



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년04월02일
 (11) 등록번호 10-1844727
 (24) 등록일자 2018년03월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01P 5/07 (2006.01) B64C 39/02 (2006.01)
 B64D 45/00 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 G01P 5/07 (2013.01)
 B64C 39/024 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2017-0169320
 (22) 출원일자 2017년12월11일
 심사청구일자 2017년12월11일
 (56) 선행기술조사문헌
 W02017098571 A1*
 JP2006306254 A
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 세종대학교산학협력단
 서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
 (72) 발명자
 홍성경
 서울특별시 서초구 동광로33길 15, 101호(반포동, 반포 이안애 1차)
 이재명
 서울특별시 광진구 천호대로110길 111, 302호 (능동, 파크빌라)
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 유병욱, 한승범

전체 청구항 수 : 총 11 항

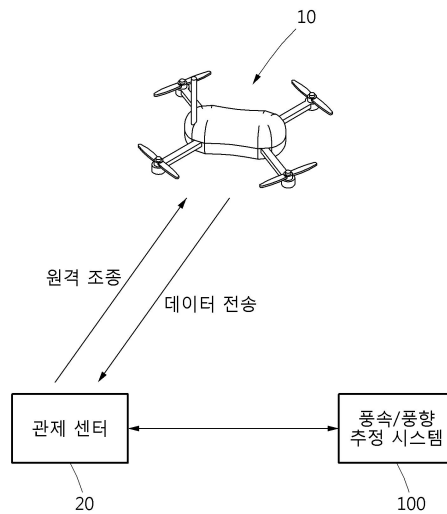
심사관 : 김창주

(54) 발명의 명칭 **회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템**

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템은, 회전의 무인비행체에 탑재된 센서를 이용하여 풍속 또는 풍향을 추정할 수 있다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

B64D 45/00 (2013.01)
B64C 2201/024 (2013.01)
B64C 2201/12 (2013.01)

(72) 발명자

유민구

서울특별시 강남구 봉은사로51길 32, 501호(논현동, 삼성 베스트빌)

임성철

경기도 안양시 만안구 삼봉로 61, 103동 107호(박달동, 금호타운)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711054932
부처명	과학기술정보통신부
연구관리전문기관	정보통신기술진흥센터
연구사업명	대학ICT연구센터육성지원사업
연구과제명	모바일 플랫폼 기반 엔터테인먼트 VR 기술 연구
기 여 율	1/1
주관기관	세종대학교 산학협력단
연구기간	2016.06.01 ~ 2019.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

회전의 무인비행체에 탑재된 센서를 이용하여 풍속 또는 풍향을 추정하되, 상기 회전의 무인비행체의 비행 속도에 대한 상기 회전의 무인비행체의 자세 데이터를 이용하여, 주위 공기에 대한 상기 회전의 무인비행체의 상대 속도인 대기속도를 추정하는 것을 특징으로 하는 회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 회전의 무인비행체의 자세 데이터는, 상기 회전의 무인비행체가 피치 모션에 의해 기울어진 피치 각도 및 롤 모션에 의해 기울어진 롤 각도인 것을 특징으로 하는 회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

피치 모델 이론을 적용하여, 상기 회전의 무인비행체의 피치 각도 또는 롤 각도와 상기 대기속도의 관계를 도출하는 것을 특징으로 하는 회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 대기속도에 대한 데이터를 기반으로 상기 회전의 무인비행체의 기체 고정 좌표계에서의 X축 및 Y축의 소속함수를 구성하여 피치 모델 이론을 적용하는 것을 특징으로 하는 회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 소속함수의 변수는, X축 및 Y축 각각에 대한 상기 회전의 무인비행체의 피치 각도 및 롤 각도인 것을 특징으로 하는 회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 회전의 무인비행체의 비행 속도와 상기 회전의 무인비행체의 피치 각도 또는 롤 각도에 커브 피팅을 적용하여 도출된 관계식을 이용하여, 상기 대기속도를 추정하는 것을 특징으로 하는 회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템.

청구항 8

제2항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 회전의 무인비행체에 탑재된 GPS에서 얻은 지표면에 대한 상기 회전의 무인비행체의 속도 및 상기 대기속도를 이용하여 상기 회전의 무인비행체에 가해지는 바람의 속도를 추정하는 것을 특징으로 하는 회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 회전의 무인비행체가 바람에 의해서 기울어지는 각도를 이용하여 상기 회전의 무인비행체에 가해지는 바람의 방향을 추정하는 것을 특징으로 하는 회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 회전의 무인비행체가 바람에 의해서 기울어지는 각도는, 상기 회전의 무인비행체의 피치 각도 및 롤 각도로부터 계산되는 추력성분벡터 및 단위법선벡터 사이의 각도와 동일한 것을 특징으로 하는 회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 추력성분벡터 및 단위법선벡터 사이의 각도는, 상기 추력성분벡터 및 단위법선벡터의 외적의 역으로부터 계산되는 것을 특징으로 하는 회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 회전의 무인비행체가 바람에 의해서 기울어지는 각도와 상기 회전의 무인비행체에 탑재된 GPS에서 얻은 방위각으로부터 상기 회전의 무인비행체에 가해지는 바람의 방향을 추정하는 것을 특징으로 하는 회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 회전의 무인비행체에 풍향/풍속계 등의 기상 관측 센서를 탑재하지 않고 회전의 무인비행체의 비행제어컴퓨터(Flight Control Computer)에 내장된 센서를 이용하여 풍향/풍속을 추정하는 회전의 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 무인비행체 중에서 고정익(Fixed wing) 타입의 무인비행체에 피토 튜브(Pitot tube), 라이다(Lidar) 센서 등을 탑재하여 풍향 또는 풍속을 추정하는 연구가 진행되고 있다. 그러나, 고정익 무인비행체는 공중의 한 지점에서의 풍향 또는 풍속을 추정하기 어려운 한계가 있다.

- [0003] 반면에, 드론(Drone), 쿼드콥터(Quad-copter) 또는 멀티콥터(Multi-copter) 등의 회전익 무인비행체는 공중의 특정 지점에서 제자리 비행(Hovering)이 가능하기 때문에 지상용 기상관측 장비가 측정하기 어려운 지역에서 바람을 측정하기 용이하다.
- [0004] 그러나, 공중의 특정 지점에서 바람을 측정하기 위해서는 회전익 무인비행체에 피토 튜브 또는 풍향/풍속계를 설치해야 하는데, 회전익 무인비행체의 경우 로터의 추력을 이용하여 비행하게 되므로 로터에서 발생하는 와류의 영향으로 정확한 측정이 불가능하다는 문제가 있다. 이러한 와류로 인한 문제를 방지하기 위해서 피토 튜브 또는 풍향/풍속계를 무인비행체로부터 멀리 부착하는 경우에는 회전익 무인비행체의 관성모멘트(Moment of Inertia)가 커지게 되어 제어 성능이 떨어질 수 있다.
- [0005] 또한, 피토 튜브, 풍향/풍속계를 설치하는 경우에는 회전익 무인비행체의 장점인 부피 및 무게 측면에서 적합하지 않으며 설치한 센서 등으로 인한 중량 증가로 비행 시간이 줄어드는 문제도 있다.
- [0006] 본 출원인은, 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명을 제안하게 되었다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0007] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-1726653호(2017.04.07.)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로, 풍향/풍속계 등의 기상 관측 센서를 탑재하지 않고 비행제어컴퓨터에 내장된 센서만을 이용하여 풍향 또는 풍속 등 바람 정보를 추정할 수 있는 회전익 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0009] 상기한 바와 같은 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 회전익 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템은, 회전익 무인비행체에 탑재된 센서를 이용하여 풍속 또는 풍향을 추정할 수 있다.
- [0010] 상기 회전익 무인비행체의 비행 속도에 대한 상기 회전익 무인비행체의 자세 데이터를 이용하여, 주위 공기에 대한 상기 회전익 무인비행체의 상대속도인 대기속도를 추정할 수 있다.
- [0011] 상기 회전익 무인비행체의 자세 데이터는, 상기 회전익 무인비행체가 피치 모션에 의해 기울어진 피치 각도 및 롤 모션에 의해 기울어진 롤 각도일 수 있다.
- [0012] 퍼지 모델 이론을 적용하여, 상기 회전익 무인비행체의 피치 각도 또는 롤 각도와 상기 대기속도의 관계를 도출할 수 있다.
- [0013] 상기 대기속도에 대한 데이터를 기반으로 상기 회전익 무인비행체의 기체 고정 좌표계에서의 X축 및 Y축의 소속함수를 구성하여 퍼지 모델 이론을 적용할 수 있다.
- [0014] 상기 소속함수의 변수는, X축 및 Y축 각각에 대한 상기 회전익 무인비행체의 피치 각도 및 롤 각도일 수 있다.
- [0015] 상기 회전익 무인비행체의 비행 속도와 상기 회전익 무인비행체의 피치 각도 또는 롤 각도에 커브 피팅을 적용하여 도출된 관계식을 이용하여, 상기 대기속도를 추정할 수 있다.
- [0016] 상기 회전익 무인비행체에 탑재된 GPS에서 얻은 지표면에 대한 상기 회전익 무인비행체의 속도 및 상기 대기속도를 이용하여 상기 회전익 무인비행체에 가해지는 바람의 속도를 추정할 수 있다.
- [0017] 상기 회전익 무인비행체가 바람에 의해서 기울어지는 각도를 이용하여 상기 회전익 무인비행체에 가해지는 바람의 방향을 추정할 수 있다.
- [0018] 상기 회전익 무인비행체가 바람에 의해서 기울어지는 각도는, 상기 회전익 무인비행체의 피치 각도 및 롤 각도로부터 계산되는 추력성분벡터 및 단위법선벡터 사이의 각도와 동일할 수 있다.

[0019] 상기 추력성분벡터 및 단위법선벡터 사이의 각도는, 상기 추력성분벡터 및 단위법선벡터의 외적의 역으로부터 계산될 수 있다.

[0020] 상기 회전익 무인비행체가 바람에 의해서 기울어지는 각도와 상기 회전익 무인비행체에 탑재된 GPS에서 얻은 방위각으로부터 상기 회전익 무인비행체에 가해지는 바람의 방향을 추정할 수 있다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따른 회전익 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템은 별도의 기상 관측 센서를 추가적으로 장착하지 않기 때문에 회전익 무인비행체의 최대이륙중량(Maximum Takeoff Weight)이 늘어나지 않아 비행시간이 줄어들지 않는 장점이 있다.

[0022] 본 발명에 따른 회전익 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템은 풍향 또는 풍속 등 바람 정보를 추정함에 있어서 로터에 의한 외란이 영향을 주지 않기 때문에 보다 정확한 계측 결과를 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 바람에 대한 회전익 무인비행체의 움직임을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 회전익 무인비행체에 대한 바람의 영향을 설명하기 위한 윈드 트라이앵글을 도시한 도면이다.
- 도 3은 회전익 무인비행체의 국부 좌표계를 도시한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 회전익 무인비행체, 관제센터 및 바람 정보 추정 시스템의 개념을 도시한 도면이다.
- 도 5는 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템의 구성을 개략적으로 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6 및 도 7은 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템을 이용하여 바람의 속도를 추정하는 방법을 설명하는 순서도이다.
- 도 8은 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템을 이용하여 바람의 방향을 추정하는 방법을 설명하는 순서도이다.
- 도 9는 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템에 있어서 회전익 무인비행체의 속도에 따른 피치 각도를 보여주는 그래프이다.
- 도 10은 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템에 있어서 회전익 무인비행체의 속도에 따른 롤 각도를 보여주는 그래프이다.
- 도 11은 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템에 있어서 회전익 무인비행체의 속도와 바람에 의해서 기울어지는 각도의 관계를 보여주는 그래프이다.
- 도 12는 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템에 있어서 퍼지 모델 이론에 적용되는 소속함수를 나타내는 도면이다.
- 도 13은 도 12에 따른 퍼지 모델 이론의 추론 결과를 보여주는 그래프이다.
- 도 14는 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템에서의 풍속 추정 결과를 보여주는 그래프이다.
- 도 15는 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템에서의 풍향 추정 결과를 보여주는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0025] 도 1은 바람에 대한 회전익 무인비행체의 움직임을 설명하기 위한 도면, 도 2는 회전익 무인비행체에 대한 바람의 영향을 설명하기 위한 윈드 트라이앵글을 도시한 도면, 도 3은 회전익 무인비행체의 국부 좌표계를 도시한 도면, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 회전익 무인비행체, 관제센터 및 바람 정보 추정 시스템의 개념을 도시한 도면, 도 5는 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템의 구성을 개략적으로 설명하기 위한 도면, 도 6 및 도 7은 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템을 이용하여 바람의 속도를 추정하는 방법을 설명하는 순서도, 도 8은 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템을 이용하여 바람의 방향을 추정하는 방법을 설명하는 순서도, 도 9는 도 4에

따른 바람 정보 추정 시스템에 있어서 회전익 무인비행체의 속도에 따른 피치 각도를 보여주는 그래프, 도 10은 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템에 있어서 회전익 무인비행체의 속도에 따른 롤 각도를 보여주는 그래프, 도 11은 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템에 있어서 회전익 무인비행체의 속도와 바람에 의해서 기울어지는 각도의 관계를 보여주는 그래프, 도 12는 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템에 있어서 퍼지 모델 이론에 적용되는 소속함수를 나타내는 도면, 도 13은 도 12에 따른 퍼지 모델 이론의 추론 결과를 보여주는 그래프, 도 14는 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템에서의 풍속 추정 결과를 보여주는 그래프, 도 15는 도 4에 따른 바람 정보 추정 시스템에서의 풍향 추정 결과를 보여주는 그래프이다.

- [0026] 이하에서 회전익 무인비행체는 드론, 쿼드콥터, 멀티콥터를 포함하는 개념이다.
- [0027] 도면을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 회전익 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템(100)은, 회전익 무인비행체(10, 이하 “무인비행체”라 함)에 장착 또는 탑재되는 외부 센서와 항력(Drag Force)을 이용하지 않고, 무인비행체(10)에 탑재된 센서(On Board Sensor)만을 이용하여 바람의 속도 및 방향을 추정할 수 있다. 이때, 무인비행체(10)의 위치 제어 특성을 이용하여 풍속 및 풍향을 추정할 수 있다.
- [0028] 도 4를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 무인비행체(10)는 관제 센터(20)의 관제 근무자에 의해서 원격 조종될 수 있고, 말은 임무에 대한 데이터, 비행 경로에 대한 데이터, 비행 중 기상 상황에 대한 데이터 등을 관제 센터(20)에 전송할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 바람 정보 추정 시스템(100)은 풍속 및 풍향을 포함한 바람 정보를 무인비행체(10)로부터 얻을 수 있다. 보다 자세히 말하면, 바람 정보 추정 시스템(100)은 무인비행체(10)로부터 직접 바람 정보를 얻기 보다는 관제 센터(20)로부터 얻은 바람에 관한 데이터를 이용하여 바람 정보를 추정할 수 있다. 여기서, 바람 정보 추정 시스템(100)은 관제 센터(20)와 별도로 마련될 수도 있고 관제 센터(20)의 일부분이 될 수도 있다.
- [0029] 도 5를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 바람 정보 추정 시스템(100)은, GPS 데이터부(110), 무인비행체 자세 데이터부(120), 무인비행체 속도 데이터부(130), 풍향 추정부(140), 무인비행체 대기속도 추정부(150), 풍속 추정부(160), 풍속/풍향 데이터 저장부(170) 및 통신부(180)를 포함할 수 있다. 다만, 바람 정보 추정 시스템(100)의 구성요소들이 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 필요에 따라 변경될 수 있다.
- [0030] 바람 정보 추정 시스템(100)의 구성요소들에 대해서는 하기 설명 중 각 구성요소가 해당되는 부분에서 설명한다.
- [0031] 한편, 무인비행체(10)는 GPS(Global Positioning System)과 고도계 센서를 이용하여 현재의 위치와 고도를 계속해서 유지하려는 즉, 제자리 비행(Hovering)하려고 한다. 즉, 도 1의 (a)에 도시된 바와 같이, 바람이 불지 않으면 무인비행체(10)는 현재의 위치와 고도를 유지하려고 한다. 만약, 바람이 불어오는 경우에는 현재의 위치와 고도를 계속해서 유지하기 위해서 바람이 불어오는 방향을 향해 무인비행체(10)의 자세를 계속 기울이게 된다(도 1의 (b) 참조). 따라서, 바람의 세기가 강할수록 무인비행체(10)는 더 자세를 기울이게 된다.
- [0032] 본 발명에서는 무인비행체(10)의 이러한 특성을 이용하여 바람 정보 추정 시스템(100)이 대기속도와 무인비행체(10)의 자세 값(기울어지는 정도에 대한 데이터) 사이의 관계를 도출하여 바람의 속도를 추정할 수 있다.
- [0033] 일반적으로 상기한 관계를 도출하기 위해서는 풍동(Wind Tunnel) 실험장에서 바람의 강도를 변화시키면서 그 때 무인비행체(10)의 자세 값을 확인하여 도출해야 하는데, 풍동 실험장 내에 모션 캡처 시스템과 같은 위치 센서를 부착하는 것은 많은 비용이 필요하다는 단점이 있다.
- [0034] 본 발명에 따른 바람 정보 추정 시스템(100)은 도 2에 도시한 윈드 트라이앵글(Wind Triangle)의 개념을 이용하여 바람의 속도를 추정할 수 있다.
- [0035] 도 2를 참조하면, Air Speed는 주위 공기에 대한 무인비행체(10)의 상대속도 즉, 대기속도를 의미한다.
- [0036] Ground Speed는 지표면에 대한 무인비행체(10)의 속도 즉, 대지속도를 의미하며, 무인비행체(10)에 탑재된 GPS로부터 정보를 얻을 수 있다. GPS 데이터부(110)는 GPS 정보 또는 방위각 정보를 전달 받거나 저장할 수 있다. 무인비행체 속도 데이터부(130)는 대지속도 정보를 수신 또는 저장하거나, 대지속도 정보를 무인비행체 대기속도 추정부(150)에 전달할 수 있다.
- [0037] Wind Speed는 추정하고자 하는 바람의 속도(풍속)를 의미한다. 풍속 추정부(160)는 윈드 트라이앵글 개념을 이용하여 바람의 속도를 추정할 수 있다.
- [0038] 대기속도(Air Speed), 대지속도(Ground Speed), 바람속도(Wind Speed)는 모두 벡터(Vector) 값을 가진다. 따라

서, 풍속(Wind Speed) = 대지속도(Ground Speed) - 대기속도(Air Speed)의 수학적식이 성립한다.

- [0039] 윈드 트라이앵글 개념에 따르면, 만약 바람이 거의 없는 환경에서 무인비행체(10)가 비행을 할 경우 대지속도는 대기속도와 같다고 가정할 수 있다. 즉, 바람이 거의 없는 환경에서 무인비행체(10)가 비행할 경우 GPS에서 측정되는 대지속도를 대기속도라고 가정할 수 있다. GPS에서 측정되는 대지속도는 무인비행체 속도 데이터부(130)에 저장될 수 있다.
- [0040] 본 발명의 일 실시예에 따른 회전익 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템(100, 도 4 참조)은, 회전익 무인비행체(10)에 탑재된 센서(On Board Sensor)만을 이용하여 풍속 또는 풍향을 추정할 수 있다. 이때, 윈드 트라이앵글 개념이 적용된다.
- [0041] 무인비행체(10)에 탑재된 센서는, 비행제어컴퓨터(Flight Control Computer)의 IMU(관성측정장치, Inertial Measurement Unit) 및 GPS를 포함할 수 있다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템(100)은, 무인비행체(10)에 탑재된 IMU와 GPS만의 정보를 이용하여 바람의 속도 및 방향을 추정할 수 있다.
- [0042] 한편, 무인비행체(10)가 3 m/s의 일정한 속도로 비행하는 것은, 마치 풍동 실험장에서 제자리 비행(Hovering)을 하고 있는 무인비행체를 향해서 3 m/s의 바람이 불어오는 것과 동일하다. 이때, 풍동 실험장에서의 무인비행체의 자세와 실외 비행을 하는 무인비행체의 자세는 일치한다고 할 수 있다. 따라서, 본 발명에서는, 이러한 가정하에서 무인비행체(10)가 속도별 비행을 진행하는 경우에 대기속도와 무인비행체(10)가 바람에 의해서 기울어지는 각도(Tilting Angle) 간의 관계식을 도출하고, 이로부터 최종적으로 바람의 속도를 추정할 수 있다.
- [0043] 본 특허출원의 발명자들은, 무인비행체(10)의 최대 속도 명령을 2 m/s에서 9 m/s까지 변경하면서 각각 6회 이상 실험을 진행하였다. 다만, 오직 X-Y평면(도 3의 좌표계 참조)을 기준으로 비행을 진행하였으며 무인비행체의 고도는 일정하게 유지시켰다. 무인비행체(10)의 비행속도를 달리하면서, 각 속도별로 무인비행체(10)의 자세 값(자세 데이터) 또는 기울어진 각도(Tilting angle)를 구한다. 여기서, 기울어진 각도(Tilting angle)는 무인비행체(10)의 피치/롤에 따른 기울어진 각도를 의미한다.
- [0044] 도 3에는 무인비행체(10)의 움직임 또는 기울어지는 각도 등을 나타내기 위한 국부 좌표계가 도시되어 있다. 국부 좌표계에서 X축은 무인비행체(10)가 전진 및 후진하는 방향을 나타내고, Y축은 좌우로 움직이는 방향을 나타내며, Z축은 고도를 나타낸다. 무인비행체(10)의 X축 상에서의 움직임을 피치(Pitch), Y축 상에서의 움직임을 롤(Roll)이라고 한다.
- [0045] 한편, 무인비행체(10)는 탑재 장비의 위치 또는 형상에 따라서 비대칭성을 가지기 때문에 같은 비행속도를 가지더라도 각각 X축과 Y축이 다른 자세 값(X축 및 Y축에 대해서 기울어진 각도)을 가질 수 있다. 따라서, 도 3에 따른 국부좌표계를 기준으로, 각각의 비행속도로 비행하는 경우에 무인비행체(10)가 X축 및 Y축 각각에 대해서 기울어지는 각도 즉, 피치 각도 및 롤 각도를 구한다.
- [0046] 무인비행체 자세 데이터부(120)는 무인비행체(10)가 X축 및 Y축 각각에 대해서 기울어지는 각도 즉, 피치 각도 및 롤 각도에 대한 데이터를 전달 받거나 저장할 수 있다.
- [0047] 예를 들면, 무인비행체 자세 데이터부(120)는 도 9 및 도 10에 도시된 데이터를 전달 받을 수 있다.
- [0048] 도 9의 (a)는 무인비행체(10)의 속도가 2 m/s일 때 X축에 대해서 기울어지는 각도를 나타낸 그래프이고, 도 9의 (b)는 무인비행체의 속도가 9 m/s일 때 X축에 대해서 기울어지는 각도(피치 각도)를 나타낸 그래프이다. 각각의 그래프에서 위의 그래프(실선)는 시간의 경과(가로축)에 따른 속도의 변화(세로축)를 나타내고, 아래의 그래프(점선)는 시간의 경과(가로축)에 따른 각도의 변화(세로축)를 나타낸다.
- [0049] 도 10의 (a)는 무인비행체(10)의 속도가 5 m/s일 때 Y축에 대해서 기울어지는 각도를 나타낸 그래프이고, 도 10의 (b)는 무인비행체의 속도가 7 m/s일 때 Y축에 대해서 기울어지는 각도(롤 각도)를 나타낸 그래프이다. 각각의 그래프에서 위의 그래프(실선)는 시간의 경과(가로축)에 따른 속도의 변화(세로축)를 나타내고, 아래의 그래프(점선)는 시간의 경과(가로축)에 따른 각도의 변화(세로축)를 나타낸다.
- [0050] 무인비행체 자세 데이터부(120)는 피치 각도 및 롤 각도에 대한 데이터를, 무인비행체 속도 데이터부(130)는 무인비행체(10)의 속도 또는 대지속도에 관한 데이터를 각각 무인비행체 대기속도 추정부(150)에 전달한다.
- [0051] 무인비행체 대기속도 추정부(150)는 무인비행체(10)의 비행 속도에 대한 무인비행체(10)의 자세 데이터를 이용하여, 주위 공기에 대한 무인비행체(10)의 상대속도인 대기속도를 추정할 수 있다. 여기서, 무인비행체(10)의

자세 데이터는, 상기한 바와 같이 무인비행체(10)가 피치 모션(pitch motion)에 의해 기울어진 피치 각도(pitch angle) 및 롤 모션(roll motion)에 의해 기울어진 롤 각도(roll angle)일 수 있다.

- [0052] 한편, 풍속 추정부(160)는, 피지 모델 이론을 적용하여, 무인비행체(10)의 피치 각도 또는 롤 각도와 대기속도의 관계를 도출할 수 있다.
- [0053] 본 발명의 일 실시예에 따른 바람 정보 추정 시스템(100)은, 바람의 속도를 추정함에 있어서 계산량을 줄이기 위해서 컴퓨터 처리 능력이 높은 Takagi-Sugeno(이하 “T-S”) 피지 모델(Fuzzy Model)을 이용함으로써 무인비행체(10)의 피치 각도 또는 롤 각도와 대기속도의 관계를 도출한다.
- [0054] 이를 위해, 무인비행체 대기속도 추정부(150)는, 상기 대기속도에 대한 데이터를 기반으로 무인비행체(10)의 기체 고정 좌표계에서의 X축 및 Y축의 소속함수(Membership Function)를 구성하여 피지 모델 이론을 적용할 수 있다.
- [0055] 무인비행체(10)가 2~9 m/s의 속도로 비행할 때 무인비행체(10)가 X축 및 Y축에 대해서 기울어진 각도(각각 피치 각도 및 롤 각도)에 대한 데이터를 얻고, 이 데이터를 기반으로 선형구간을 나누고 각 선형구간을 연결함에 있어서 T-S 피지 모델 이론을 적용할 수 있다.
- [0056] 무인비행체 대기속도 추정부(150)에서는, 상기와 같이 얻어진 데이터(속도 및 기울어진 각도에 대한 데이터)를 기반으로 선형구간을 나누어 도 12와 같이 기체 고정 좌표계에서의 X축 및 Y축의 소속함수를 구성할 수 있다. 도 12의 (a)는 피치 각도(가로축)에 대한 소속함수를 구성한 것이고, 도 12의 (b)는 롤 각도(가로축)에 대한 소속함수를 구성한 것이다.
- [0057] T-S 피지 모델 이론을 적용함에 있어서, 소속함수의 변수는, X축 및 Y축 각각에 대한 무인비행체(10)의 피치 각도 및 롤 각도일 수 있다. 즉, 대기속도 추정을 위한 소속함수의 변수(Linguistic Variable)은 X축 및 Y축 각각 피치 및 롤 자세 값이 될 수 있다.
- [0058] 무인비행체 대기속도 추정부(150)에서 T-S 피지 모델 이론을 적용하여 추정된 대기속도와 실제 측정된 실험 데이터를 비교한 그래프는 도 13과 같다. 도 13의 (a)는 T-S 피지 모델 이론을 적용한 결과 X축에 있어서의 대기속도(점선)와 실제 측정 실험 데이터(“o”로 표시된 데이터)를 비교한 그래프이고, 도 13의 (b)는 T-S 피지 모델 이론을 적용한 결과 X축에 있어서의 대기속도(점선)와 실제 측정 실험 데이터(o로 표시된 데이터)를 비교한 그래프이다.
- [0059] 도 13을 참조하면, 무인비행체 대기속도 추정부(150)에서 T-S 피지 모델 이론을 적용하여 추정된 대기속도는 실제로 측정된 대기속도와 거의 일치함을 알 수 있다.
- [0060] 한편, T-S 피지 모델 이론을 적용하여 추정된 X축 및 Y축의 대기속도는 각각 X축 속도 벡터 성분과 Y축 속도 벡터 성분이기 때문에, X축 속도 벡터와 Y축 속도 벡터의 합으로부터 최종적인 무인비행체(10)의 대기속도를 추정할 수 있다.
- [0061] 바람 정보 추정 시스템(100)의 풍속 추정부(160)는 무인비행체 대기속도 추정부(150)에서 추정된 대기속도를 이용하여 최종적으로 풍속을 추정할 수 있다. 즉, 윈드 트라이앵글 개념에 추정된 대기속도와 대지속도를 적용하여, 최종적으로 풍속을 추정할 수 있다. 이와 같이, 풍속 추정부(160)는 무인비행체(10)에 탑재된 GPS에서 얻은 지표면에 대한 무인비행체(10)의 속도 및 대기속도를 이용하여 무인비행체(10)에 가해지는 바람의 속도를 추정할 수 있다.
- [0062] 한편, 도 6에는 T-S 피지 모델 이론을 적용하여 대기속도를 추정하는 방법을 설명하기 위한 순서도가 도시되어 있다. 도 6을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 회전익 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 방법은, 속도별 무인비행체(10)의 자세 데이터를 얻는 단계(1100), 무인비행체(10)의 자세 데이터와 속도 데이터에 T-S 피지 모델 이론을 적용하는 단계(1200), T-S 피지 모델 이론을 이용하여 무인비행체(10)의 대기속도를 추정하는 단계(1300) 및 풍속을 추정하는 단계(1400)를 포함할 수 있다.
- [0063] 속도별 무인비행체(10)의 자세 데이터를 얻는 단계(1100)는 무인비행체 자세 데이터부(120)에 의해서 수행될 수 있으며, 무인비행체(10)의 X축 및 Y축에 대해 기울어지는 각도(피치 각도 및 롤 각도)를 얻을 수 있다.
- [0064] 무인비행체(10)의 자세 데이터와 속도 데이터에 T-S 피지 모델 이론을 적용하는 단계(1200)와 T-S 피지 모델 이론을 이용하여 무인비행체(10)의 대기속도를 추정하는 단계(1300)는 무인비행체 대기속도 추정부(150)에서 수행될 수 있는데, 그 자세한 과정은 상기에서 설명한 바와 같다.

- [0065] 풍속 추정부(160)에서는 윈드 트라이앵글 개념을 이용함으로써 풍속을 추정하는 단계(1400)가 수행될 수 있다.
- [0066] 한편, 무인비행체 대기속도 추정부(150)는 T-S 피치 모델 이론을 이용하여 대기속도를 추정할 뿐만 아니라, 무인비행체(10)의 비행 속도와 무인비행체(10)의 피치 각도 또는 롤 각도에 커브 피팅(Curving Fitting)을 적용하여 도출된 관계식(수학적 관계식)을 이용하여, 대기속도를 추정할 수도 있다.
- [0067] 무인비행체 대기속도 추정부(150)는 무인비행체 자세 데이터부(120)에서 전달 받은 피치 각도 및 롤 각도와, 무인비행체 속도 데이터부(130)에서 전달 받은 무인비행체(10)의 대기속도에 대해서 커브 피팅(보다 자세하게는, Polynomial curve fitting(다항 커브 피팅))을 통해서 양자 간의 관계식을 도출할 수 있다. 즉, 커브 피팅을 통해서 선형 관계식을 도출할 수 있다.
- [0068] 도 11에는 무인비행체(10)의 자세 데이터(기울어진 각도로서, 피치 각도 또는 롤 각도)와 속도 간의 커브 피팅 결과를 보여주는 그래프가 도시되어 있다. 도 11에서 가로축은 각도이고, 세로축은 속도이다. “o” 로 표시된 데이터는 기울어진 각도와 속도의 실제 데이터이고, 직선은 데이터에 커브 피팅을 적용하여 유도된 것이다. 커브 피팅 결과 유도된 직선으로부터 선형 관계식을 도출할 수 있고, 선형 관계식으로부터 대기속도를 추정할 수 있다.
- [0069] 풍속 추정부(160)는 커브 피팅 결과로부터 추정된 대기속도에 윈드 트라이앵글 개념을 적용하여 풍속을 추정할 수 있다. 이와 같이, 풍속 추정부(160)는 무인비행체(10)에 탑재된 GPS에서 얻은 지표면에 대한 무인비행체(10)의 속도 및 대기속도를 이용하여 무인비행체(10)에 가해지는 바람의 속도를 추정할 수 있다.
- [0070] 한편, 도 7에는 커브 피팅을 적용하여 도출된 관계식을 이용하여 대기속도를 추정하는 방법을 설명하기 위한 순서도가 도시되어 있다. 도 7을 참조하면, 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 회전익 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 방법은, 속도별 무인비행체(10)의 자세 데이터를 얻는 단계(2100), 무인비행체의 속도 데이터와 자세 데이터에 커브 피팅을 적용하는 단계(2200), 무인비행체의 속도 데이터와 자세 데이터 사이의 관계식을 구하는 단계(2300), 무인비행체(10)의 대기속도를 추정하는 단계(2400) 및 풍속을 추정하는 단계(2500)를 포함할 수 있다.
- [0071] 속도별 무인비행체(10)의 자세 데이터를 얻는 단계(2100)는 무인비행체 자세 데이터부(120)에서 수행될 수 있다.
- [0072] 무인비행체의 속도 데이터와 자세 데이터에 커브 피팅을 적용하는 단계(2200), 무인비행체의 속도 데이터와 자세 데이터 사이의 관계식을 구하는 단계(2300), 무인비행체(10)의 대기속도를 추정하는 단계(2400)는 무인비행체 대기속도 추정부(150)에서 수행될 수 있다.
- [0073] 풍속을 추정하는 단계(2500)는 풍속 추정부(160)에서 수행될 수 있다.
- [0074] 본 출원의 발명자들은 추정된 풍속의 정확도 내지 신뢰도를 확인하기 위해서 풍속계 등의 측정장비를 이용하여 측정된 풍속과 추정된 풍속을 비교 검증하였다. 도 14에 검증 결과가 도시되어 있다. 도 14의 (a) 및 (b)에서 점선은 무인비행체를 이용하여 추정된 풍속이고 실선은 실제로 측정된 풍속을 나타낸다. 도 14(a)의 경우, 바람 정보 추정 시스템(100)에서 추정된 풍속의 평균값은 2.54 m/s이고 실제 측정된 풍속의 평균값은 2.65 m/s이다. 도 14(b)의 경우, 바람 정보 추정 시스템(100)에서 추정된 풍속의 평균값은 2.30 m/s이고 실제 측정된 풍속의 평균값은 2.33 m/s이다. 이처럼 추정된 풍속과 실제 측정 풍속이 비슷한 값을 보이고 있다.
- [0075] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 회전익 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 시스템 및 방법은 바람의 방향 즉, 풍향도 추정할 수 있다.
- [0076] 본 발명의 일 실시예에 따른 바람 정보 추정 시스템(100)은, 무인비행체(10)가 바람에 의해서 기울어지는 각도를 이용하여 무인비행체(10)에 가해지는 바람의 방향 즉, 풍향을 추정할 수 있다.
- [0077] 풍향 추정의 경우는, 무인비행체(10)의 피치 모션 및 롤 모션에 의해 기울어진 각도와 방위각(Heading)을 이용하여 추정할 수 있다.
- [0078] 본 발명의 일 실시예에 따른 바람 정보 추정 시스템(100)은 풍향 추정을 위해서 풍향 추정부(140)를 포함할 수 있다.
- [0079] 풍속 추정과 마찬가지로 무인비행체(10)의 위치제어 모드의 특성을 이용하여 풍향을 추정할 수 있다. 도 3에는 무인비행체(10)의 국부 좌표계가 도시되어 있는데, 기체(機體) 고정 좌표계라고 할 수도 있다.

[0080] 무인비행체(10)를 향해서 바람이 불어오게 되면 제자리 비행(Hovering)을 유지하기 위해서 무인비행체(10)는 바람이 불어오는 방향으로 기울어지게 된다. 도 3을 참조하면, 무인비행체(10)는 바람이 불어오는 방향을 향해서 X축을 기준으로 각도 λ 만큼 기울어져 있다.

[0081] 무인비행체(10)의 피치 모션에 의해 기울어진 각도 및 롤 모션에 의해 기울어진 각도는 도 3의 국부 좌표계에 나타낼 수 있는데, 다음 [수학식 1]과 같이 표현될 수 있다.

수학식 1

$$\vec{e}_\phi = \begin{pmatrix} 0 \\ \cos \phi \\ \sin \phi \end{pmatrix}, \vec{e}_\theta = \begin{pmatrix} \cos \theta \\ 0 \\ -\sin \theta \end{pmatrix}$$

[0082]

[0083] 여기서, \vec{e}_ϕ 는 Y축에 대한 롤 모션을 나타내는 벡터, \vec{e}_θ 는 X축에 대한 피치 모션을 나타내는 벡터, ϕ 는 롤 각도, θ 는 피치 각도를 나타낸다.

[0084] 바람에 의해서 무인비행체(10)가 기울어지는 각도(Tilting Angle 또는 Inclination Angle)은 피치와 롤 자세에 의해서 계산되는 추력(Thrust)성분벡터 $\vec{e}_\theta \times \vec{e}_\phi$ 와 단위법선벡터 \vec{n}_{XY} 사이의 각도를 의미한다. 즉, 무인비행체(10)가 바람에 의해서 기울어지는 각도는, 무인비행체(10)의 피치 각도 및 롤 각도로부터 계산되는 추력성분벡터 및 단위법선벡터 사이의 각도와 동일할 수 있다. 상기 추력성분벡터 및 단위법선벡터 사이의 각도 (γ)는, 추력성분벡터 및 단위법선벡터의 외적의 역(Inverse)으로부터 계산될 수 있으며, 다음 [수학식 2]와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{\vec{n}_{XY} \cdot (\vec{e}_\theta \times \vec{e}_\phi)}{|\vec{n}_{XY}| \cdot |\vec{e}_\theta \times \vec{e}_\phi|} \right)$$

[0085]

[0086] 따라서, 추력벡터성분을 X-Y 평면에 수직으로 내린 벡터 성분 \vec{v} 는 바람이 불어오는 방향과 일치하며, 이 성분과 Y-Z 평면의 단위법선벡터 $-\vec{n}_{YZ}$ 의 외적의 역을 취함으로써 바람이 불어오는 방향을 계산할 수 있다. 이는 다음 [수학식 3]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$\lambda = \cos^{-1} \left(\frac{-\vec{n}_{XY} \cdot (\vec{e}_\theta \times \vec{e}_\phi)_{XY}}{|\vec{n}_{XY}| \cdot |(\vec{e}_\theta \times \vec{e}_\phi)_{XY}|} \right)$$

[0087]

[0088] 그런데, 무인비행체(10)는 방위각(ψ)을 가지고 있기 때문에 관성좌표계를 기준으로 풍향(w_d)을 계산하면 다음 [수학식 4]와 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

[0089]
$$w_d = \lambda + \psi$$

[0090] 여기서, ψ 는 무인비행체의 방위각을 의미한다.

[0091] 다시 설명하면, 바람에 의해서 무인비행체(10)가 기울어지는 각도(γ)를 X-Y 평면에 수직으로 내린 성분이 바람이 불어오는 방향이며 도 3에서 \vec{v} 이다. 또한, 단위법선벡터 \vec{n}_{YZ} 와의 각도가 무인비행체(10)의 입장에서는 풍향 각도가 된다. 하지만, 풍향은 지상 관점에서 측정되어야 하므로 무인비행체(10)의 방위각(ψ) 성분이 더해져야 한다. 따라서, 풍향(w_d)은 상기 [수학식 4]와 같이 표현될 수 있다.

[0092] 예를 들어, 방위각이 0도이고 바람이 불어오는 방향이 무인비행체(10)를 기준으로 90 도이면, λ 는 90도가 되며 최종적으로 바람의 방향은 90 도이다. 또한, 바람이 불어오는 방향이 무인비행체(10)를 기준으로 90 도이고 방위각이 45 도이면, λ 는 45 도가 되고 최종적으로 바람의 방향은 90 도가 된다.

[0093] 풍향 추정부(140)는 무인비행체(10)가 바람에 의해서 기울어지는 각도와 무인비행체(10)에 탑재된 GPS에서 얻은 방위각으로부터 무인비행체(10)에 가해지는 바람의 방향을 추정할 수 있다. 여기서, 방위각은 GPS 데이터부(110)에 저장되거나 전달될 수 있다.

[0094] 한편, 도 8에는 풍향을 추정하는 방법을 설명하기 위한 순서도가 도시되어 있다. 도 8을 참조하면, 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 회전익 무인비행체를 이용한 바람 정보 추정 방법은, 무인비행체(10)의 자세 데이터를 얻는 단계(3100), 무인비행체(10)의 방위각을 구하는 단계(3200) 및 풍향을 추정하는 단계(3300)를 포함할 수 있다. 여기서, 단계 3100과 단계 3200는 순서가 바뀔 수도 있다.

[0095] 무인비행체(10)의 자세 데이터를 얻는 단계(3100)는 무인비행체 자세 데이터부(120)에서 수행될 수 있고, 무인비행체(10)의 방위각을 구하는 단계(3200)는 GPS 데이터부(110)에서 수행될 수 있으며, 풍향을 추정하는 단계(3300)는 풍향 추정부(140)에서 수행될 수 있다.

[0096] 본 출원의 발명자들은 추정된 풍향의 정확도 내지 신뢰도를 확인하기 위해서 풍향계 등의 계측장비를 이용하여 측정된 풍향과 추정된 풍향을 비교 검증하였다.

[0097] 도 15에 검증 결과가 도시되어 있다. 도 15에서 점선은 무인비행체를 이용하여 추정된 풍향이고 실선은 실제로 측정된 풍향을 나타낸다. 도 15의 경우, 바람 정보 추정 시스템(100)에서 추정된 풍향의 평균값은 265.37 도(Degree)이고 실제 측정된 풍향의 평균값은 264.00 도(Degree)이다. 이처럼 추정된 풍향과 실제 측정 풍향이 비슷한 값을 보이고 있다.

[0098] 한편, 풍향 추정부(140)에서 추정된 풍향과 풍속 추정부(160)에서 추정된 풍속은 풍속/풍향 데이터 저장부(170)에 전달되어 저장될 수 있다. 풍속/풍향 데이터 저장부(170)는 통신부(180)를 통해서 풍향 및 풍속을 포함하는 바람 정보를 관제 센터(20)에 전송할 수 있다.

[0099] 이상과 같이 본 발명의 일 실시예에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 청구범위뿐 아니라 이 청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속

한다고 할 것이다.

부호의 설명

[0100]

10: 회전익 무인비행체

20: 관제 센터

100: 바람 정보 추정 시스템

110: GPS 데이터부

120: 무인비행체 자세 데이터부

130: 무인비행체 속도 데이터부

140: 풍향 추정부

150: 무인비행체 대기속도 추정부

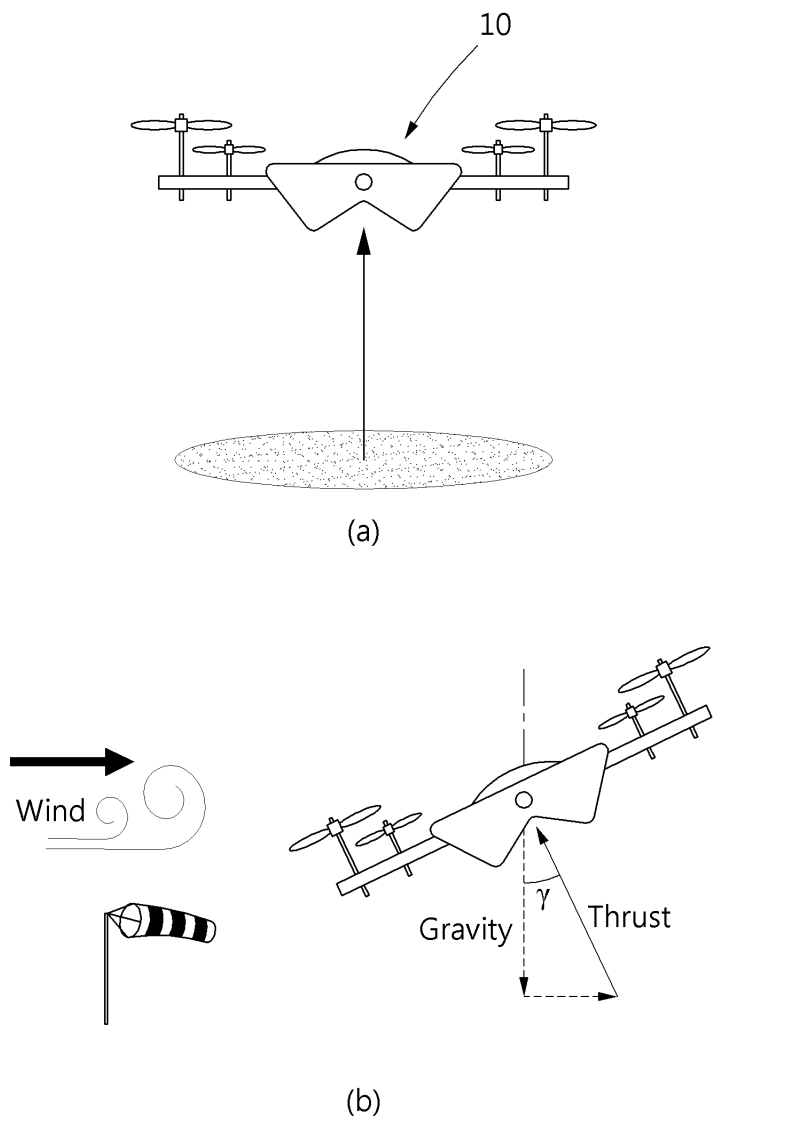
160: 풍속 추정부

170: 풍속/풍향 데이터 저장부

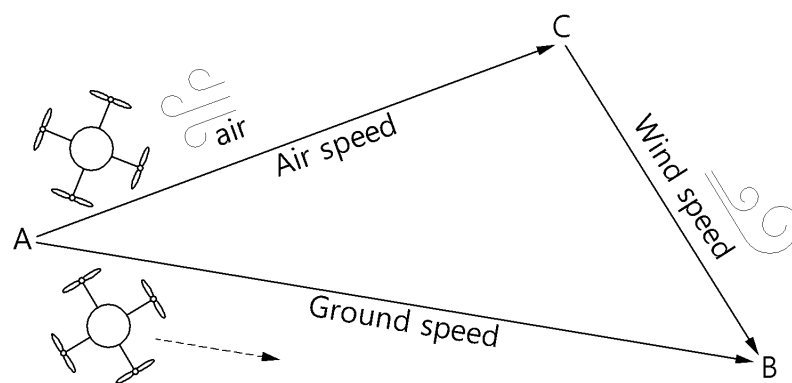
180: 통신부

도면

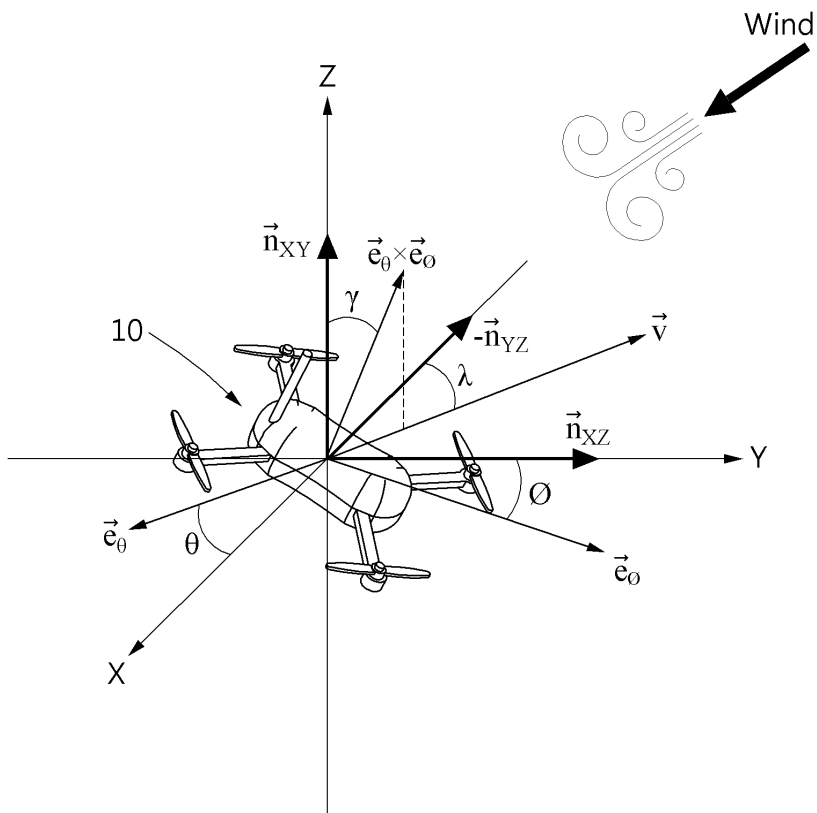
도면1



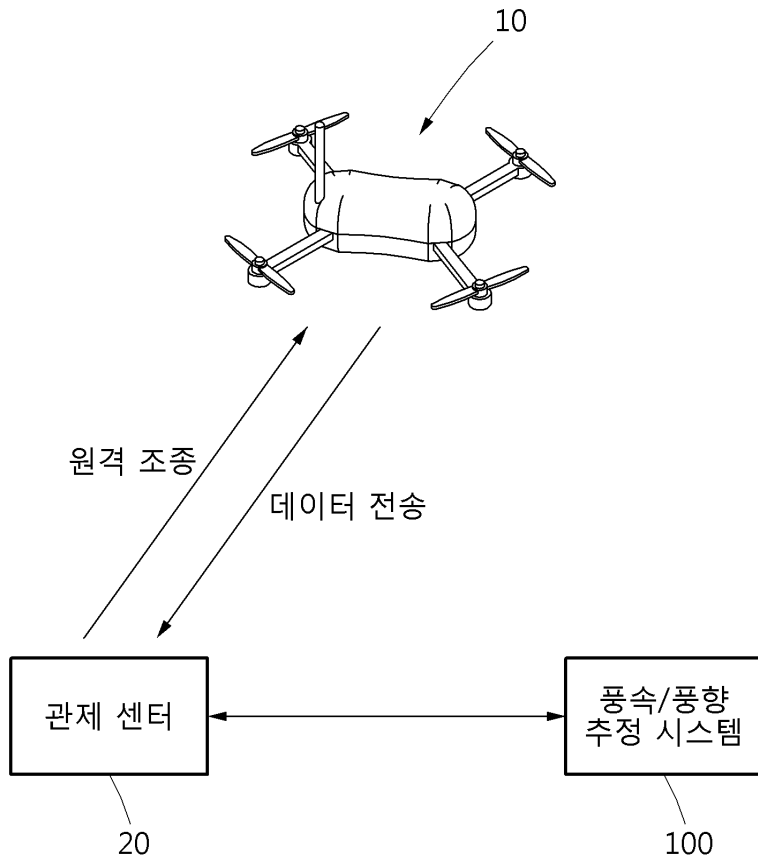
도면2



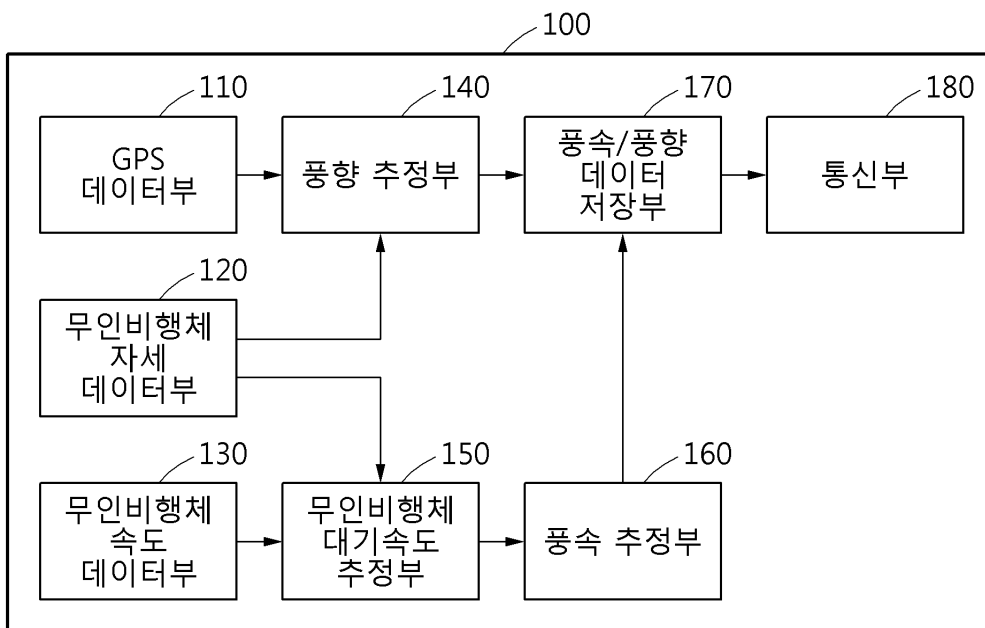
도면3



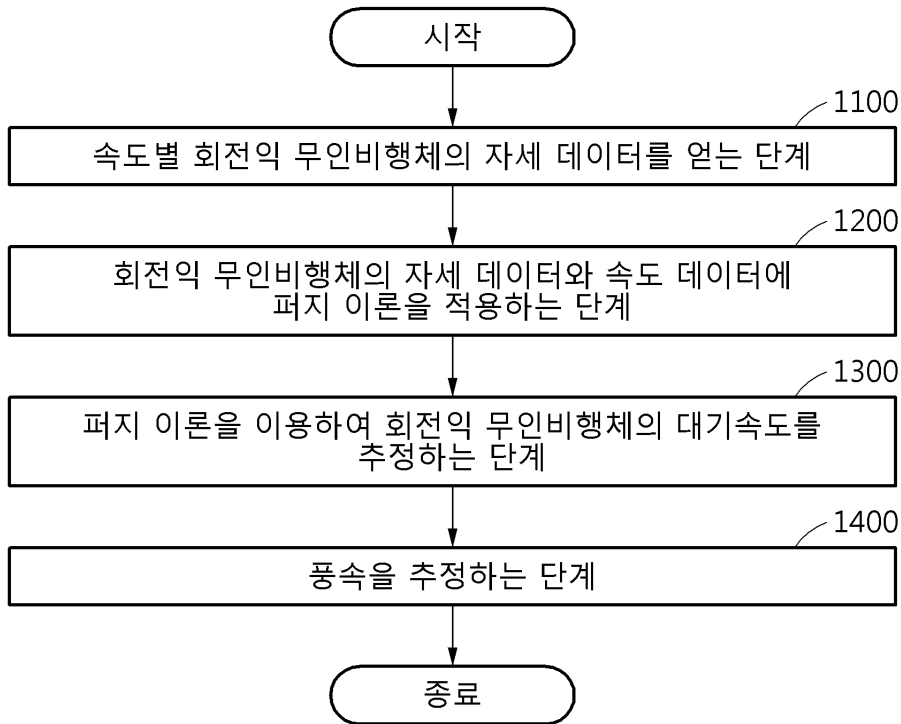
도면4



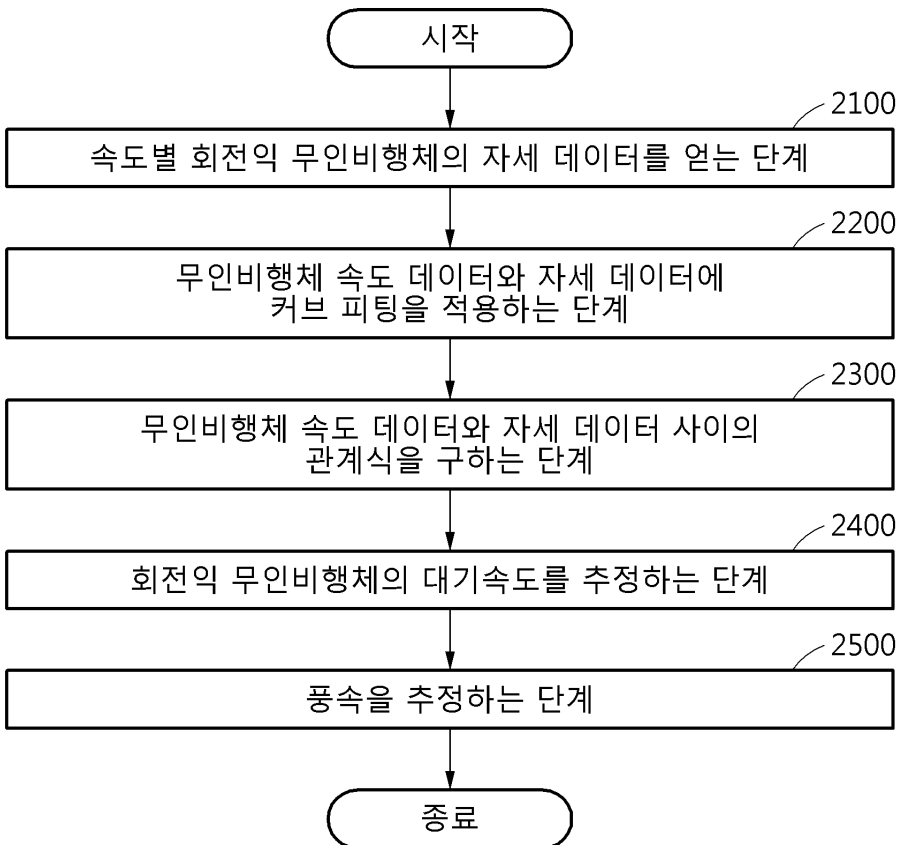
도면5



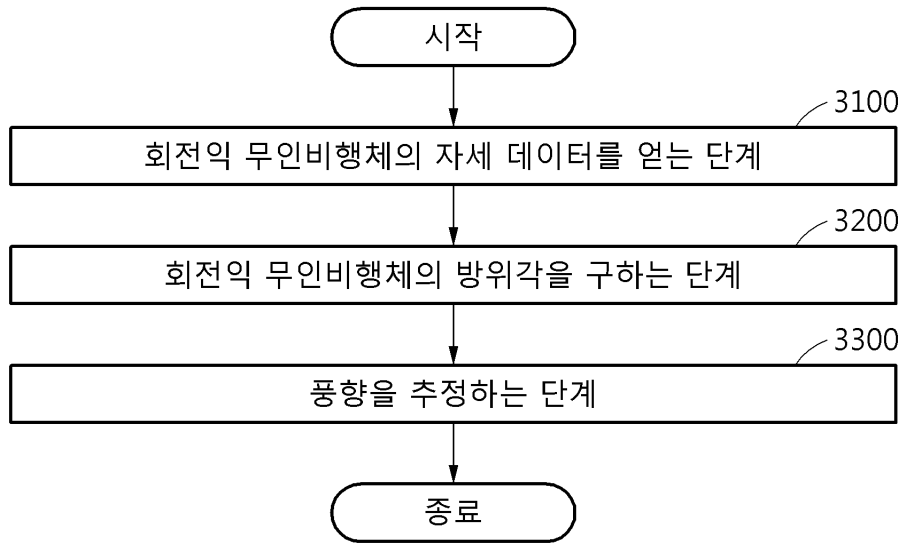
도면6



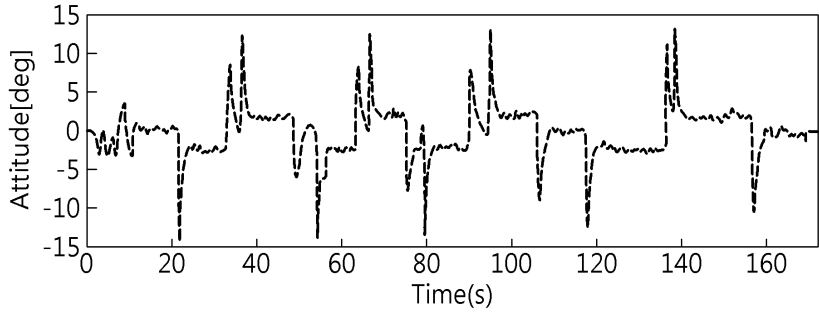
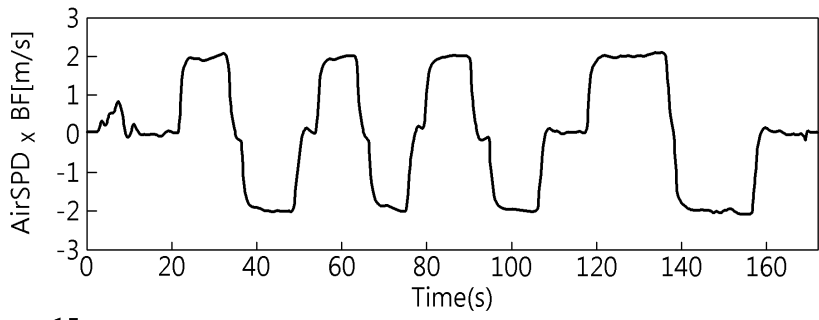
도면7



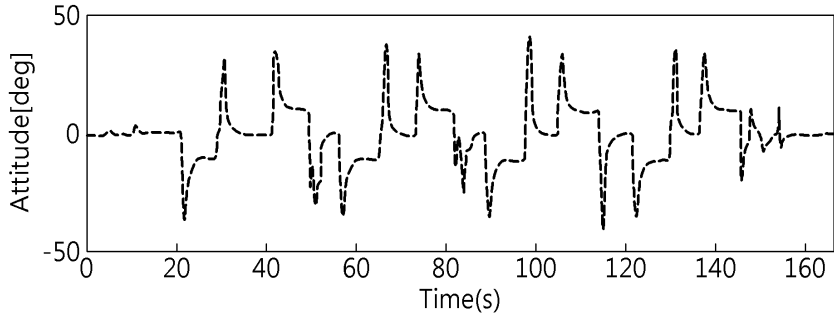
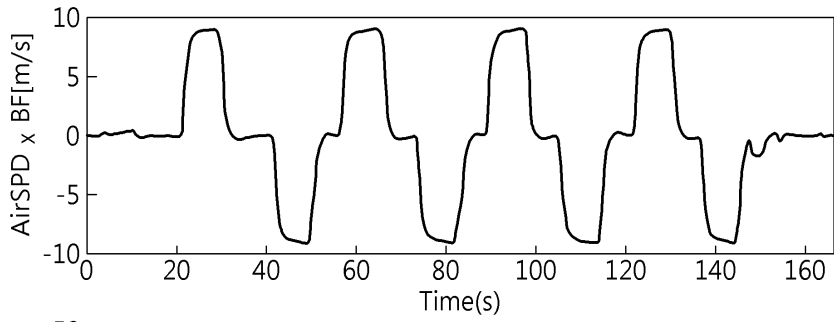
도면8



도면9

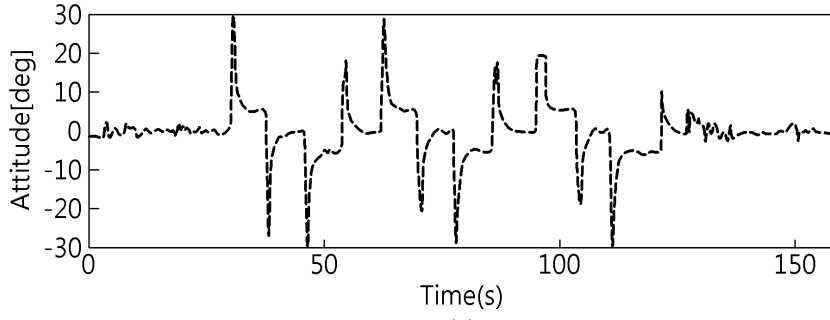
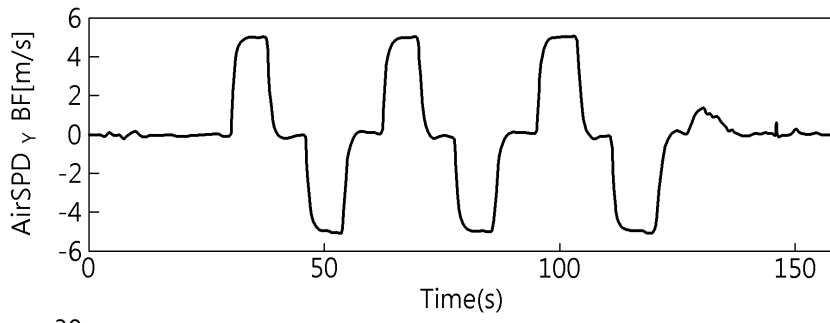


(a)

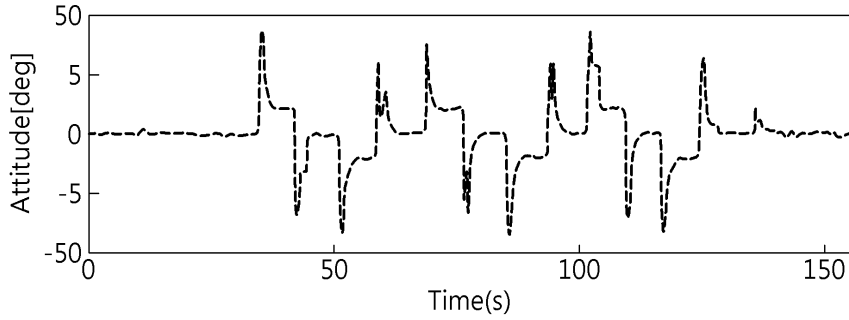
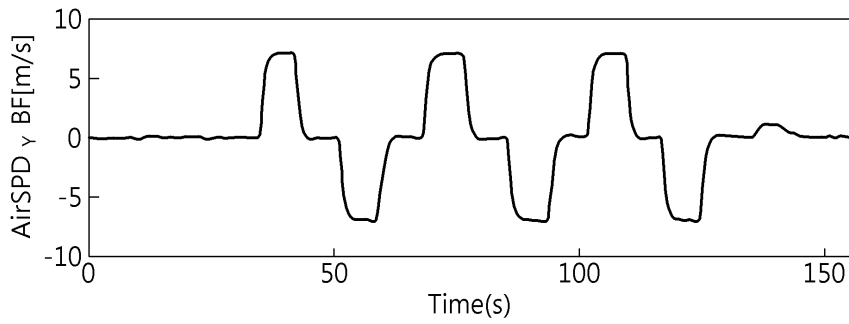


(b)

도면10

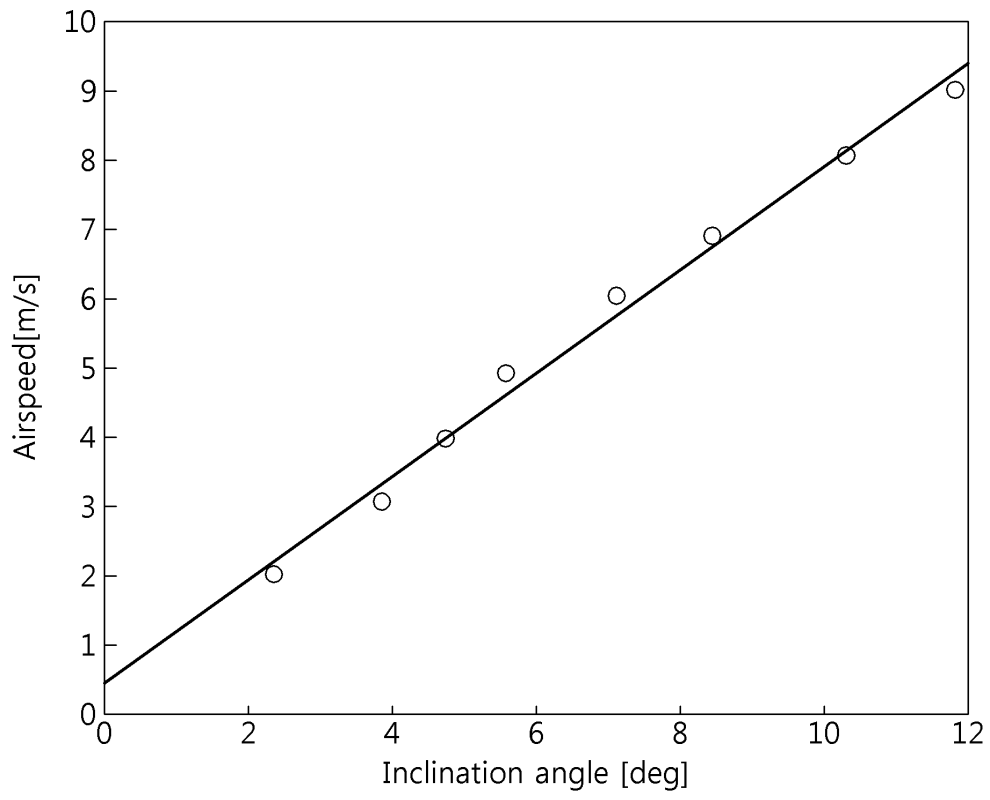


(a)

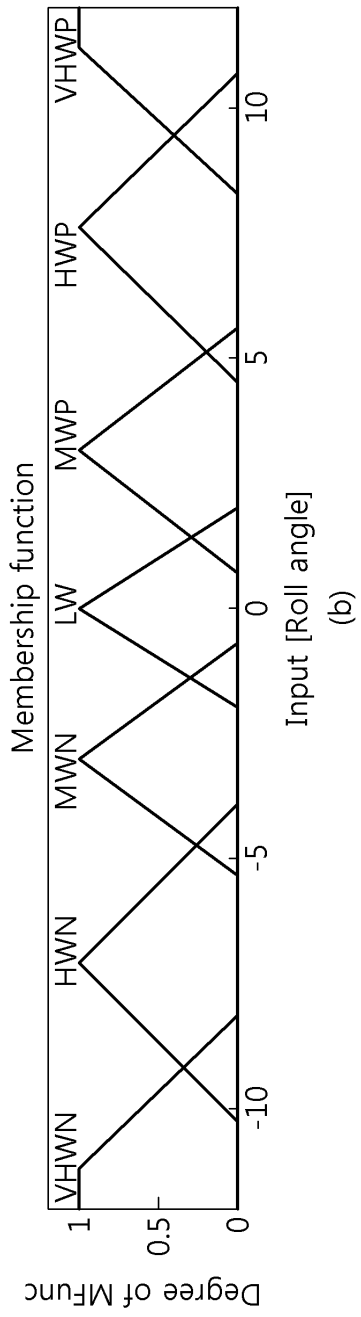
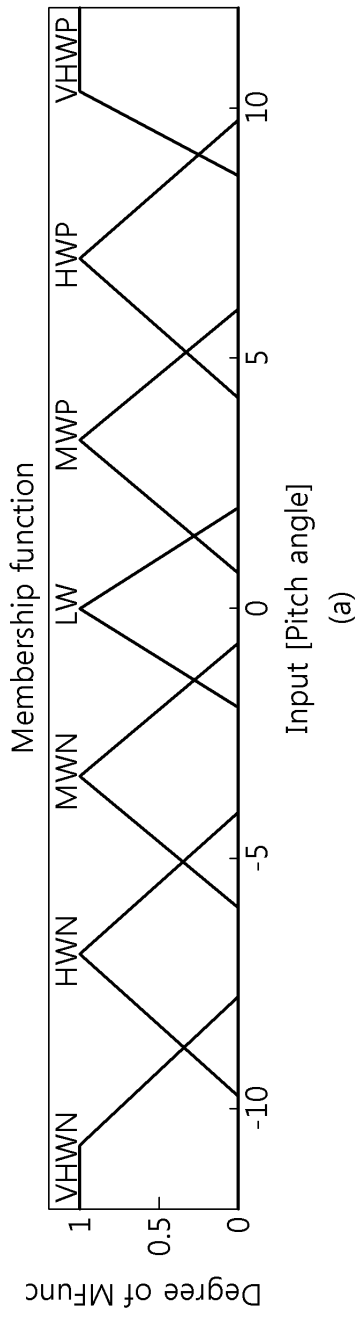


(b)

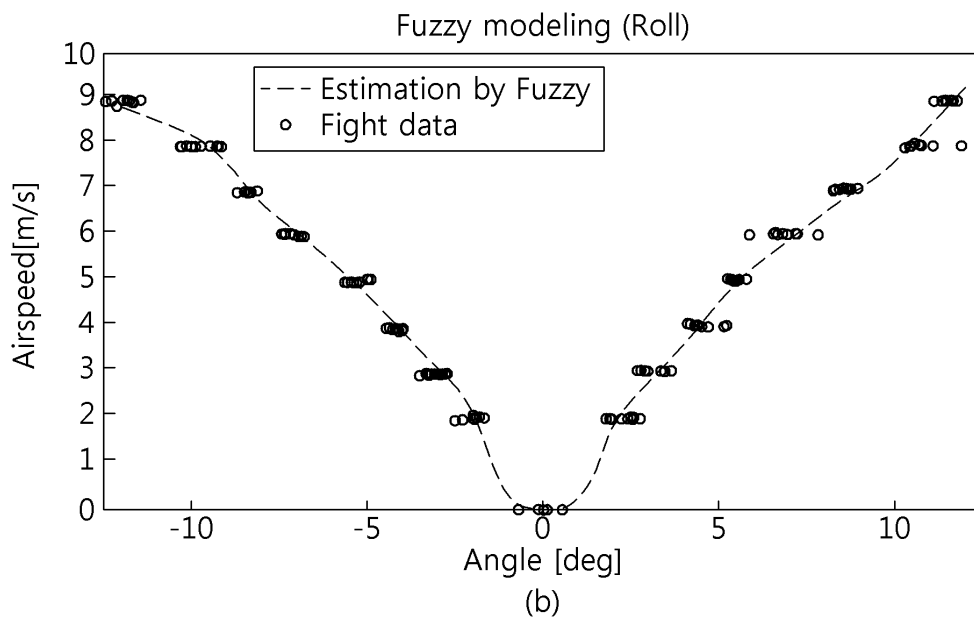
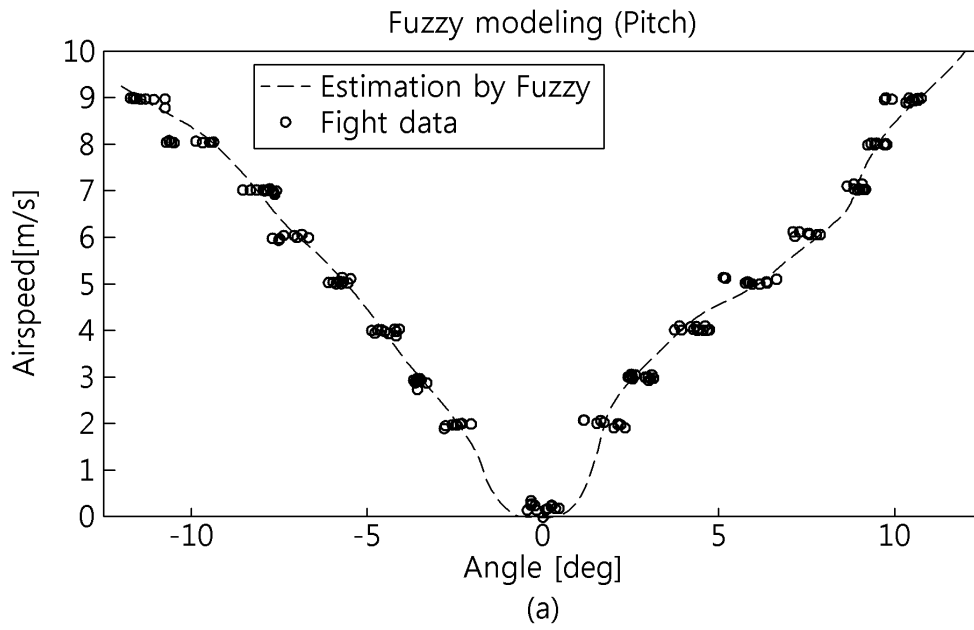
도면11



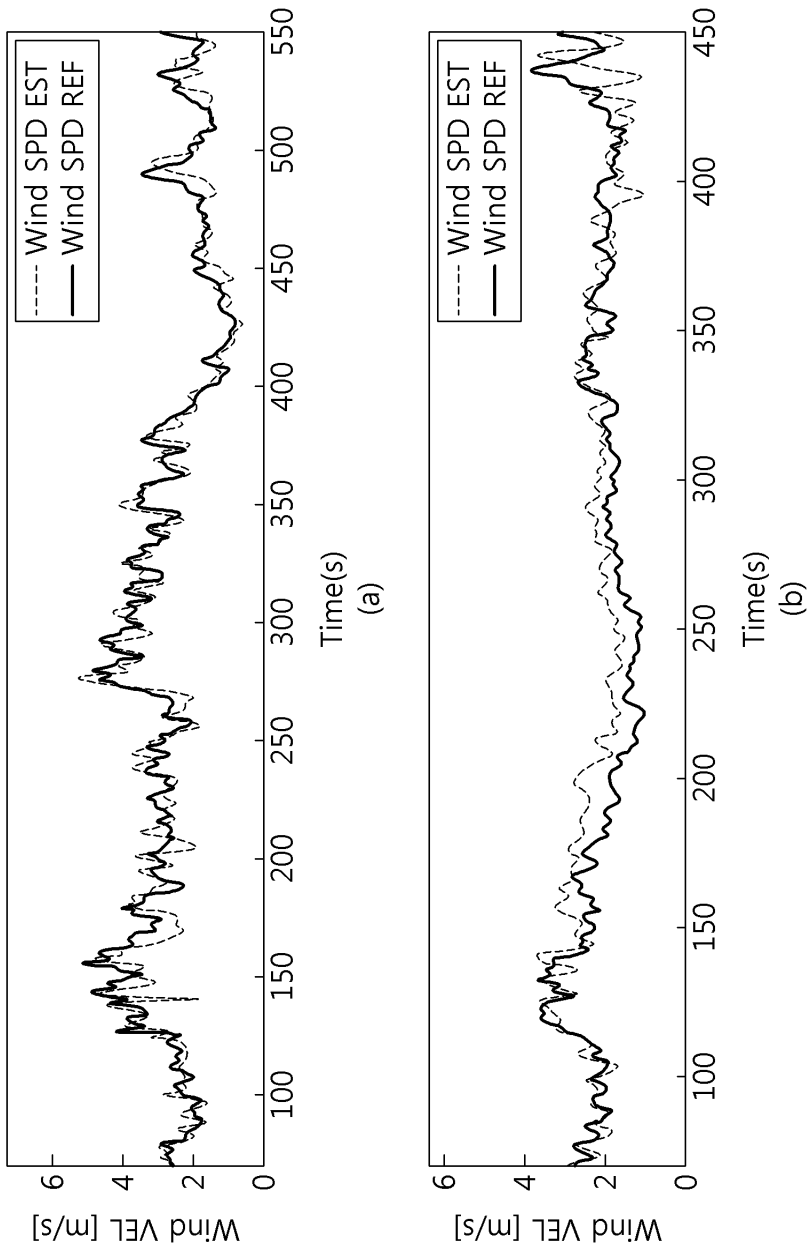
도면12



도면13



도면14



도면15

