RTK GPS 기반 TR-60 틸트로터무인기 자동착륙 비행시험

Automatic Landing Flight Test of TR-60 Tilt Rotor UAV based on RTK GPS

유창선*, 장은영, 송복섭, 조암, 박범진, 김유신, 강영신, 최성욱, 구삼옥
한국항공우주연구원

초 록

TR-60 틸트로터 무인기는 전장 3m, 최대이륙중량 200kg로서 2013년 2월 자동천이비행에 성공한 비행체로서 현재 해상운용을 위한 함상이착륙기술을 개발 중에 있다. 무인기 해상운용은 육상보다 심한 염무와 바람과 선박의 운동에 의한 착륙대의 이동 등의 열악한 환경에서 이루어져야 한다. 이동이 있는 착륙대와 착륙장 주변의 장애물을 고려하면 정확한 착륙을 위한 정밀한 항법유도가 요구된다. TR-60의 정밀항법유도를 위해서 수cm 단위의 정확도를 갖는 RTK GPS 기반의 정밀상대항법과 이동 착륙장 대한 자동착륙유도를 설계하고 구현함으로 함상자동 이착륙 기술을 개발하였다. 본 논문에서는 RTK GPS 기반의 정밀상대항법과 자동착륙유도에 대한 연구와 함상접근착륙절차에 따른 자동착륙정확도 측정 비행시험 결과를 기술하였다.

1. 서 론

TR-60은 2002년부터 시작하여 2012년까지 수행된 21세기 프론티어사업을 통해 항공우주연구원에서 개발한 전장 5m인 스마트무인기의 60% 크기의 틸트로터 무인기이다. 전장 3m, 최대이륙중량 200kg, 최고속도 250km/h, 체공시간 6시간, 탑재중량 30kg인 비행체로서 2013년 2월 자동천이비행에 성공하였으며 현재는 임무범위를 해상운용으로 확장하기 위하여 함상이착륙기술을 개발 중에 있다. 무인기의 해상운용시 습기와 염무와 바람과 선박의 운동으로 인해 육상보다 열악한 환경에서 비행체를 운용해야 한다. 습기와 염무는 탑재된 전자장비와 시스템에 침투하여 고장의 원인이 될 수 있고 바람은 착륙장 부근에 불규칙한 공기흐름을 만들어 비행체의 접근착륙을 어렵게 한다. 선박의 피치, 롤, 히브 운동과 이동은 육상의 고정된 착륙장과 달리 비행체의 안정된 착륙을 위한 유도제어 설계와 강착장치가 요구된다[1][2][3]. RTK(Real Time Kinematic) GPS는 반송파를 이용한 GPS 오차를 보정하는 방법으로 측지분야에서 정밀측지에 사용되어야 왔으며 항공기의 실시간 항법에 적용하기에는 반송파의 미지정수에 대한 불연속성 가능성으로 GPS 코드정보와 혼합해서 사용하거나 관성항법 센서를 보조수단으로 사용하여 왔다. 데이터 처리 기술과 GPS 수신기술의 발전으로 이러한 RTK GPS에 대한 기술적인 문제를 보완하면서 무인기의 정밀항법에 사용되고 있으며 2012년 미국 보잉사에서는 RTK GPS를 이용하여 무인헬기 Unmanned Little Bird (ULB) 함상착륙 비행시험에 성공하였다[4]. 본 논문에서는 RTK GPS 기반의 정밀상대항법과 자동착륙유도에 대한 연구와 함상접근착륙절차에 따른 자동착륙정확도 측정 비행시험 결과를 기술하였다.

2. 시스템 구성

2.1 TR-60M

TR-60M은 육상용으로 개발된 TR-60 무인기를 해상용으로 개발한 틸트로터 무인기로서 TR-60과 동일한 동체 형상에 스키드 방식의 착륙장치와 정밀항법을 위한 RTK GPS시스템과 이중화된 C/UHF 통신이 탑재되어 있다. 스키드 방식의 착륙장치는 함상착륙시 미끄러짐에 견디고 안정된 착륙을 위하여 3점 바퀴 형태로부터 설계변경을 하였으며 RTK GPS는 정밀상대항법을 위

하여 사용되었으며 C/UHF 통신장비는 해상운용 시 통신 신뢰도를 높이기 위하여 C통신을 주통신 주파수로 사용하고 UHF통신을 부통신 주파수로 하여 이중으로 사용될 수 있도록 하였다. TR-60M 형상과 제원은 각각 그림 1, 표 1과 같다.

Fig 1. TR-60M UAV

Table 1. Specification of TR-60M

구 분	제 원
동체길이 (m)	3
최고속도 (km/h)	250
체공시간 (h)	6
탑재중량 (kg)	30
최대중량 (kg)	200

2.2 RTK GPS 정밀항법시스템

RTK GPS는 19cm의 반송파를 이용하여 GPS의 오차를 보정하는 방법으로 선박 착륙장에 놓이는 지상 기준국 장비와 오차정보를 수신하여 GPS를 오차를 보정하고 정밀항법을 구현하는 탑재장비로 구성된다. 또한 지상 기준국 장비는 선박의 자세운동을 측정하기 위하여 관성센서와 같이 사용되며 지상국에서 수신한 GPS 원시데이터와 지상국의 항법데이터를 사용자가 설정한 착륙점 기준으로 변환한 데이터와 탑재장비 제어명령

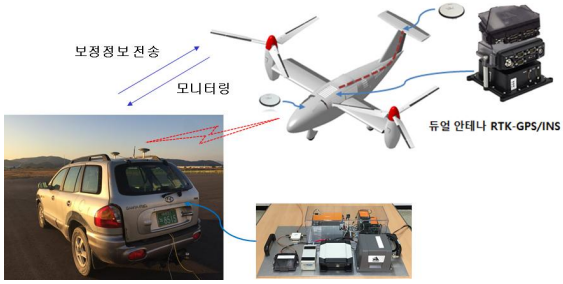


Fig 2. Configuration of RTK GPS System

을 각각 통신 모뎀을 통해 10Hz로 전송한다. 탑재장비는 움직이는 선박에서 초기정렬을 수행하기 위해서 초기 자세값을 획득하기 위한 외부 센서로서 지자기센서가 필요하나 도체로 구성된 선박에서 사용하기가 어려워 2개의 GPS 수신기 및 안테나를 탑재하여 피치 및 헤딩 벡터를 이용하여 초기정렬을 수행하였다. 마찬가지로 지상장비에서도 비행체에 비해 상대적으로 동적 움직임이 적어 고정밀 관성센서가 필요하나 자세정확도 향상을 위하여 Honeywell 링레이저 자이로로 이루어진 HG1700 관성센서와 이중의 GPS 안테나를 지원하는 Novatel의 Propak6 GPS 수신기가 사용되었다. 또한 선박과 비행체의 이동과 무선통신에 따른 시간지연 오차를 속도 정보를 이용하여 보정함으로 상대항법 위치 정확도를 향상시켰다.

2.3 이동착륙장에 대한 자동착륙 유도제어

고정된 착륙장과 달리 이동착륙에 대한 자동착륙유도제어는 자동착륙지점에 대한 정보가 실시간으로 갱신되어 비행체와 선박간의 상대위치와 속도가 측정되고 이를 이용하여 착륙유도제어기가 작동이 되어야 한다. 함상접근착륙 유도명령은 식 (1)과 같이 계산되었다.

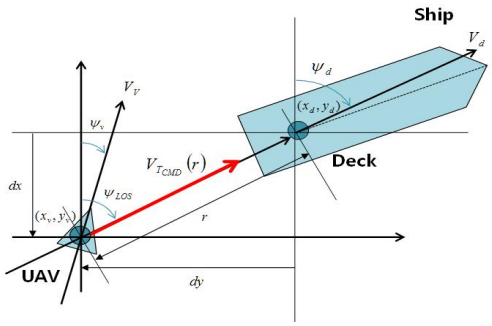


Fig 3. Configuration of Guidance Law

$$V_{N_{CMD}} = V_{T_{CMD}}(r)\cdot\cos\psi_{LOS} + \frac{x_d}{dt}$$
$$V_{E_{CMD}} = V_{T_{CMD}}(r)\cdot\sin\psi_{LOS} + \frac{y_d}{dt} \quad (1)$$

2.4 함상접근착륙절차

육상과 달리 함상에 착륙할 때는 좁은 착륙대 주변의 구조물로부터 생기는 불규칙한 공기흐름으로 인하여 비행체가 영향을 받는다. 선박에 무인기의 착륙 시 바람의 방향을 사전에 확인하고 바람을 정풍으로 받도록 유도하여야 한다. 크게 고려할 수 있는 접근경로는 그림 4와 그림 5와 같이 선박의 좌우측이나 직후방에서 접근하여 선박의 이동과 동일한 속도로 이동하다가 착륙대 상공으로 이동하여 호버링 후 고도를 낮추면서 착륙하도록 하였다.

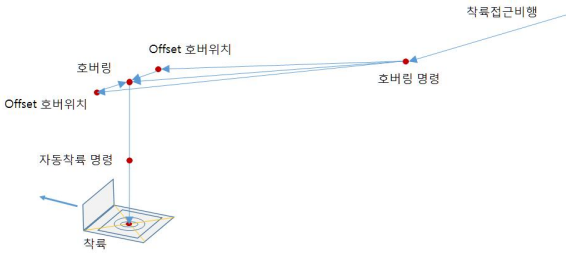


Fig 4. Approach and landing procedure

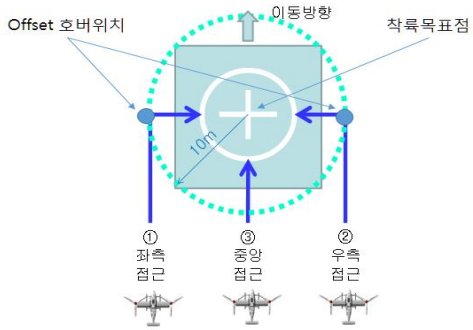
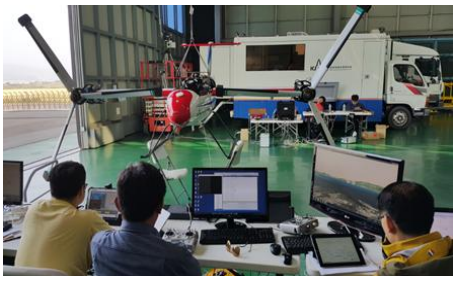


Fig 5. Approach procedure to ship

3. 시험평가

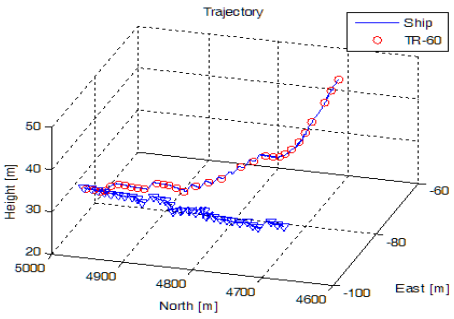
3.1 HILS 시험

HILS (Hardware-In-the-Loop Simulation) 시험은 비행운동을 모사하는 비행시뮬레이션 환경에서 실제 시스템을 사용하여 비행제어시스템을 시험 평가하는 방법이다. 본 연구에서는 TR-60M 비행을 모사하는 시뮬레이션 환경에서 실제 비행시험시 사용되는 비행제어컴퓨터와 지상관제장비를 이용하여 시스템을 검증하였다. 내외부 조종사가 접근착륙절차에 따라 함상에서 자동이륙과 착륙을 반복하여 비행제어로직과 시스템이 정상적으로 구현되어 동작함을 확인하였다. 그림 6은 선박속도 10kts, 풍향 10oN, 풍속 5m/sec에서 선박 우측에서 접근착륙한 결과이다.



(a) HILS System

(b) Image for shipboard landing



(c) 3D trajectory

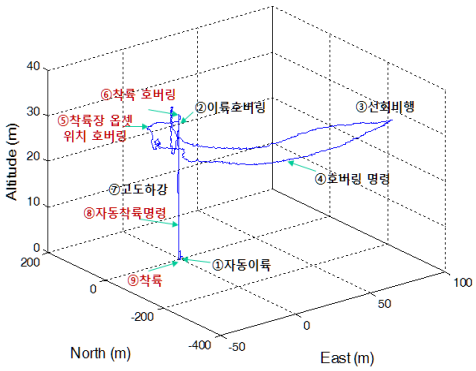
Fig 6. HILS test for shipboard landing

3.2 비행시험

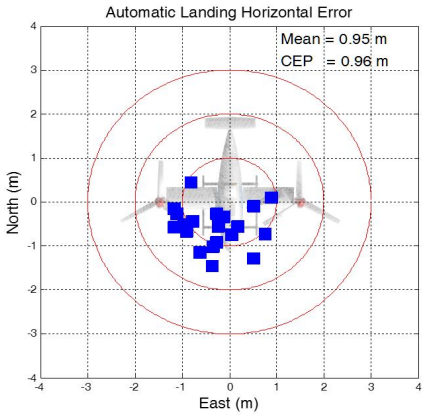
HILS를 통하여 시스템을 검증한 후 함상접근절차에 따른 비행시험을 수행하였다. 비행운용절차는 자동이륙, 호버링, 장주비행, 선회비행, 옵셋 호버링, 호버링, 자동착륙, 착륙으로 이루어졌으며 기상조건은 풍향 75oN, 풍속 1.5m/sec, 시정 2,000m, 온도 9.1℃였다. 착륙정확도는 이륙 전 RTK-GPS 정밀항법센서를 이용한 이륙지점을 원점(0,0)으로 설정한 후 비행운용절차에 따라

비행 후 이륙지점을 목표 착륙점으로 하여 자동 착륙 후 착륙목표점으로부터 오차를 측정하였다. 측정결과는 20회 비행을 통하여 CEP 0.96m의 착륙오차 정확도를 획득하였다.

(a) Flight test



(b) Operational procedure



(c) Automatic landing performance

Fig 7. Flight test for automatic landing

Table 2. Result of automatic landing

	측정결과	요구도
비행횟수 (회)	20	–
CEP (m)	0.96	< 1.0
평균 (m)	0.95	–
표준편차 (m)	0.32	–

4. 결 론

TR-60 틸트로터무인기의 해상운용을 위한 함상이착륙기술이 연구되었다. 함상이착륙은 선박의 운동에 따른 착륙대의 이동과 협소한 공간과 air wake에 의한 불규칙한 공기흐름 등으로 육상에 비해 운용이 어렵다. 이를 위하여 정밀한 항법유도가 요구되며 본 연구에서는 RTK GPS 기반의 정밀상대항법을 이용하여 함상착륙유도제어를 구현하였다. HILS를 통하여 비행시험절차와 시스템을 검증한 후 비행시험을 수행한 결과 20회 자동착륙을 통해 CEP 0.96m의 착륙정확도를 획득함으로 정밀상대항법 및 유도 성능을 확인할 수 있었다.

후 기

본 논문은 산업통상자원부 지원으로 수행하는 “틸트로터형 무인비행로봇 해상운용 핵심기술개발” 과 “200k급 틸트로터 무인기의 함상운용 입증을 위한 기술개발” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] C. S. Yoo, A. Cho, B. J. Park, Y. S. Kang, “Take-Off Study of Shipboard Landing of Vertical Rake-off and Landing Aircraft”, Aerospace Technology, Vol. 12, No. 1, pp.10 ~ 21, July, 2013.

[2] Chang Sun Yoo, Chi Hoon Lee, Bum Jin Park, Am Cho and Young Shin Kang, “Wake Modeling and Simulation of Tilt Rotor UAV Shipboard Landing”, International Conference on Control,

Automation and Systems, Oct. 14, 2014.
[3]유창선, 조 암, 박범진, 강영신, “틸트로터 무인기 함상이착륙 위한 파고운동 해석 및 시뮬레이션”, 항공우주학회지, Vol 42, No. 9, pp. 731~738, 2014.9.1.
[4] M. Hardesty, S. Kennedy, S. Dixon, T. Berka, J. Graham, D. Caldwell, "Development of Navigation and Automated Flight Control System Solutions for Maritime VTOL UAS Operations," USNA12, pp. 1 −20