

論文

무인 파라포일 시스템을 위한 바람 추정 기법 연구

김태욱*, 송용규**

A Study on the Wind Estimation for Unmanned Parafoil System

Tae-Wook Kim* and Yong-Kyu Song**

ABSTRACT

In this paper, a simple algorithm is proposed to estimate wind speed and direction which can significantly improve the landing performance of an unmanned parafoil. The proposed algorithm is applied to flight test data along with other known algorithms and the results are compared and discussed. The proposed algorithm shows comparable performance while it can still be applied to the parafoil under control.

Key Words : Unmanned Parafoil system(무인 파라포일 시스템), ADC(Air Data Computer), TAS(True Air Speed), GS(Ground Speed), EM(Energy Management)

1. 서 론

무인 파라포일 시스템은 기존의 고정익, 회전익 항공기에 비해 큰 Payload를 탑재할 수 있다는 장점으로 인해 대량의 물자수송이나 공수에 많이 사용되고 있는데 목표지점에 정확하고 안전하게 화물을 배달하기 위해서는 대기의 풍향 및 풍속 정보를 고려하여 제어하는 것이 필요하다. 그러나 무인 파라포일 시스템의 경우 비행속도도 느리고 시스템의 구조 및 편의성 때문에 ADC(Air Data Computer)를 탑재하지 않고 GPS와 AHRS 정보만으로 바람을 추정하는 기법들이 연구되고 있다.

본 논문에서는 비행 중에 실시간으로 바람정보를 획득할 수 있는 직선비행 바람 추정 기법과 참고 문헌 [1]에서 제안한 바람추정 기법을 적용하고 또 파라포일을 제어하는 도중에도 바람추정이 가능한 간단한 알고리즘을 제안한다. 실제 파라포일의 비행시험데이터에 이 기법들을 적용하고 결과들을 비교 검토하고자 한다.

2015년 03월 12일 접수 ~ 2015년 03월 25일 심사완료
논문심사일 (2015.03.23, 1차)

* 한국항공대학교 대학원 항공우주 및 기계공학과

** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

연락처, E-mail : ktw-32@hanmail.net

경기도 고양시 덕양구 항공대학로 76

2. 본 론

2.1 직선 비행 바람 추정 기법

일반적으로 항공기의 항로비행에서 풍속과 풍향을 산출하는 방법은 아래 Fig. 1과 같다.

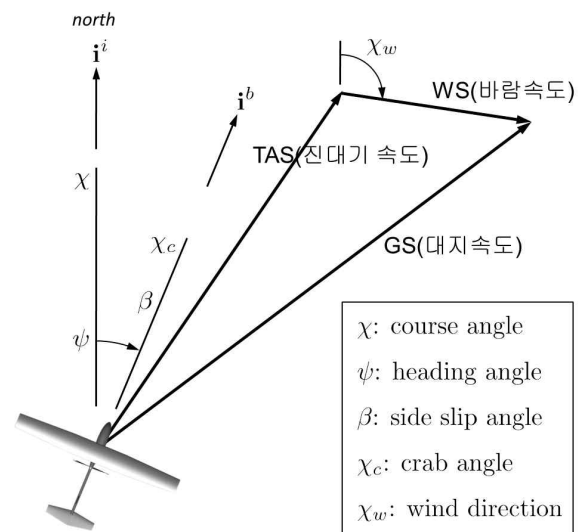


Fig. 1 Wind Direction and Speed

ADC를 탑재한 경우 진대기 속도를 측정할 수 있고, GPS를 이용하여 대지 속도를 측정할 수 있기에 풍속과 풍향을 간단히 산출할 수 있다. 하지만 물자 수송을 위한 파라포일 시스템의 경우 ADC는 시스템 구성에 따른 운용상의 문제로 인하여 GPS 정보를 주로 사용하여 바람 추정을 하고 있다.

직선비행 시 바람 추정 알고리즘을 아래 Fig. 2와 같이 구성하였다.

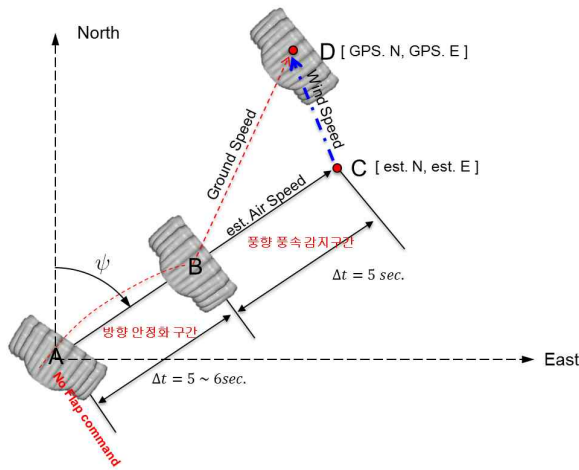


Fig. 2 Straight flight wind estimation algorithm

위 그림에서 A 지점부터 B 지점까지는 방향 안정화 구간으로 조종면의 입력을 가하지 않는다. 방향이 안정화 된 후 B 구간을 지날 시 AHRS Heading 정보와 GPS 속도정보를 얻어 5 초 후 도달할 가상의 지점 C를 구한다.

바람의 영향으로 파라포일은 가상의 C 지점을 벗어나게 되고 5초 후 도달한 D 지점을 GPS로부터 확인 후 기록한다. C 지점과 D 지점을 연결한 벡터를 바람으로 추정한다.

$$est. C_N = pos(N)_{GPS_A} + Speed_{GPS_B} \times \Delta t \times \cos(Heading_{AHRS_B}) \quad (1)$$

$$est. C_E = pos(E)_{GPS_A} + Speed_{GPS_B} \times \Delta t \times \sin(Heading_{AHRS_B}) \quad (2)$$

$$W_{speed} = \frac{1}{\sqrt{(pos(E)_{GPS_D} - est. C_E)^2 + (pos(N)_{GPS_D} - est. C_N)^2}} \quad (3)$$

$$W_{dir.} = atan2(pos(E)_{GPS_D} - est. C_E, pos(N)_{GPS_D} - est. C_N) \quad (4)$$

이 알고리즘의 경우 TAS를 측정 시작점의 AHRS Heading 정보와 GPS속도정보를 이용하고 있기에 바람 추정의 부정확성은 있으나 무인 파라포일 시스템의 운용에 응용될 수 있다. 실제 비행 시험을 통해 직선비행 바람 추정기법의 성능을 확인해 보았다.

비행시험 기체는 Six chuter 사의 Paragon 기체를 사용하였으며 상세 제원은 아래 표와 같다.

Table 1. Paragon Specifications

Specifications	Paragon 912
Engine	Rotax 912
Gear Reduction	3.47:1
Output	80 - 100 H.P.
Canopy	
Span	39.5'
Chord	12.5'
Area	500 sq.ft.
Airframe Weight	450 lb
Ideal Gross Wight	1100 lb
Maximum Payload	650 lb
Rate of Climb	500 - 1000 ft/min
Sink Rate	3 - 8' /sec
Glide Ratio	3 - 5 : 1
Take off distance	100' - 400'
Canopy Model	PD Sunriser 500

비행 시험은 테스트 파일럿이 실험 절차에 따라 직접 조종하였으며 제작된 비행제어 컴퓨터 (FCC)를 기체에 탑재하여 20Hz로 데이터를 저장하였다. Fig. 3는 실험을 위한 비행제어 컴퓨터 탑재 모습이다.



Fig. 3 Flight Test

풍향과 풍속은 고도와 시간에 따라 가변하기에 정확한 값을 알 수 없지만 비행시험 당시 지상에서 측정된 풍속이 평균 3.71m/s 정도를 기록하였고 풍향은 북쪽 기준으로 평균 22.0 deg 정도였다. 비행 시험 당일 지상의 풍향과 풍속은 대체로 안정적이었고 순간적으로 큰 변화는 없었다.

아래 Fig. 4는 비행 시험을 통해 얻은 데이터로 직선 비행 바람 추정 알고리즘을 Matlab으로 후처리한 결과이다.

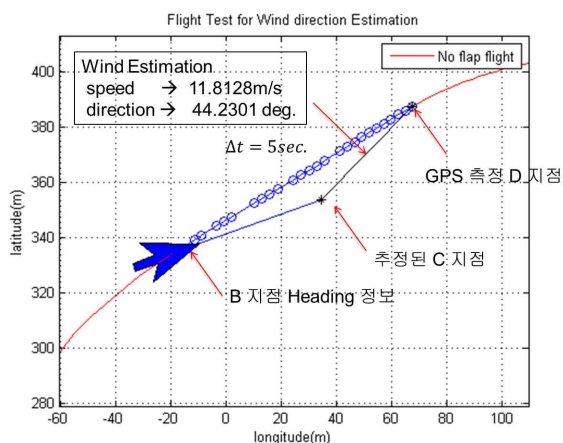


Fig. 4 Straight flight wind estimation result

2.1 절에서 제안한 직선 비행 시 바람 추정 알고리즘의 경우 후처리 결과 방향은 44.2deg. 로 풍속은 11.8m/s로 계산되었다. 비행 시험 전 지상 측정과 비교해 볼 때 풍향에 대해서 대략적인 정보만을 얻을 수 있었으며, B지점의 진대기 속도를 GPS의 속도로 정하고 계산되기에 추정된 풍속은 신뢰성이 별로 없음을 확인하였다.

2.2 선회비행 바람 추정 기법

직선비행 시 바람 추정 방법의 단점을 보완할 수 있는 알고리즘으로 Roos, J.-C.[1] 가 제안한 바람 추정 기법을 적용하였다. 아래 Fig. 5는 참고문헌 [1]에서 제안한 알고리즘을 설명하고 있다.

바람 추정 알고리즘은 시작지점의 위치와 Heading 정보를 기록하고 1바퀴 선회 후 바람이 없는 경우는 진원을 그리며 시작 지점으로 돌아오나 바람이 있을 경우 위치의 변화가 발생하고 그 위치 변화량을 바람 속도 벡터로 계산하는 알고리즘이다. 1회 선회의 확인은 시작점의 Heading 정보와 같아지는 점까지를 1회 선회로 판단한다.

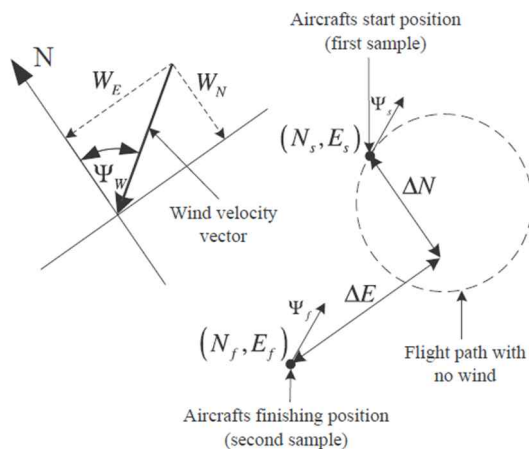


Fig. 5 Roos's wind estimation algorithm

풍향과 풍속의 계산은 아래와 같다.

$$\Delta N = N_f - N_s \tag{5}$$

$$\Delta E = E_f - E_s \tag{6}$$

$$W_N = \frac{\Delta N}{t}, W_E = \frac{\Delta E}{t} \tag{7}$$

$$\psi_w = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta E}{\Delta N} \right) \tag{8}$$

2.1절에서 설명한 비행시험 방법으로 서클 선회 비행 바람 추정 알고리즘을 검증해 보았다.

비행 시험은 우-선회 25%, 우-선회 50%, 우-선회 75%, 좌-선회 50%, 좌-선회 75%를 수행하였으며 여기서 %는 조종면 작동 최대치의 비율을 나타낸다.

Roos, J.-C.[1]가 제안한 알고리즘을 비행시험을 통해서 분석해 본 결과 풍향 및 풍속 추정이 잘 되는 것을 확인하였으며 비행 시험 분석 결과는 아래에서 본 논문에서 제안한 바람추정 알고리즘과 비교하여 설명할 것이다.

2.3 제어중에도 적용가능한 바람 추정 기법

Roos, J.-C.[1]가 제안한 알고리즘의 경우 제어를 하지 않고 한쪽 조종면만 내린 자연 비행상태에서 선회비행을 하면서 바람정보를 획득하는 방법이어서 무인 파라포일 시스템이 착륙 목표지점 같은 특정 위치를 중심으로 일정한 반경을 그리는 비행을 할 경우 적용할 수 없다. 이에 정확한 목표지점에 착륙하기 전 목표지점 주위로 일정 반경 선회(Energy Management : 유도낙하산의 경우 하강만이 존재하므로 착륙 진입 고도 제어가 필요.) 제어를 하면서도 바람 추정이 가능한 간단한 알고리즘을 제안하고자 한다.

Fig. 6에서 제안하는 알고리즘은 바람의 영향에 의해 파라포일 시스템의 비행 속도의 변화가 발생하는 것에서 시작하였다. 풍속은 1회 선회 시 최대 속도와 최소 속도의 차로 결정된다.

$$V_W = \frac{V_{max} - V_{min}}{2} \quad (9)$$

풍향은 아래와 같이 최대 풍속의 GPS Heading 정보와 최소 풍속의 (GPS Heading + 180) 의 산술평균으로 한다.

$$W_{dir} = \frac{H_{GPS}@V_{max} + (H_{GPS}@V_{min} + 180^\circ)}{2} \quad (10)$$

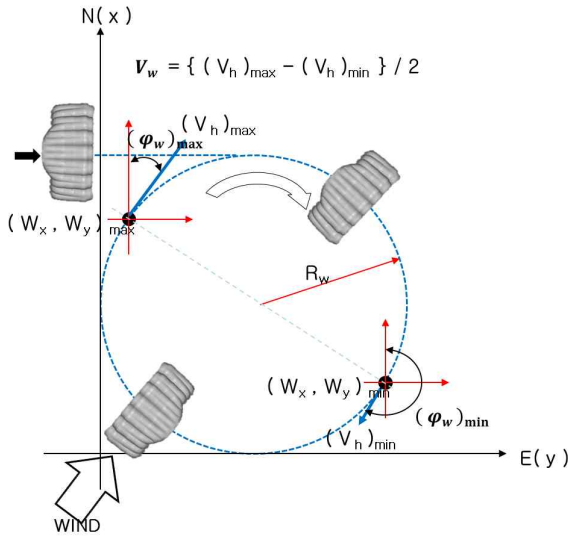


Fig. 6 New Wind Estimation Algorithm

본 논문의 비행시험은 조종사가 직접 조종명령을 주었기에 특정한 지점을 중심으로 일정 반경 선회 비행을 할 수가 없었지만 여기서 제안한 방법은 자동 비행 상태에서 선회하는 경우에도 풍속과 풍향을 추정할 수 있는 장점이 있다.

Roos, J.-C.[1]가 제안한 알고리즘과 본 논문에서 제안하는 바람추정 알고리즘을 비행시험을 통해 분석한 내용은 아래와 같다.

녹색 화살표는 최대 속도 지점과 최소 속도 지점의 GPS Heading 방향을 나타내고 있으며 Avg dir 은 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 통해 계산된 풍향(북쪽 기준 0 deg)을 나타낸다. [1]dir 은 Roos, J.-C.가 제안한 알고리즘의 결과이고 WS는 풍속(m/s)을 의미한다.

Fig. 7 ~ Fig. 11의 바람 추정 결과를 살펴보면 본 논문에서 제안한 바람 추정 알고리즘의 결과와 Roos, J.-C.가 제안한 알고리즘의 결과 치는 유사하게 나타

난다. 하지만 기존의 방식은 무인 파라포일 시스템이 바람 추정을 하기 위해서 1회 선회 동안 제어기를 작동 할 수 없지만 새로운 바람 추정 기법의 경우 능동적인 제어를 하면서 1회 선회만 하면 풍향과 풍속을 추정할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

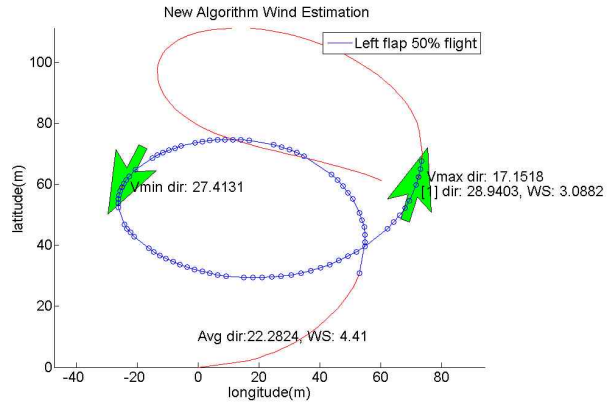


Fig. 7 Left Turn (50% Brake)

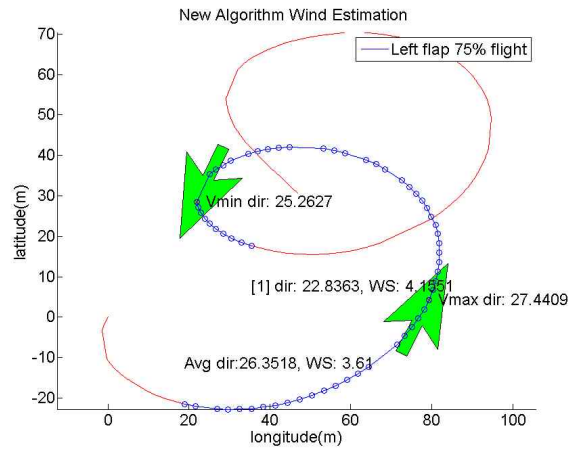


Fig. 8 Left Turn (75% Brake)

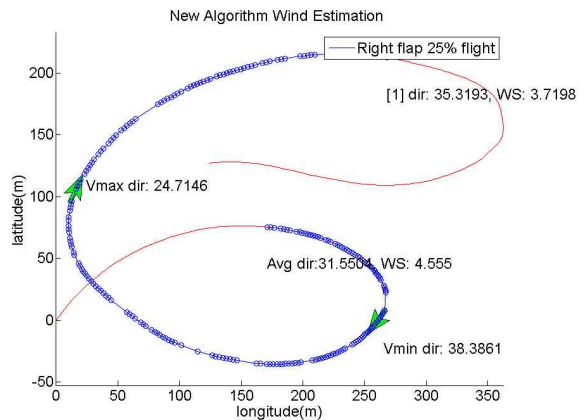


Fig. 9 Right Turn (25% Brake)

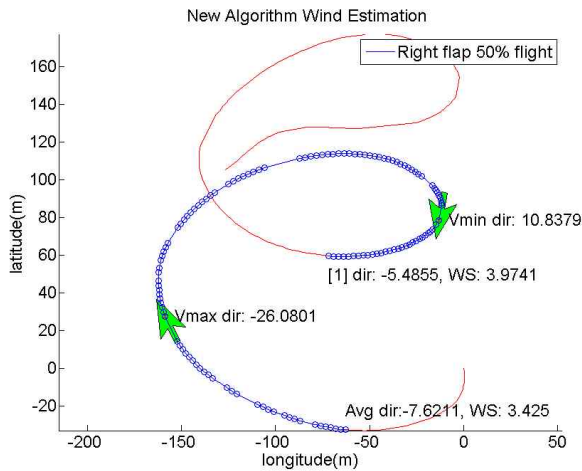


Fig. 10 Right Turn (50% Brake)

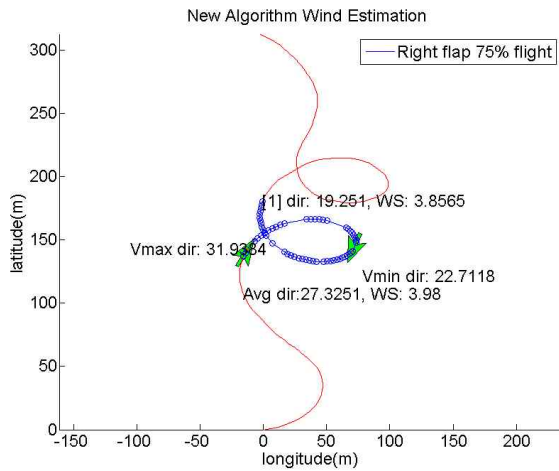


Fig. 11 Right Turn (75% Brake)

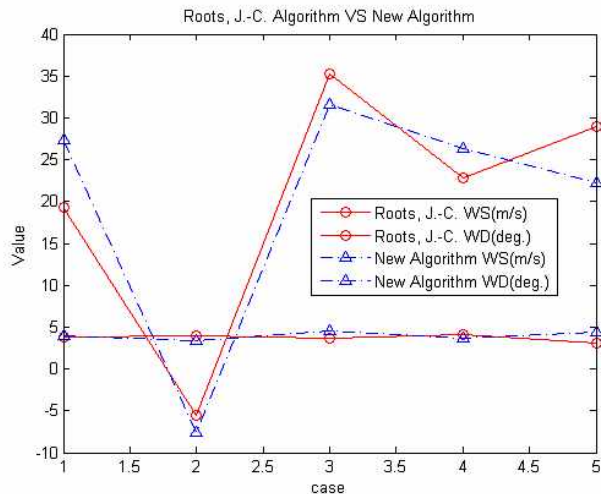


Fig. 12 Wind estimation algorithm result

위 Fig. 12는 두 알고리즘의 비교 결과인데 풍향 풍속 추정 결과를 보면 참고문헌 [1]의 방법과 본 논문에서 제안한 바람 추정 기법의 추정결과가 유사함을 알 수 있다. 이 방법을 실시간으로 적용하기 위해서는 물론 한 바퀴이상의 선회가 필요하지만 이 방법은 매우 간단하면서도 능동적인 비행제어를 하며 바람 추정이 가능하다는 장점이 있다.

Table 2. Wind speed estimation(m/s)

Case	Roos[1]	본 논문 방법
1. 좌선회 50%	3.09	4.41
2. 좌선회 75%	4.15	3.61
3. 우선회 25%	3.72	4.55
4. 우선회 50%	3.97	3.43
5. 우선회 75%	3.86	3.98
추정치 평균	3.758	3.996
지상 측정치 평균	3.71	

Table 3. Wind direct estimation(deg.)

Case	Roos[1]	본 논문 방법
1. 좌선회 50%	28.94	22.28
2. 좌선회 75%	22.84	26.35
3. 우선회 25%	35.32	31.55
4. 우선회 50%	-5.49	-7.62
5. 우선회 75%	19.25	27.33
추정치 평균	20.17	19.98
지상 측정치 평균	22.0	

위 추정 결과를 보면 Case 2의 풍향 추정치를 제외하고는 대체로 추정치가 지상 측정치를 크게 벗어나지 않음을 볼 수 있다. 측정치는 지상에서의 평균값이므로 150m의 비행고도에서와 차이가 있을 수 있고 또 시간에 따라 실제 풍향, 풍속 값은 다소 변하므로 추정값으로 판단할 때는 어느 정도 신뢰성이 있다고 보이며 소프트랜딩 등의 제어를 하기에는 충분하다고 판단된다. Case 2의 경우에는 두 가지 기법이 모두 풍향추정치가 다른 값들과 차이를 보이고 있는데 이는 공중에서 돌풍이 좀 있었던 것으로 추측된다.

종합적으로보면 추정결과가 어느 정도 타당성이 있다고 판단되며 본 논문에서 제안한 방법은 간단하면서도 참고문헌[1]의 방법과 큰 차이를 보이지 않고 있고 또 비행제어를 하면서도 사용할 수 있어 실제적으로 적용하기에 충분하다고 사료된다.

3. 결 론

본 논문에서는 직선 비행 시 바람을 추정하는 기법과 Roos[1]가 제안한 바람 추정 기법 그리고 제어기 작동이 가능한 바람 추정 기법을 비행 시험을 통한 데이터 분석으로 성능을 검증하였다.

직선 비행 바람 추정 기법은 대략적인 풍향을 감지할 수 있었으며 풍속의 신뢰성은 비교적 낮다. 이 기법은 물자 수송 시 고 고도에서 대략적인 풍향을 감지 할 때 무리한 서클 선회 비행을 통해 바람 추정을 하지 않고 쉽게 풍향을 예측할 수 있는 장점이 있다.

Roos[1]가 제안한 바람 추정 기법은 풍향과 풍속이 비교적 정확한 반면, 바람 추정 알고리즘이 진행되는 동안 파라포일 시스템을 제어할 수 없다는 단점이 있다. 무인 파라포일 시스템의 경우 자동착륙 시 일반적으로 EM(Energy Management)과정을 거치게 되고 이 때 일정 반경의 선회비행을 실시하게 된다. 이처럼 제어기가 작동될 경우에도 본 논문에서 제안한 바람 추정 기법을 이용하면 풍향 풍속을 어느 정도 정확히 감지할 수 있고 이런 정보를 바탕으로 특정위치에 자동으로 착륙할 수 있는 기초 정보를 얻을 수 있다.

후 기

본 연구는 한국연구재단에서 지원하는 일반연구를 통해 연구한 결과의 일부이며 지원에 감사드린다.

참고문헌

- 1) Roos, J.-C.: "Autonomous Take-Off and Landing of a Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicle." Master's thesis, Stellenbosch University, 2007
- 2) Gideon van der kolf , "Flight Control System for an Autonomous Parafoil", Master's thesis, Stellenbosch University
- 3) Michael Ward, "Adaptive Glide Slope Control for Parafoil and Payload Aircraft", Master's thesis, Georgia Institute of Technology
- 4) Damian Toolhey, "Development of a Small Parafoil Vehicle for Precision Delivery,

Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology, June 2005

5) Joshua E. Benton , "Miniaturization, Integration, Flight Testing, and Performance Analysis of a Scalable Autonomous GPS-Guided Parafoil System for Targeted Payload Return", Master's thesis, San jose State University, May 2012

6) Masahito Watanabe and Yoshimasa Ochi, "Modeling and Simulation of Nonlinear Dynamics of a Powered Paraglider", AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit 18 - 21 August 2008.