon사가 미 연방항공청과 겪고 있는 문제를 피하면서도 보다 현실적으로 단기간의 연구 및 개발을 이루기 위함으로 판단된다. 또한 무인항공기 분야에서 유명한 MIT의 Nick Roy 교수를 책임자로 임명하였을 뿐만 아니라 관련된 각종 기업을 인수하여 2년만에 시스템을 개발, 시연에 성공하였다[29-30].

Google X에서는 다른 회사들과는 달리 대략적인 기체의 크기를 공개하였다. Project Wing은 전익기 형상을 가진 테일시터 형태의 기체로서 날개길이 1.5 [m], 동체길이 0.8 [m], 배터리 포함 본체 무게 8.5 [kg], 최대 탑재용량 1.5 [kg]의 제원을 가지며 별도의 순항속도를 공개하지 않았지만 수직-수평 비행모드를 모두 구현할 수 있는 테일시터 형태의 비행체임을 감안하면 Amazon사의 Prime Air, DHL 사의 PaketKopter 보다 훨씬 높은 순항속도를 달성할 수 있을 것으로 보인다[13]. 이는 곧 임무환경의 증가와 수송시간의 단축을 의미한다.

특히, 다른 회사들과는 달리 수송을 위한 공간이 외부에 있지 않고 비행체 무게중심 근처에 내장되어 있으며 착륙을 통해 수송임무의 종료를 수행하는 것이 아닌 윈치(winch)를 이용하여 공중 정지비행 중 지상에 투하하여 종료하는 방식을 적용하였다. 이는 착륙 시 발생할 수 있는 외부 환경과의 충돌 혹은 인명 피해를 최소화할 수 있고 물리적으로 착륙할 수 없는 지점에도 물류수송임무를 달성할 수 있다는 점에서 큰 장점을 가진다[31-33]. 또한 이 방법을 사용하면 여러 대의 비행체를 동시에 운용함으로써 많은 물류를 한 지역에 한 번에 수송할 수 있는 장점이 있으므로 보다 효과적인 물류수송이 가능하다는 점에서 다른 회사와 상당한 차이점을 가진다. 다만, 전익기 형상의 테일

표 1. 개발된 물류수송 무인항공기의 비교분석.

	Prime Air, Amazon	Paketcopter, DHL	Project Wing Google	OctoUSRG, KAIST
Type	Octocopter (Rectangular)	Quadrotor	Tailsitter (Blended Wing-Body)	Octocopter (Circular)
Main purpose	Commercial Delivery Service	Emergency Delivery Service	Emergency Delivery Service	Delivery Service, First-concept verification (for research)
Parcel loading	Automatic loading Gripper with the external box (center position under the fuselage)	Manual loading External box with the door (center position under the fuselage)	Manual loading Internal box (named Egg) (nearby c.g point of the fuselage)	Manual loading External box (center position under the fuselage)
Delivery type	Landing and automatic unloading	Landing and manual unloading by human	Hovering and automatic unloading by the winch	Landing and automatic unloading
Size	W: 1.5~1.8 [m] (est.) H: 0.5 [m] (est.)	W: 1.5~1.8 [m] (est.) H: 0.5 [m] (est.)	Wingspan: 1.5 [m] Fuselage length: 0.8 [m]	W: 1.32 [m] H: 0.38 [m]
Weight	Takeoff Gross Weight : 6~8 [kg] (est.) Parcel weight: 2.27 [kg]	Takeoff Gross Weight : 8~10 [kg] (est.) Parcel weight: Max. 3.0 [kg] (Avg. 1.2 [kg])	Takeoff Gross Weight : 10 [kg] Parcel weight: Max. 1.5 [kg]	Takeoff Gross Weight : 6 [kg] (est.) Parcel weight: Max. 2.0 [kg] (Avg. 1.5 [kg])
Power system	BLDC with ESC 22.2 [V] 6S Li-Po Bat* (est.) 13~15 [in.] Prop. (est.)	BLDC with ESC 22.2 [V] 6S Li-Po Bat* (est.) 18~21 [in.] Prop. (est.)	BLDC with ESC 22.2 [V] 6S Li-Po Bat* (est.) 13~15 [in.] Prop. (est.)	BLDC with ESC 22.2 [V] 6S 10000mAh Li-Po Bat* 13 [in.] Carbon Prop.
Flight time	About 30 [min]	About 30 [min] (Flight result: 12 [min])	About 30~60 [min] (multi-flight mode, tailsitter)	About 30 [min] (Avg. 20 [min])
Flight mode	Vertical hovering and flying (by changing the rotor speed only)	Vertical hovering and flying (by changing the rotor speed only)	Vertical hovering and Horizontal cruising (by varying the attitude changing and the rotor speed)	Vertical hovering and flying (by changing the rotor speed only)
Localization	GPS	GPS	GPS	Single GPS and 1-D LiDAR (for the control of the relative altitude)



Size	Diameter: 1.32 [m], Height: 0.38 [m]
Weight	Empty weight: 4.5 [kg] (with batt. and FCC system) Takeoff Gross Weight: 6.0 [kg] (with payload)
Powerplant Duration	RCX Hobby D5012-360KV (1.43 [kg] per 1 ea) Max. 15 [min] (Batt. - 9200mAh, 22.2V, 40C)
Flight Control System	Gumstix Verdex pro XL6P COM (600MHz, 128Mb) PWM generation board, Altitude Sensor (1D LIDAR) Ublox LEA-6H Small Custom board Microstrain 3DM-GX3-25, GPS-aided Navigation 2.4GHz Wi-Fi Access Point Network
Position Accuracy of the Single GPS	Horizontal: 2.0 [m] (with SBAS) [15] Vertical: about 3.0 ~ 5.0 [m]
Autonomy	Attitude, Altitude, Heading, Speed hold/command Waypoint/Path following/Hovering Automatic Takeoff/Landing and Unloading

그림 4. 카이스트의 OctoUSRG 상세사양(37).

시터이기 때문에 수평에서 수직으로 비행모드 전환 시 발생하는 바람의 영향으로 인해 비행 중 위치정확도가 상당히 크게 변하는 단점이 있다. 이는 전익기 형상의 기체가 수직으로 세웠을 때 바람을 직접 맞는 면적이 커지기 때문이다. 이것을 어떻게 해결했는가에 대한 직접적인 보고자료는 없지만 비행동영상을 근거로 유추해본 결과 안정적인 제어기 설계가 이루어진 것으로 판단된다.

iv. 카이스트의 OctoUSRG (Fig. 4)

카이스트 필드로보틱스센터 (C-FRINED) 에서는 직경 1.32 [m], 높이 0.38 [m], 이륙 전 중량 6.0 [kg], 탑재용량 최대 2.5 [kg], 평균 1.5 [kg]을 갖는 8개의 모터로 구성된 옥토크터 형태의 물류수송용 회전익 무인항공기 OctoUSRG를 개발하였다[34-36]. 이 비행체는 중/소형급의 옥토크터에 속하며 0.3302 [m]의 카본 프로펠러를 사용했을 때 가장 높은 추력효율을 가진다. 배터리를 제외한 탑재체의 중량은 최대 2.5 [kg]이고 가로 17.5 [cm], 세로 약 15 ~ 40 [cm], 높이 약 15 [cm] 이하의 다양한 배송용 상자를 탑재하기 위해 기체 하단부에 하이토크 서보모터 2개를 활용하여 소형 그리퍼(gripper) 2개를 횡방향으로 마주보

도록 장착하였다. 이 때, 배송용 상자에는 그리퍼를 위한 직사각형 모양 간극이 있어야 하며 이것이 기체의 종방향 움직임에 반응하여 기체에 부적절한 진동영향을 주지 않도록 그리퍼 및 상자 간극의 형태를 Fig. 4와 같이 구성하였다. 특히, 그리퍼에 맞게 개조를 수행한다면 배송용 상자는 자유롭게 구성할 수 있다는 점이 장점이고 반복된 이착륙실험을 통해 circular error probability (CEP, 50%의 확률로 해당 지점에 도달가능한 정도)를 분석한 결과 약 1.7601 [m]의 착륙정확도를 가지는 것을 확인하였다[37].

카이스트에서 개발한 물류수송용 무인항공기는 Amazon사의 Prime Air와 같은 옥토크터 형태이지만 브러쉬리스 모터배치 측면에서 보면 Prime Air는 직사각형, OctoUSRG는 원형이라는 차이점을 가진다. 또한 그리퍼를 이용한 자동 장/탈착식 물류수송 상자와 착륙을 이용한 임무종료 방식은 Amazon, DHL사와 같고 이동시 GPS 위치를 이용하는 것이 다른 회사와 모두 같지만 카이스트에서 개발한 OctoUSRG는 기체 하방을 향하여 1차원 LiDAR가 장착되어 있어 상대고도를 유지할 수 있는 자율비행이 가능하다는 점에서 차이가 있다.

이 외에도 피자로 유명한 도미노의 피자배달 무인항공기, 호주에서 교과서를 무인항공기로 배달하는 Zookal, 맥주 배달 무인항공기 등 회전익 무인항공기를 이용한 물류수송 임무는 회사를 포함한 단계에서 개발되었다는 보고가 많이 있지만 개념 단계에서 실제 무인 비행시연까지 성공적으로 수행한 사례는 위에서 언급한 네 개의 사례가 대표적이다[38-40]. 앞서 언급한 물류수송용 무인항공기의 상세비교는 Table. 1을 통하여 확인할 수 있다.

Ⅲ. 무인항공기의 물류수송 임무를 위해 해결해야 할 과제

물류수송을 위한 무인항공기는 민수용으로서 그 활용가치가 높고 상업적 요소로서 매력적이라고 할 수 있다. 다만, 실제 민간공역에서의 비행 시 해결해야 할 과제가 많다[41]. 먼저, 외부 환경과 충돌하여 무인항공기가 추락할 경우, 인적/물적 피해가 발생할 수 있다. 특히, 멀티로터 형태의 무인항공기는 프로펠러가 외부에 노출되어 있기 때문에 추락하면서 발생하는 프로펠러의 파손 혹은 분리로 인한 피해가 예상된다. 실제로 미국에서는 무인항공기가 고층 건물에 부딪혀 행인 가운데 떨어지는 사건이 있었고 민항기와 충돌할 뻔한 사고가 있었다. [42-43]. 다행히 큰 인명 피해는 없었지만 적절한 공중 충돌감지 및

회피 시스템을 갖추지 못한 무인항공기가 기하급수적으로 증가할 경우 도심 내 무인항공기 관련 사고가 자주 일어날 가능성이 높다[44].

또한 아직까지는 데이터 고속처리와 영상처리 기술의 부정확성이 상용화 단계에서 해결해야 할 난제로 간주되고 있다. 이를 단적으로 보여주고 있는 사건이 무인항공기의 오인 폭격 사례이다[45-47]. 실제로 2009년에 있었던 예멘 산간마을 폭격에서는 알 카에다와 관계없는 주민 46명이 무인항공기의 오인 폭격으로 인해 목숨당했고 2013년 6월, 알 카에다의 2인자가 사망한 무인항공기 폭격에서 민간인 10명도 함께 사망했으며 그 해 9월에는 민간 차량을 오인 공격해 14명이 희생됐다. 이는 무인항공기의 민간임무 수행과 관련된 사고가 아니지만 민간 무인항공기도 영상기반 비행시스템을 이용할 수 있기 때문에 이와 관련한 이상작동을 일으킬 확률이 있다. 특히, 고밀도, 고집적, 고층건물 환경의 도심과 같이 GPS의 위치 부정확성을 극복하기 위해 사용할 수 있는 영상기반 시스템이 강렬한 빛 혹은 명암변화 등의 외부환경 변화 혹은 데이터 처리속도 저하 등으로 인해 이상작동을 일으킬 수 있는 확률이 존재한다.

한편, 해커의 해킹으로 인해 임무수행 중 무인항공기가 납치되거나 스스로 자폭하여 테러용 무기로 사용될 수 있는 가능성이 있다. 실제로 Samy Kamkar라는 해커는 상용/레저용 무인항공기인 AR Drone 2.0의 통신망을 뚫고 비행 중 해킹하여 임의로 조종하는 방법을 공개한 적이 있다[48-50].

그리고 물류수송용 무인항공기에 장착할 수 있는 영상기반 시스템은 높은 고도에서 개인의 사생활을 촬영할 수 있기 때문에 사생활 침해문제가 발생할 수 있다. 이와 관련된 문제로 인해 미국 등 일부 국가의 주민들은 자신의 집이나 농장 등 사유지 상공에 무인항공기가 나타났을 경우 개인이 보유한 무기를 이용해 임의로 격추시킬 수 있도록 해달라는 법안을 제출하기도 했다[51-54].

마지막으로 멀티로터 형태의 회전익 무인항공기는 브러쉬리스 모터에 의존한 비행을 하게 되는데 아직까지는 이것의 신뢰성에 대한 공개적인 보고자료가 없고 같은 급의 모터도 내구성 등을 포함한 성능이 제조사마다 현격한 차이를 보이고 있으므로 비행 중 특이상황이 발생할 수 있는 확률이 매우 높다.

이러한 문제들 중 사이버 보안과 관련된 연구로 해결할 수 있는 해커에 의한 해킹문제와 정규 규격이 없는 부품사용으로 인한 비행 중 이상현상 발생문제를 제외하면 근본적인 원인이 무인항공기의 단독 비행과 관련되어 있다. 즉, 지상 운용요원 혹은 안전조종사의 시야에서 벗어나서 도심지역을 포함한 중/장

거리를 무인항공기가 단독으로 비행하게 되는 경우에 발생할 수 있는 심각한 문제이다. 이 문제는 전방 영상센서를 장착하여 비행 중 실시간으로 획득한 영상을 통해 비행하는 first-person view (FPV) 비행으로 적정 수준까지 해결할 수 있지만 영상획득 거리의 한계와 시야 내에서 비행할 때와의 조종성 차이 등으로 인해 불가항력적이고 위급한 상황에서 비행체를 회복하고 안전하게 회수할 수 없는 경우가 많다. 요약하면 물류수송을 위한 무인항공기는 민간공역에서의 비행을 전제로 하고 있기 때문에 세 가지 측면에서의 문제가 발생할 수 있다.

- 센서이상, 해킹 등에 의하여 발생하는 추락, 자폭, 오인식 등으로 인한 인적/물적 피해
- 의도치 않은 광역 영상촬영으로 인해 발생하는 사생활 침해
- 정규 규격이 없는 부품의 사용으로 인한 신뢰성 저하

이 중에서 해킹과 부품신뢰성 문제를 제외하면 대부분의 문제는 비가시권 상황에서 민간공역 내 무인항공기의 중/장거리 비행이 근본적인 원인으로 판단된다. 이는 미 연방항공청에서도 심각하게 고려하고 있는 사안이며 현재 많은 연구 및 개발자들이 이를 해결하기 위해 다각도로 연구하고 있다.

IV. 이종 무인시스템의 협업을 통한 물류수송 개념

대부분의 국가 중심, 지역거점 혹은 아파트 등이 밀집된 주거

지역은 고밀도, 고집적화 및 고층화 환경, 이른바 3고 환경을 이루고 있다. 이는 한정된 공간을 효율적으로 활용하는 측면에서 봤을 때 불가피한 선택이다. 하지만 이러한 환경에서 무인항공기의 자율비행은 GPS의 신호교란(multipath problem), 고층빌딩의 그림자로 인한 영상센서의 잦은 명암변화와 고층 및 고밀도 집적화된 지역에서 발생하는 지역적 돌풍 등에 쉽게 노출되기 때문에 항상 정밀한 제어성능을 달성할 수 없으므로 매우 어려운 임무로 간주되고 있다[10]. 또한 앞서 언급한 대로 비가시권 상황에서 민간공역 내의 비행은 정적/동적 환경의 충돌회피와 비행 중 이상상황 방지 및 회복에 대한 안전장치가 절대적으로 필요하다. 결과적으로 Amazon, DHL, Google에서 개발한 무인항공기를 활용한 물류배송시스템의 초기 기술시연이 이런 어려운 환경에서의 비행보다는 밀집도가 낮거나 비교적 가시권 확보가 용이한 공역에서 수행되었기 때문에 실제 민간공역에서의 운용과는 상당한 괴리가 있다고 할 수 있다[37].

따라서 본 논문에서는 무인자율주행차량과 무인항공기를 동시에 활용하는 이종 무인시스템의 협업기반 물류수송 개념을 제안한다[37].

즉, 무인자율주행차량에 부착된 GPS 등을 활용한 절대위치 뿐만 아니라 상대거리 측정센서, 영상센서 등으로부터 확보되는 상대위치를 활용하여 지도정보와 매칭 및 보정과정을 거쳐 차량으로 도달할 수 있는 위치까지 정밀하게 이동한 다음 이를

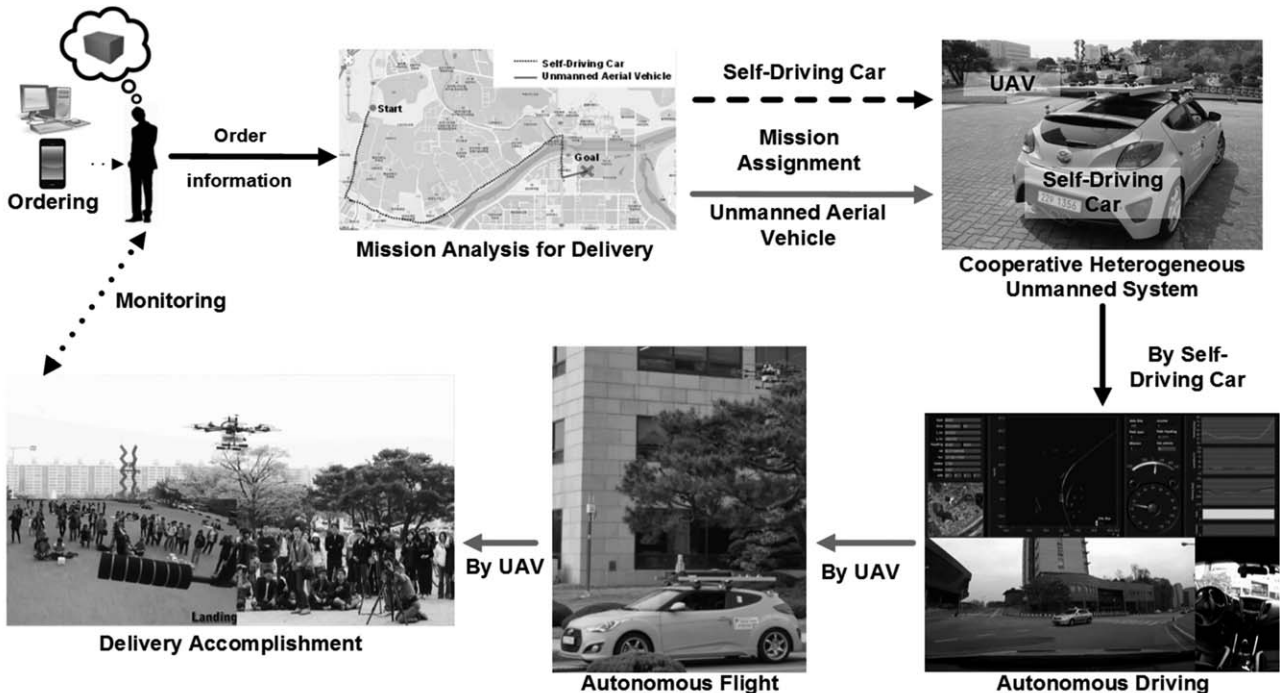


그림 5. 이종 무인시스템의 협업을 통한 물류수송 개념(37).

제외한 만큼의 이동거리 (최단거리까지 도로가 없거나 종착지가 고층 빌딩, 아파트인 경우, 길의 폭이 좁아서 차량으로 도달이 어려운 난개발 지역 등)를 무인항공기가 입력 받아 사용자가 지정한 최종 목적지까지 물류수송임무를 수행하는 개념이다. 이것은 주어진 경로를 분석하여 각각의 이종 시스템에 할당하는 경로계획 및 할당 단계와 각 시스템의 외부환경인식을 통한 자율주행 및 비행단계로 나누어 구현할 수 있다.

본 논문에서 제안한 개념은 기술적인 부분과 산업/경제적인 부분에서 각각 장점을 가진다. 기술적인 부분의 경우, 최근 무인자율주행차량의 자율주행기술이 실제 공공도로에서의 주행을 법적으로 인정할 정도로 발전했으며 이를 지속적으로 뒷받침할 수 있는 기술이 무인항공기의 자율비행에 비해 상대적으로 빠른 속도로 발전하고 있기 때문에 이것과 결합한 물류배송용 무인시스템을 구축한다면 3고를 갖는 복잡한 도심환경에서의 비행문제를 무인항공기 단독비행으로 임무를 수행할 때보다 훨씬 안전하고 신뢰성이 확보된 상황에서 임무수행이 가능할 뿐만 아니라 가시권 내의 민간공역 비행이 가능하므로 법적 문제를 보다 효과적으로 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

즉, 이러한 무인자율주행차량의 자율주행 혹은 지상 운용요원이 유인 물류배송 차량에 탑승하여 주행 후 가시권 내에서 무인항공기의 비행을 통한 물류수송임무를 수행한다면 가시권 내에서 비행하는 무인항공기의 위치를 지상차량에 부착된 3축 감발, 팬틸트 마운트 등을 포함한 영상기반 센서시스템으로 지속지향, 추적하여 정차된 차량위치 대비 무인항공기의 상대위치를 추정하고 이를 활용한 상대위치기반 비행제어를 구현함으로써 단독비행이 어려운 곳에서도 무인항공기의 자기위치추정 및 외부환경과의 상대위치 유지비행이 가능할 것으로 판단된다[55-57]. 또한 무인항공기의 장착된 영상기반 시스템을 활용하여 현재 획득한 영상과 상대위치정보를 매칭하고 건물 혹은 특정한 랜드마크를 기준으로 외부환경에 대한 인식을 일정 속도와 신뢰도 이상 수행하고 이 정보를 지상차량에서 보내주는 상대위치정보와 융합한다면 복잡한 환경에서도 높은 정확도로 자기위치추정이 가능할 것으로 판단된다[58].

한편, 산업/경제적인 부분의 경우, 본 논문에서 제안된 개념은 기존의 물류시스템을 갖춘 회사들이 유인 지상차량활용을 전제로 하는 수익구조를 유지함과 동시에 이들의 시스템을 그대로 활용하여 무인화할 수 있으므로 무인항공기의 단독 물류수송을 위한 시스템 개조에 들어가는 비용을 절감할 수 있다. 그리고 장거리, 장시간 비행성능 보장을 위한 노력 대신 수송 가능한 물품의 크기, 무게확장 등 산업화 측면의 연구개발에 더

많은 노력을 기울일 수 있다는 장점이 있다[37].

결과적으로 무인자율주행차량과 무인항공기를 결합시킨 이종 협업 무인시스템을 이용한 물류수송 시스템은 각 시스템의 장점을 살리고 단점을 보완하는 기술적 효과, 비용절감과 신산업 창출 등의 산업/경제적 효과, 최근 민간공역 비행으로 인해 불거진 법적 문제를 상대적으로 회피할 수 있는 무형의 효과 등 다양한 장점을 가질 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결론

지금까지 본 논문에서는 국내외에서 개발되고 있는 물류수송용 무인항공기에 대한 기술동향과 국내 실정에 적합한 무인시스템을 제안하였다. 특히, Amazon, DHL, Google 사에서 개발한 물류수송용 무인항공기의 기술개발동향을 소개하고 현재까지 언론에 보고된 내용을 토대로 상세 제원을 추정하였다. 또한 카이스트에서 개발된 물류수송용 무인항공기를 소개하고 이것과 다른 물류수송용 무인항공기의 기술동향을 비교하는 자료를 제시하였다.

그리고 이들의 문제점을 지적함과 동시에 물류수송을 위한 이종협업기반 무인시스템 개발을 제안하였다. 이 개념은 무인항공기의 단독비행을 통한 물류수송임무의 문제점을 적절히 해결할 수 있음과 동시에 산업/경제적, 법적 이점을 가져갈 수 있고 새로운 연구 및 개발분야 창출이 가능함에 대해 기술하였다.

가까운 미래에 세계적으로 무인 물류배송이 인정받고 상업적인 이익을 창출할 시기가 올 것이다. 이러한 물류배송 시스템의 발전은 민간분야의 이익창출뿐만 아니라 군용 병참임무, 재해 재난발생 시 구호임무에 획기적인 변화를 가져올 것이다. 이 때, 이종 무인시스템의 협업을 통한 무인 물류수송 임무수행은 새로운 융합연구 및 신산업 개발분야의 창출에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 국방과학연구소 “이종 자율 무인기 협업체계 연구용역” (계약번호 UE124026JD)으로 지원된 연구결과입니다. 지원에 감사 드립니다. 또한 본 논문을 통해 제시한 물류수송 개념과 이종협업 무인시스템은 다수 언론사를 통해 보도되었습니다 [34-36]. 기사화해주신 많은 관계자 분들께 감사의 말씀드립니다.

참고문헌

- [1] N. Seong, "Can make the mass market by commercializing the drone?," *Weekly Focus, LG Economic Research Institute*, pp. 23-28, Feb. 2014.
- [2] D. Jenkins and B. Vasigh, "The economic impact of unmanned aircraft systems integration in the united states," *Association for Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI)*, Mar. 2013.
- [3] R. Kent, J. Armstrong, and A. Obrecht, "The future of non-governmental organisations in the humanitarian sector: Global transformations and their consequences," *Humanitarian Futures Programme*, King's College London, Aug. 2013.
- [4] Amazon PrimeAir, <http://www.amazon.com/b?node=8037720011>.
- [5] DHL Packetcopter, <http://www.dw.de/deutsche-post-dhl-tests-delivery-drone/a-17281339>.
- [6] UPS Delivery drones, <http://www.theverge.com/2013/12/3/5169878/ups-is-researching-its-own-delivery-drones-to-compete-with-amazons>.
- [7] Fedex Delivery Drone, http://www.huffingtonpost.com/2013/12/19/fedex-ceo-drones_n_4468218.html.
- [8] Google Project Wing, <http://www.wired.com/2014/08/google-reveals-project-wing-its-two-year-effort-to-build-delivery-drones/>.
- [9] D.H.Shim, J.Lee, "Preliminary study on construction of control and navigation infrastructure for Civil UAVs," *KSAS fall conference, Ramada hotel, Jeju*, pp. 695-701, Nov. 2012.
- [10] S. Pullen, P. Enge, and J. Lee, "High-integrity local-area differential GNSS architectures optimized to support UAVs (Unmanned Aerial Vehicles)," *Proc. of ION ITM 2013*, San Diego, CA, USA, Jan. 2013.
- [11] Amazon unveils futuristic plan: Delivery by drone, <http://www.cbsnews.com/news/amazon-unveils-futuristic-plan-delivery-by-drone/>.
- [12] Amazon Prime Air-official homepage, <http://www.cbsnews.com/news/amazon-unveils-futuristic-plan-delivery-by-drone/>.
- [13] Project Wing vs. Prime Air: Google's Drones Soar Above Amazon's, <http://mashable.com/2014/08/29/google-project-wing-g-design/>.
- [14] Amazon's drone delivery: How would it work?, <http://edition.cnn.com/2013/12/02/tech/innovation/amazon-drones-questions/>.
- [15] Amazon Asks FAA Permission to Test Drones, <http://www.entrepreneur.com/article/235589>.
- [16] FAA's proposed drone rules could hinder Amazon's aerial delivery plans, <http://www.geekwire.com/2014/faas-new-drone-rules-hinder-amazons-aerial-delivery-ambitions/>.
- [17] Amazon's Robotic Order Fulfillment, <http://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/6880/Amazons-Robotic-Order-Fulfillment.aspx>.
- [18] Amazon Is Expanding Its R&D In Cambridge, U.K., With A Focus On Prime Air Drones And Speech Tech, <http://techcrunch.com/2014/11/11/amazon-cambridge-lab/>.
- [19] Amazon plans Prime Air delivery drone tests in the UK, <http://thenextweb.com/insider/2014/11/12/amazon-plans-prime-air-delivery-drone-tests-uk/>.
- [20] Amazon Is Hiring a Pilot to Test its Delivery Drones, <http://time.com/3585528/amazon-drones-prime-air/>.
- [21] DHL will do delivery-by-drone, but only for one tiny European island, <http://www.engadget.com/2014/09/24/dhl-paketkoetter-delivery-drone/>.
- [22] Deutsche Post DHL tests delivery drone, <http://www.dw.de/deutsche-post-dhl-tests-delivery-drone/a-17281339>.
- [23] DHL Paketkoetter startet zu Forschungszwecken ersten Linienbetrieb, http://www.dpdl.com/de/presse/pressemitteilung-en/2014/dhl_paketkoetter_startet_forschungszwecke_linienbetrieb.html.
- [24] DHL deploys 'parcelcopter' drone for drug deliveries to remote German island (PHOTOS), <http://rt.com/news/190432-dhl-drones-parcel-delivery-germany/>.
- [25] DHL makes first commercial deliveries with 'paketkoetter' drone, <http://www.marketingmagazine.co.uk/article/1314567/dhl-makes-first-commercial-deliveries-paketkoetter-drone>.
- [26] Google shows off 'Project Wing' delivery drones, <http://www.engadget.com/2014/08/28/google-x-project-wing/>.
- [27] Google X reveals Project Wing, autonomous drones that can deliver things 'in just a minute or two,' <http://www.extremetech.com/extreme/188899-google-x-reveals-project-wing-autonomous-drones-that-can-deliver-things-in-just-a-minute-or-two>.
- [28] Google reveals home delivery drone program Project Wing, <http://www.theguardian.com/technology/2014/aug/29/google-joins-amazon-in-testing-home-delivery-drones>.

- [29] CSAIL's Nick Roy helms Google's delivery-drone project, <http://newsoffice.mit.edu/2014/csail-nick-roy-google-delivery-drone>.
- [30] Google Project Wing rivals Amazon Prime Air: Battle of package delivery drones is on!, <http://www.techtimes.com/articles/14374/20140830/google-project-wing-rivals-amazon-prime-air-battle-of-package-delivery-drones-is-on.htm>.
- [31] GoogleX takes to the skies with secret drone project, <http://www.usatoday.com/story/tech/2014/08/28/google-x-secret-drone-delivery-project/14763139/>.
- [32] Google's Project Wing could lift US drone industry, <http://www.foxnews.com/tech/2014/08/29/googles-project-wing-could-lift-us-drone-industry/>.
- [33] Google 'Project Wing' working on delivery drone fleet, <http://www.nydailynews.com/news/national/google-project-wing-working-delivery-drones-article-1.1921004>.
- [34] KBS News-Strawberry Drone, http://news.kbs.co.kr/news/NewsView.do?SEARCH_NEWS_CODE=2844144&ref=A.
- [35] YTN TV-Delivery Drone, http://www.ytn.co.kr/_ln/0115_201405110859315353.
- [36] Channel A, Delivery Drone, <http://news.ichannela.com/society/3/03/20140411/62472156/1>.
- [37] S. Cho, D. Lee, Y. Jung, U. Lee and H. Shim, "Development of the Cooperative Heterogeneous Unmanned System for Delivery Services", *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 20, No. 12, pp. 1-8, Dec. 2014.
- [38] Domino's Tests Delivery of Pizza by Remote-Controlled Drone The DomiCopter takes flight By David Kiefaber, <http://www.adweek.com/adfreak/dominos-tests-delivery-pizza-remote-controlled-drone-150259>.
- [39] Zookal will deliver textbooks using drones in Australia next year, <http://www.theverge.com/2013/10/15/4840706/zookal-will-deliver-textbooks-with-drones-in-australia>.
- [40] Drone Delivers Beer to Ice Fishermen, FAA Calls, <https://www.yahoo.com/food/drone-beer-delivery-to-ice-fishermen-here-is-a-74966526266.html>.
- [41] Amazon Prime Air: 5 Major Weaknesses Of The Proposed Drone Delivery Service, <http://www.ibtimes.com/amazon-prime-air-5-major-weaknesses-proposed-drone-delivery-service-1491978>.
- [42] Random Drone Crash Nearly Takes Out Manhattan Businessman, <http://nymag.com/daily/intelligencer/2013/10/wat-ch-a-drone-hit-a-manhattan-building-video.html>.
- [43] Near-collisions between drones, airliners surge, new FAA reports show, http://www.washingtonpost.com/world/national-security/near-collisions-between-drones-airliners-surge-new-faa-reports-show/2014/11/26/9a8c1716-758c-11e4-bd1b-03009bd3e984_story.html.
- [44] S. Cho, S. Huh, D.H. Shim, and H. S. Choi, "Vision-based detection and tracking of airborne obstacles in a cluttered environment," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 69, no. 1, pp. 475-488, Jan. 2013.
- [45] Killed by a Drone Strike, Top al Qaeda Recruiter Abu Yahya al-Libi Will Be Hard to Replace, <http://www.thedailybeast.com/articles/2012/06/06/killed-by-a-drone-strike-top-al-qaeda-recruiter-abu-yahya-al-libi-will-be-hard-to-replace.html>.
- [46] U.S. funds used to compensate drone victims - Yemen presidency source, <http://uk.reuters.com/article/2014/11/13/uk-yemen-drones-payments-idUKKCN0IX21I20141113>.
- [47] U.S. funds used to compensate drone victims - Yemen presidency source, <http://america.aljazeera.com/articles/2014/11/11/drone-yemen-reprieve.html>.
- [48] Infamous Hacker Creates SkyJack To Hunt, Hack, And Control Other Drones, <http://techcrunch.com/2013/12/04/infamous-hacker-creates-skyjack-to-hunt-hack-and-control-other-drones/>.
- [49] SkyJack: The drone that hijacks other drones in mid-air, <http://www.gizmag.com/skyjack-hijacks-other-drones/30055/>.
- [50] SkyJack, <http://samy.pl/skyjack/>.
- [51] Stronger privacy laws needed to protect public from drones, parliamentary committee says, <http://www.abc.net.au/news/2014-07-14/call-for-stronger-privacy-laws-to-protect-from-drones/5594950>.
- [52] Expansion of drones pose security and privacy risk, <http://eandt.theiet.org/news/2014/oct/drone-expansion.cfm>.
- [53] Drones pose growing privacy risk: report, <http://www.smh.com.au/technology/technology-news/drones-pose-growing-privacy-risk-report-20140715-zt6nn.html>.
- [54] Drone use puts operators at risk of 'collateral privacy intrusion', says data watchdog, <http://www.out-law.com/en/articles/2014/november/drone-use-puts-operators-at-risk-of-collateral-privacy-intrusion-says-data-watchdog/>.

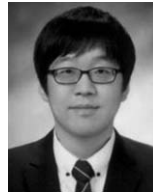
- [55] J. Hong, I. Kim, S. Kim, S. Jang, S. Cho, M. Jung, K. Choi, and C. Yoo, "Development of a position based Antenna tracker with pan and tilt mechanism for unmanned aerial vehicle," *KSAS spring conference*, Kolon, Gyeongju, pp.692-697, Apr. 2011.
- [56] E. Jung, "Implementation of visual tracking system via Pan/Tilt driving", Master Thesis, 2005.
- [57] Y. Baek and J. Choi, "Moving object detection in pan-tilt camera using image alignment," CICS conference, Welli Hilli park, pp. 260-261, Oct. 2008.
- [58] S.Huh, D.H.Shim, and J. Kim, "Integrated navigation system using camera and gimbaled laser scanner for indoor and outdoor autonomous flight of UAVs," *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Tokyo, Japan, pp. 3158-3163, Nov. 2013.

저 자 약 력



조 성 욱

- 2010년 한국항공대학교 항공우주공학과 학사.
- 2012년 한국과학기술원 기계항공시스템공학부 항공우주공학전공 석사,
- 2012년~현재 동 대학원 박사과정 재학 중.
- 관심분야 : 영상처리, 표적검출/추적, 영상기반 무인 제어 시스템.



정 언 득

- 2008년 한국과학기술원 기계항공시스템공학부 항공우주공학전공 학사,
- 2010년 동 대학원 석사,
- 2014년 동 대학원 공학박사,
- 2014년~현재 한국항공우주연구원 항공기술연구소 항공기반기술실 항공제어전자팀 선임연구원 재직 중.
- 관심분야 : 다중 비행모드 제어시스템, 적응제어기법, 무인 비행제어 시스템 개발.



심 현 철

- 1991년 서울대학교 기계설계학과 학사.
- 1993년 동 대학원 석사.
- 2000년 University of California, Berkeley Mechanical Engineering 공학박사.
- 2007년~현재 한국과학기술원 항공우주공학과 부교수 및 KI Field Robotics Center 센터장.
- 관심분야 : 무인 비행제어 시스템, 필드 로봇릭스 시스템.