

## 항공기와 활주로 사이의 새로운 거리측정방법

이현철\*

# New range measurement method between aircraft and runway

Hyeon-Cheol Lee\*

### ABSTRACT

Description in this paper is a system for new range measurement method between an aircraft and runway with circular mark in landing runway. The system includes an altimeter and a camera installed on the aircraft, and a circular mark placed on a landing runway. The camera installed on the aircraft must be oriented toward in front of the aircraft, and configured to detect the shape of the circular mark in image information form and a flight control computer configured to calculate the angle between the aircraft and the ground, the ground range between the aircraft and the circular mark, and the slant range between the aircraft and the circular mark with the altitude information measured by the altimeter. This system configured to control the automatic landing of the aircraft with this information.

### 초 록

본 논문에서는 원형마크를 이용한 항공기와 활주로간의 새로운 거리측정시스템에 관한 내용이다. 이 시스템은 항공기에 카메라와 고도계를 장착하고 활주로에 원형마크가 있어야 한다. 항공기에 장착된 카메라는 반드시 항공기의 진행방향을 향하면서 원형마크를 영상이미지형태로 간과하여 이미 장착한 고도계의 고도값과 함께 비행조종컴퓨터가 항공기와 지상간의 각도, 항공기와 원형마크간의 지상거리, 그리고 기울기거리를 계산하여야 한다. 이 시스템은 무인기의 자동착륙에 사용될 수 있다.

**Key Words** : UAV (무인기), autoland(자동착륙), image processing(영상처리), circular mark(원형마크)

# 1. 서론

지식경제부에서 주관하는 21세기 프론티어 사업 중 하나인 스마트무인기 기술개발사업은 국내최초로 수직이착륙 무인기를 연구개발하고 있는데 본 사업을 통하여 개념이 도출된, 항공기와 활주로의 거리를 새롭고 간단한 알고리즘을 사용하여 계산하는 연구에 관한 내용을 소개한다.

예전에는 지상과 항공기 간의 거리를 계산하기 위해서는 지상에서 항공기에 레이더의 전파를 쏘아주고 전파의 도달시간을 계산하여 활주로의 거리를 계산하도록 하며 이 거리와 항공기의 고도 등을 종합하여 착륙 지점까지 안전하게 착륙하도록 하였다. 그리고 거리측정을 위한 레이더 파를 지상에서 쏘기 위해서는 지상에 고가의 장비가 필요하였다. 본 논문은 전술한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 이미 지상에 그려놓은 도형 그림 1의 모양이 항공기의 자세와 위치에 따라 다르게 보이는 것을 판단하여 착륙지점과 항공기와의 거리를 추산한다. 따라서 고가의 지상보조장비가 필요 없고 탑재카메라와 고도계만 있으면 거리판단이 가능하다.

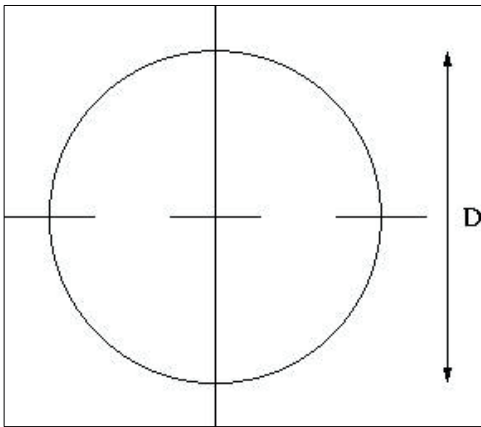


그림 1. 활주로의 원형마크

활주로와 항공기 간의 거리를 측정하기 위해 다음과 같은 것이 필요하다.

지상 착륙지점에 그림 1과 같은 모양의 도형을 그린다. D는 지름이고 길이는 10m 정도로 하면 적당할 것으로 보인다. 항공기에는 항상 고도계가 장착되어 있어야 한다. 압력 고도계는 고도가 낮아지면 오차가 커지므로 전파고도계를 장착함이 적당하다. 항공기에는 카메라가 반드시 장착되어 있어야 하고 규격은 480×640 정도의 흑백 카메라라면 충분하다. 다만 밤에는 보이지 않으니 적외선 카메라를 장착하면 좋겠지만 가격이 너무 커지니 지상의 원형마크를 야광페인트로 처리한다. 카메라는 반드시 항공기의 정면을 바라보도록 하여야 한다. 그림 2에서  $x < y$  라면, 즉  $\theta$ 가 45° 이상이라면 오차가 커질 수도 있다.

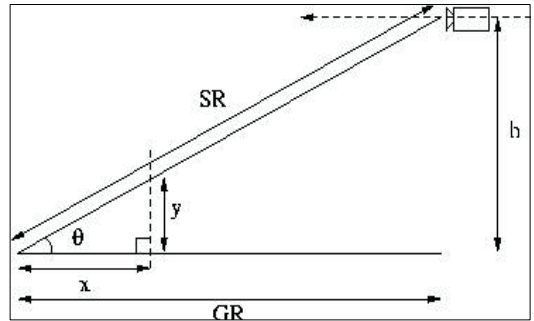


그림 2. 운용도 (pitch=0, roll=0, yaw=0, 진입각=0)

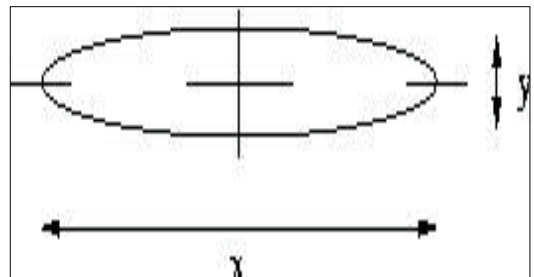


그림 3. 보는 방향에 따른 원형마크 변형 형태

## 2. 간단한 거리계산방식

### 2.1 항공기와 활주로에 필요한 장치

### 2.2 다양한 경우의 예

(pitch각, roll각, yaw각은 항공기에서 제공.)

2.2.1 pitch=0, roll=0, yaw=0, 진입각=0

항공기 진행방향으로 영상을 촬영하면 지상의 도형은 원형의 모양이 그림 3에서 보는 바와 같이 타원형으로 보이게 되고 x와 y의 비율은 그대로가 아니라 영상시선과 지상평면이 이루는 각도에 따라 다르게 보이게 된다. 그림 2에서 보는 바와 같이, 이 타원의 x와 y 거리의 비를 계산하면 이미 알고 있는 고도를 가지고 식 1처럼 항공기와 지상의 각  $\theta$ , 식 2처럼 지상거리 GR (=Ground Range)을 계산할 수 있다. 기울기 거리 SR (=Slant Range)는 식 3처럼 계산 가능하다.

$$\tan(\theta) = y/x \Rightarrow \theta = \tan^{-1}(y/x) \quad \text{식 (1)}$$

$$GR = h/\tan(\theta) = h/\tan(\tan^{-1}(y/x)) = h*x/y \quad \text{식 (2)}$$

$$\sin(\theta) = h/SR \Rightarrow SR = h/\sin(\theta) = h/\sin(\tan^{-1}(y/x)) \text{ or } SR = GR/\cos(\tan^{-1}(y/x)) \quad \text{식 (3)}$$

그 y/x 비를  $\theta = \tan^{-1}(y/x)$ 를 가지고 계산 시 각 경우에 따라 아래처럼 된다.

- y/x = 1  $\Rightarrow \theta = 45^\circ$
- y/x = 0.5  $\Rightarrow \theta = 26.56^\circ$
- y/x = 0.268  $\Rightarrow \theta = 15^\circ$

2.2.2 pitch≠0, roll=0, yaw=0, 진입각=0

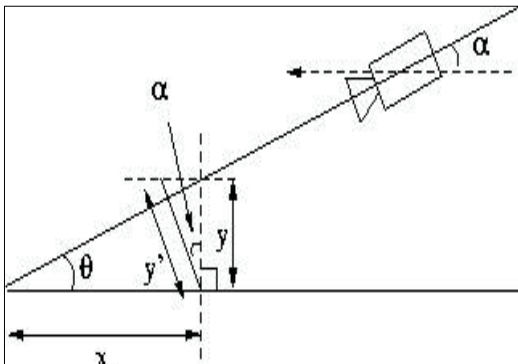


그림 4. 운용도 (pitch≠0, roll=0, yaw=0, 진입각=0)

그림 4는 항공기의 pitch각이 0이 아닐 때를 보여준다. 식 1, 2, 3의 y의 값 대신에 식 4의 y를 대입하여 식 5, 6, 7에 나타난 것과 같이 각각  $\theta$ , GR, SR을 계산한다.

$$\cos(\alpha) = y/y' \Rightarrow y = y'\cos(\alpha) \quad \text{식 (4)}$$

식 1, 2, 3의 y 대신에 식 4의 y를 대입하여 각각  $\theta$ , GR, SR을 계산한다.

$$\theta = \tan^{-1}(y'\cos(\alpha)/x) \quad \text{식 (5)}$$

$$GR = h*x/(y'\cos(\alpha)) \quad \text{식 (6)}$$

$$SR = h/\sin(\tan^{-1}(y'\cos(\alpha)/x)) \text{ or } SR = GR/\cos(\tan^{-1}(y'\cos(\alpha)/x)) \quad \text{식 (7)}$$

2.2.3 pitch≠0, roll≠0, yaw=0, 진입각=0

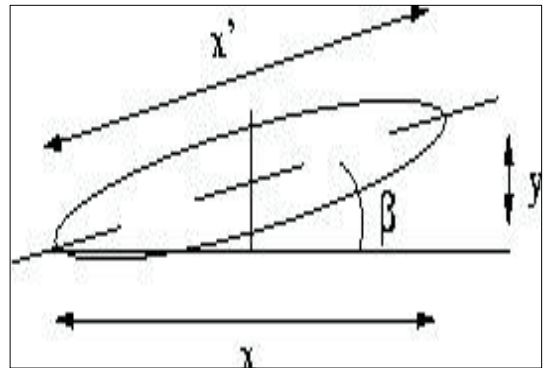


그림 5. 운용도 (pitch≠0, roll≠0, yaw=0, 진입각=0)

그림 5는 항공기의 pitch, roll각이 0이 아닐 때를 보여준다.

$$\cos(\beta) = x/x' \Rightarrow x = x'\cos(\beta) \quad \text{식 (8)}$$

식 5, 6, 7의 x의 값 대신에 식 8의 x를 대입하여 식 9, 10, 11에 나타난 것과 같이 각각  $\theta$ , GR, SR을 계산한다. 오른쪽으로 roll인지, 왼쪽으로 roll인지는 중요하지 않으니 어느 쪽으로 계산하여도 상

관없다.

$$\theta = \tan^{-1}(y'\cos(\alpha)/x'\cos(\beta)) \quad \text{식 (9)}$$

$$GR = h*x'\cos(\beta)/(y'\cos(\alpha)) \quad \text{식 (10)}$$

$$SR = h/\sin(\tan^{-1}(y'\cos(\alpha)/x'\cos(\beta))) \quad \text{or } SR =$$

$$GR/\cos(\tan^{-1}(y'\cos(\alpha)/x'\cos(\beta))) \quad \text{식 (11)}$$

$$GR = h*x'\cos(\beta)/(y''\cos(\delta)\cos(\alpha)) \quad \text{식 (14)}$$

$$SR = h/\sin(\tan^{-1}(y''\cos(\delta)\cos(\alpha)/x'\cos(\beta))) \quad \text{or}$$

$$SR = GR/\cos(\tan^{-1}(y'\cos(\alpha)/x'\cos(\beta))) \quad \text{에서 } SR$$

$$= GR/\cos(\tan^{-1}(y''\cos(\delta)\cos(\alpha)/x'\cos(\beta))) \quad \text{식 (15)}$$

2.2.5 pitch≠0, roll≠0, yaw≠0, 진입각≠0

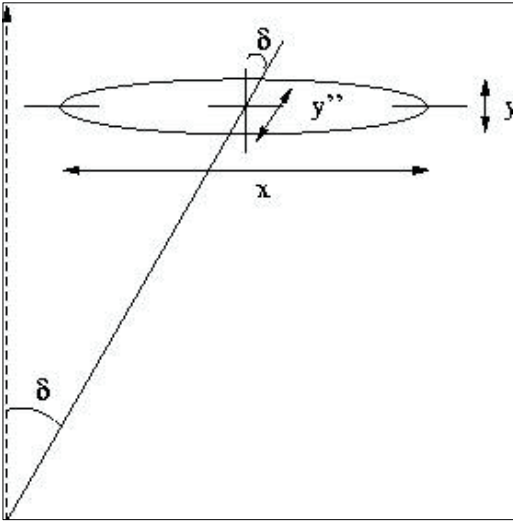


그림 6. 운용도 (pitch≠0, roll≠0, yaw≠0, 진입각=0)  
 (\* ----> : 항공기 진행방향)

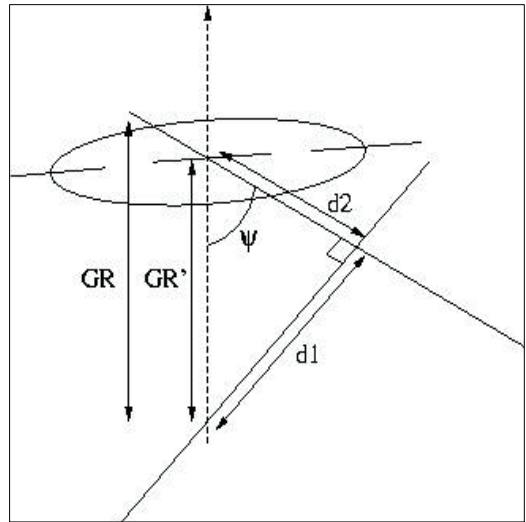


그림 7. 운용도 (pitch≠0, roll≠0, yaw≠0, 진입각≠0)  
 (\* ----> : 항공기 진행방향)

2.2.4 pitch≠0, roll≠0, yaw≠0, 진입각=0

그림 6은 항공기의 pitch, roll, yaw각이 0이 아닐 때를 보여준다.

$$\cos(\delta) = y'/y'' \Leftrightarrow y' = y''\cos(\delta) \Leftrightarrow y = y''\cos(\delta)\cos(\alpha) \quad \text{식 (12)}$$

식 9,10,11의 y'의 값 대신에 식 12의 y'를 대입하여 식 13, 14, 15에 나타난 것과 같이 각각  $\theta$ , GR, SR을 계산한다.

$$\theta = \tan^{-1}(y''\cos(\delta)\cos(\alpha)/x'\cos(\beta)) \quad \text{식 (13)}$$

그림 7은 항공기의 활주로 진입각이 0이 아닐 때를 보여준다. 이때는 여전히 식 13, 14, 15로 거리계산이 가능하며 식 17로 d1값을 계산하고 진입각이 0이 되도록 한 다음 진입을 시도하여야 한다.

$$GR' = GR - D/2 \quad \text{식 (16)}$$

$$\sin(\psi) = d1/GR' \Leftrightarrow d1 = GR' * \sin(\psi) \Leftrightarrow d1 = (GR - D/2) * \sin(\psi) \quad \text{식 (17)}$$

$$\cos(\psi) = d2/GR' \Leftrightarrow d2 = GR' * \cos(\psi) \Leftrightarrow d2 = (GR - D/2) * \cos(\psi) \quad \text{식 (18)}$$

### 3. 예제를 통한 계산

#### 3.1 예제 1

D = 10 m, pitch각 = 0°, roll각 = 0°, yaw각 = 0°, 활주로진입각 = 0°, h = 300 m 시 영상의 y = 0.5 cm, x = 1 cm 경우 :

ans)

$$y/x = 0.5$$

$$\theta = \tan^{-1}(y/x) = 26.57^\circ$$

$$GR = h \cdot x/y = 300/0.5 = 600 \text{ m}$$

$$SR = h/\sin(\theta) = 300/\sin(26.57) = 670.70 \text{ m}$$

#### 3.2 예제 2

D = 10 m, pitch각 = +10°, roll각 = 0°, yaw각 = 0°, 활주로진입각 = 0°, h = 300 m 시 영상의 y' = 0.5 cm, x = 1 cm 경우 :

ans)

$$y = y' \cos(\alpha) = 0.5 \cdot \cos(10) = 0.4924 \text{ cm}$$

$$y/x = 0.4924/1 = 0.4924$$

$$\theta = \tan^{-1}(y/x) = 26.22^\circ$$

$$GR = h \cdot x/y = 300/0.4924 = 609.26 \text{ m}$$

$$SR = h/\sin(\theta) = 300/\sin(26.22) = 679.01 \text{ m}$$

#### 3.3 예제 3

D = 10 m, pitch각 = +10°, roll각 = +5°, yaw각 = 0°, 활주로진입각 = 0°, h = 300 m 시 영상의 y' = 0.5 cm, x' = 1 cm 경우 :

ans)

$$y = y' \cos(\alpha) = 0.5 \cdot \cos(10) = 0.4924 \text{ cm}$$

$$x = x' \cos(\beta) = 1 \cdot \cos(5) = 0.9962 \text{ cm}$$

$$y/x = 0.4924/0.9962 = 0.4943$$

$$\theta = \tan^{-1}(y/x) = 26.30^\circ$$

$$GR = h \cdot x/y = 300/0.4943 = 606.92 \text{ m}$$

$$SR = h/\sin(\theta) = 300/\sin(26.30) = 677.09 \text{ m}$$

#### 3.4 예제 4

D = 10 m, pitch각 = +10°, roll각 = +5°, yaw각 = +5°, 활주로진입각 = 0°, h = 300m 시 영상의 y'' = 0.5 cm, x' = 1 cm 경우 :

ans)

$$y = y'' \cos(\delta) \cos(\alpha) = 0.5 \cdot \cos(5) \cos(10) = 0.4905 \text{ cm}$$

$$x = x' \cos(\beta) = 1 \cdot \cos(5) = 0.9962 \text{ cm}$$

$$y/x = 0.4905/0.9962 = 0.4924$$

$$\theta = \tan^{-1}(y/x) = 26.22^\circ$$

$$GR = h \cdot x/y = 300/0.4924 = 609.26 \text{ m}$$

$$SR = h/\sin(\theta) = 300/\sin(26.22) = 679.01 \text{ m}$$

#### 3.5 예제 5

D = 10 m, pitch각 = +10°, roll각 = +5°, yaw각 = +5°, 활주로진입각 = 20°, h = 300m 시 영상의 y' = 0.5 cm, x = 1 cm 경우 :

ans)

이 경우  $\theta$ , GR, SR은 예제 4와 동일하나 우선 활주로 진입각을 계산하고 진입각이 0이 되도록 유도하여야 한다.

$$d1 = (GR - D/2) \cdot \sin(\psi) = (609.26 - 10/2) \cdot \sin(20) = 206.67 \text{ m}$$

### 4. 결론

기존에는 반드시 지상에 보조장비 (레이다 송신기 등)로 항공기에 무선통신을 하면서 그 거리를 판단하였다. 그러나 본 논문에서는 지상에 어떠한 보조장비도 필요 없고 지상에는 사전에 설정된 임의의 형태의 도형 모양만이 필요하며 항공기에는 영상정보를 위한

카메라와 고도계만 있으면 항공기와 활주로 간 거리를 계산하는 새로운 방식이다. 고도계는 지표면에 가까울수록 오차가 커지므로 전파고도계를 사용하면 보다 정밀한 거리측정이 이루어져서 간단하면서도 쉽게 착륙지점과의 거리를 판단 가능하다.

## 참고문헌

1. 김덕렬, 김도명, 석진영, “무인헬기의 정밀자동착륙을 위한 영상정보처리”, 2008 한국항공우주학회, 논문집, pp. 363-366