

삼각함수의 극한을 활용한 Fix-to-Fix 항법 보완

Fix-to-Fix Navigation Complement Using Limits of Trigonometric Functions

김 범 수

공군 제3훈련비행단

Bum-su Kim

3rd Flight Training Wing, Republic of Korea Air Force, Gyeongsangnam-do 52511, Korea

[요 약]

Fix-to-Fix 항법은 항공기 조종사가 항행 중 현재 지점에서 원하는 특정 지점으로 이동할 때 예상 Heading을 구하기 위해 사용하는 방법이다. 하지만 이 항법은 경험에 의한 주먹구구식 방법에 기반을 두고 있기 때문에 대략적인 방향만 알 수 있을 뿐 정확한 값을 알 수는 없다. 게다가 원하는 지점에 가까워져 Radial차가 작아져 HSI상의 Bearing Pointer와 Course Indicator가 인접하게 되면, 이 방법조차 사용하기 까다로워 예상 Heading은 더욱 구하기 어렵게 된다. 이러한 한계를 해결하기 위해 삼각함수의 극한을 Fix-to-Fix 항법에 도입하였다. 본 논문에서는 Fix-to-Fix 항법을 할 때 이러한 한계를 보완할 수 있는, 삼각함수의 극한을 활용한 두 가지 방법을 제시하고 그 오차를 분석하였다.

[Abstract]

The Fix-to-Fix Navigation is the technique for aircraft pilots to find out estimated Heading when crossing from present fix to other fix to want to go in the air. Because this is based on the Rule of Thumb method from one's experience, it could not find out exact estimated Heading. Furthermore if the pilot nears going fix, Bearing Pointer and Course Indicator of HSI are too close to use this technique, that makes the pilot lost in the air. In this paper, We take Limits of Trigonometric Functions into the Fix-to-Fix Navigation to overcome these disadvantages. This study introduces two solutions using Limits of Trigonometric Functions when doing Fix-to-Fix Navigation and analyzes the error of this solutions.

Key word : Air navigation, Estimated heading, Fix-to-Fix navigation, Limits of trigonometric functions, Navigation technique.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.3.274>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 18 May 2023; Revised 2 June 2023

Accepted (Publication) 23 June 2023 (30 June 2023)

*Corresponding Author; Bum-su Kim

Tel: *** - *** - ****

E-mail: bsk3108@naver.com

I. 서론

초기의 비행은 조종사의 눈에만 의존하여, 지형지물을 피해 원하는 목적지까지 이동하는 ‘시계비행 (VFR; visual flight rule)’ 방식으로 이루어졌다. 하지만 지형지물이 육안으로 잘 보이지 않는 악천후, 야간, 고고도 상황에서는 조종사의 눈에만 의존해서는 안전하게 비행하기가 힘들어졌고, 이에 따라 항공기의 속도, 고도, 방향, 위치 등을 알 수 있는 항공기 계기장치에 의존하는 ‘계기비행 (IFR; instrument flight rule)’을 하기 시작했다[1].

일반적인 항공기의 주 운용 목적은 사람이나 물자를 다른 지역으로 이동시키는데 있다. 계기비행 중 다른 지역으로 이동하기 위해서는 항공기의 위치, 방향 등의 정보를 제공하는 VOR/DME, TACAN 등의 항법 장비를 수반해야 하며, 이러한 장비를 바탕으로 지점 간 이동하는 방법인 Fix-to-Fix 항법을 주로 수행한다. 이 항법은 항법 장비로부터 정보를 수신해 시현하는 HSI (horizontal situation indicator)에서 Station으로부터 항공기의 방향을 알려주는 Bearing Pointer와 Station으로부터 목적지로 향하는 방향으로 설정한 Course Indicator를 보고, 지점 간의 거리 비를 이용해 목적지까지의 예상 Heading을 구하는 방법이다[2]. 예를 들어, 그림 1에서 현재 위치가 355° Radial, 20 NM이고 목적지가 035° Radial, 15 NM이라고 가정해보자. HSI Card의 중심에서 거리 비만큼 각 방향으로 가상 좌표를 설정해 현재 위치에서 목적지로 가상선을 긋고, 이와 평행하게 HSI Card 중심에서 선을 긋는다. 이 선이 HSI Card의 가장자리와 만나는 방향이 예상 Heading이다. 그러면 대략 130°가 된다.

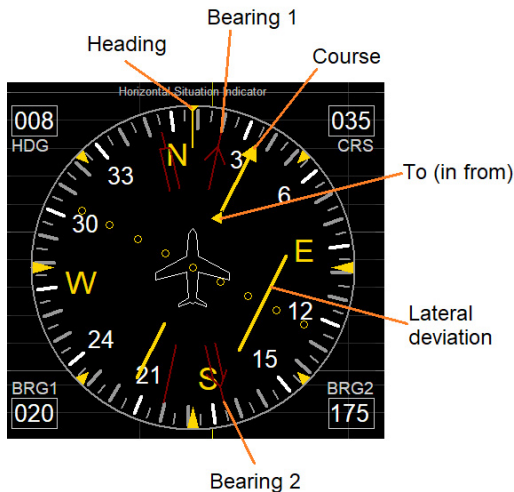


그림 1. HSI 구성요소 [3]
Fig. 1. HSI Component.

하지만 이 방법은 주먹구구식 방법이기 때문에 정확하지가 않다. 먼저, 비행 중에 HSI를 보며 실질적으로 거리 비를 정확히 계산하고 펜으로 예상 Heading으로 향하는 선을 그을 수 없어, 눈대중으로만 대략적인 예상 Heading을 구하기 때문이다.

게다가 목적지에 가까워질수록 Bearing Pointer와 Course Indicator가 포개지면서 예상 Heading을 구하기 위한 방향을 찾기가 더 까다로워지기 때문에 더 부정확해진다. 그래서 조종사 표준교재에서 조차 이 항법에 대해 소개할 때, ‘원하는 픽스에 가까워지면 아크(Arc)나 Radial에 진입하거나’라고 설명하며, 목적지에 가까워졌을 때 실질적으로 Fix-to-Fix 항법을 그대로 적용하기 어렵다는 한계를 드러내고 있다[4].

본 논문에서는 Fix-to-Fix 항법의 이러한 한계를 극복하기 위해, 거리 차와 위치 사이의 각이라는 수치로만 예상 Heading을 구하는 방법을 연구하였고, 이에 삼각함수의 극한을 이 항법에 적용하게 되었다. 2장에서는 Fix-to-Fix 항법과 삼각함수의 극한에 대한 이론적 배경을 설명한다. 3장과 4장에서는 현재 지점과 원하는 지점의 Radial차에 따라 둔각과 예각, 두 가지 상황으로 나누어 각각의 상황에서 본 논문에서 제안하고자 하는 방법을 소개한 뒤, 이를 적용했을 때의 오차를 분석한다. 그리고 마지막 5장에서는 실질적인 활용방안을 제시하고 결론을 맺는다.

II. 이론적 배경

2-1 Fix-to-Fix 항법

서론에서 언급했다시피 Fix-to-Fix 항법은, 항법 장치를 보유한 항공기가 계기비행 중 현재 지점에서 원하는 다른 지점으로 이동하기 위해 사용하는 방법이다. 먼저, 원하는 지점으로 대략적인 선회를 하기 위해 HSI의 Bearing Pointer Head와 원하는 지점이 있는 Radial, 그 Radial을 Course로 설정해 놓았다면 그 Course Indicator Arrow 사이의 중간 정도에 있는 방향으로 선회한다.

이후, HSI Card의 중앙을 Station이라고 생각하고, Bearing Pointer Tail을 Station으로부터 항공기의 방향, 원하는 지점의 Radial을 Station으로부터 원하는 지점의 방향이라고 생각한다. 현재 위치와 원하는 지점의 DME 중 큰 것을 해당 방향의 HSI Card의 가장자리로 설정함으로써 그 지점의 위치를 가상으로 나타낸다. 작은 것은 해당 방향에서 큰 DME의 길이가 HSI Card의 가장자리로 설정된 것을 감안하여 비교하는 지점에 위치를 가상으로 설정한다. 이렇게 설정한 현재 항공기의 위치에서 원하는 지점의 위치로 가상선을 긋는다. 이후, Station으로 설정된 HSI Card의 중앙으로부터 이 가상선과 평행하게 선을 긋는다. 이 선이 HSI Card와 만나는 곳이 예상 Heading이다[5]. 서론에서처럼 한 가지 예시를 들어, 현재 위치가 090° Radial, 20 NM, 목적지가 030° Radial, 10 NM이라고 가정해보자. 목적지의 Radial을 Course로 설정했다면, HSI가 그림 2의 우측 상단 그림처럼 시현될 것이다. 여기서 파란색 Arrow가 Bearing Pointer, 노란색 Arrow가 Course Indicator이다. 현재 위치와 목적지의 거리 비가 20 : 10, 즉 2 : 1이므로 HSI Card 상에서의 현재 위치와 목적지를 그림 2처럼 각각 보라색, 초록색 점과 같이 설정한다. 이후 HSI Card 상의 가상의

현재 위치에서 가상의 목적지로 가상선을 긋는다. 이 선과 평행한 선을 HSI Card의 중앙으로부터 긋고, 이 선이 HSI Card의 가장자리와 만나는 방향, 즉 298°가 Fix-to-Fix 항법을 적용했을 때의 대략적인 예상 Heading이다.

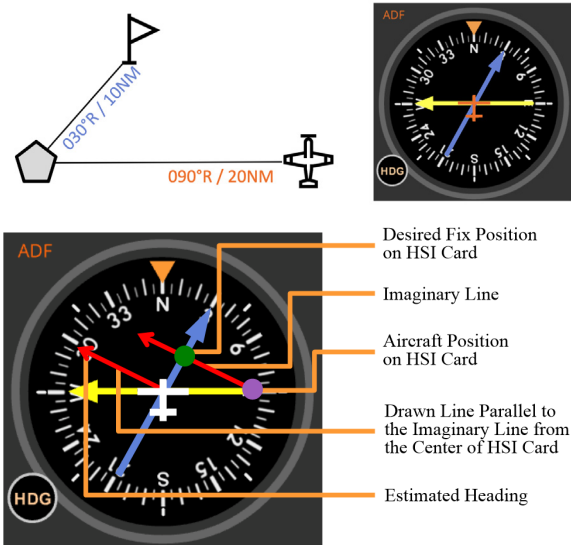


그림 2. Fix-to-Fix 항법 예시
Fig. 2. Fix-to-Fix Navigation Example.

2-2 삼각함수의 극한 증명

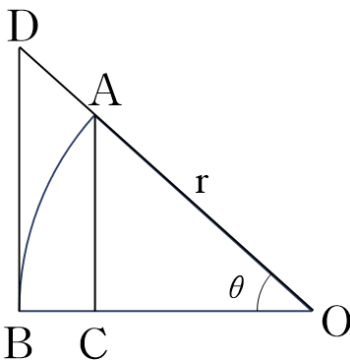


그림 3. 부채꼴 AOB에 대한 그림
Fig. 3. Diagram of Circular Sector AOB.

도형 AOB는 중심이 O이며 반지름의 길이가 r이고 중심각 AOB의 크기가 θ 인 부채꼴이다. 점 A에서 선분 \overline{OB} 에 대해 수직으로 내린 선이 선분 \overline{OB} 와 만나는 점을 C, 점 B에서 수직으로 올린 선이 선분 \overline{OA} 의 연장선과 만나는 점을 D라고 한다. 부채꼴 AOB, $\triangle AOC$, $\triangle ODB$ 의 넓이에 대하여 식(1)과 같은 식이 성립한다. 이후 각 항을 공통 인자와 $\sin\theta$ 로 나눈 뒤, 역수를 취하고 극한을 취해주면 식(2)와 같다.

$$\Delta AOC \text{의 넓이} < \text{부채꼴 AOC의 넓이} < \Delta DOB \text{의 넓이} \quad (1)$$

$$\frac{1}{2}(r \times \cos\theta) \times (r \times \sin\theta) < \frac{1}{2}r^2\theta < \frac{1}{2}r \times (r \times \tan\theta)$$

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{1}{\cos\theta} \geq \lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{\sin\theta}{\theta} \geq \lim_{\theta \rightarrow 0} \cos\theta \quad (2)$$

θ 에 대해 $\theta \rightarrow 0+$ 일 경우와 $\theta \rightarrow 0-$ 일 경우의 극한값을 구해, 부등호를 비교하면 식(3)과 같은 결과를 구할 수 있다. 식(3)의 양변을 $\cos\theta$ 로 나눠주고 극한을 취해주면 식(4)와 같다. 따라서 식(5)와 같은 결론이 도출된다.

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{\sin\theta}{\theta} = 1 \quad (3)$$

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{\tan\theta}{\theta} = 1 \quad (4)$$

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} \sin\theta = \lim_{\theta \rightarrow 0} \tan\theta = \theta \quad (5)$$

2-3 삼각형에서의 삼각함수의 극한 적용

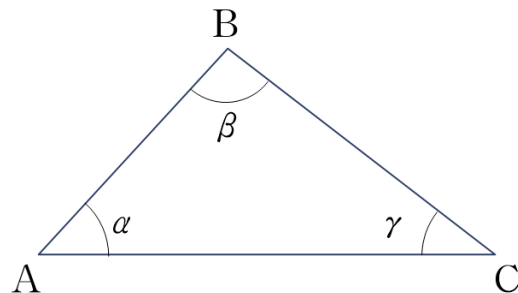


그림 4. 삼각형 ABC에 대한 그림
Fig. 4. Diagram of Triangle ABC.

삼각함수의 극한을 삼각형에 적용해보자. 그림 4에서처럼 꼭짓점이 A, B, C이고 각 꼭짓점의 크기가 α, β, γ 이며, 가장 긴 변이 \overline{CA} 인 $\triangle ABC$ 가 있다. 이 삼각형에 대하여 사인정리에 의해 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\frac{\overline{BC}}{\sin\alpha} = \frac{\overline{CA}}{\sin\beta} = \frac{\overline{AB}}{\sin\gamma} \quad (6)$$

α 가 0으로 수렴한다고 하면, γ 는 0으로 수렴하고 β 는 π 로 수렴한다. 각 꼭짓점에 대하여 식(6)에 삼각함수의 극한을 적용하면, 식(7)처럼 된다. 또한, 길이에 대해서는 식(8)이 성립하며, 식(8)에 식(7)을 적용하면 식(9)가 된다.

$$\frac{\overline{BC}}{\alpha} = \frac{\overline{CA}}{\beta} = \frac{\overline{AB}}{\gamma} \quad (7)$$

$$\overline{BC} : \overline{CA} : \overline{AB} = \alpha : \beta : \gamma$$

$$\overline{CA} = \overline{AB} + \overline{BC} \quad (8)$$

$$\beta = \gamma + \alpha \quad (9)$$

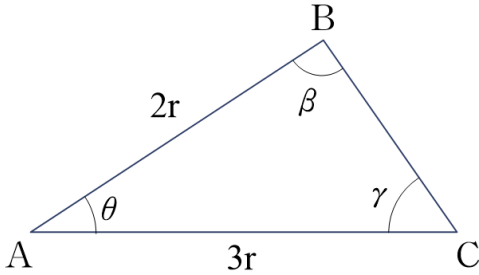


그림 5. 삼각함수의 극한을 적용한 삼각형 예시
Fig. 5. Limits of Trigonometric Functions Triangle Example.

예를 들어, 그림 5처럼 $\triangle ABC$ 에 대해 \overline{CA} 의 길이가 $3r$, \overline{AB} 의 길이가 $2r$, 이 두 변의 사이각인 꼭짓점 A의 크기가 θ 라고 하자. θ 가 0으로 수렴할 때, 식(7), (8), (9)를 그림 5의 $\triangle ABC$ 에 적용하면 식(10)과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\overline{BC} = 2r, \beta = 3\theta, \gamma = 2\theta \quad (10)$$

2-4 Fix-to-Fix 항법에서의 삼각함수의 극한 적용

Fix-to-Fix 항법을 사용하기 어렵게 하는 한계를 경험하는 상황은, Course Indicator와 Bearing Pointer가 포개질 때, 즉 Radial차가 π 또는 0에 매우 근접할 때이다. 조종사와 목적지, Station의 위치 관계를, 거리와 Radial차를 바탕으로 삼각형으로 나타낼 수 있다. 항법 중에 Radial차가 π 또는 0에 매우 근접하다는 것을 통해, 위치 관계를 나타낸 삼각형에서 사이각이 π 또는 0에 수렴한다고 가정할 수 있다. 따라서 3장과 4장에서 각각 조종사와 목적지의 Radial차가 π 또는 0에 수렴한다고 가정하여, 위치 관계를 나타낸 삼각형에 삼각함수의 극한을 적용한다. 이를 통해 거리와 Radial차에 대한 식으로 예상 Heading을 구하고, Radial차를 π 와 0이 아닌 값으로 확장해가며 오차를 분석한다.

III. Radial차가 둔각일 때의 적용

3-1 수식

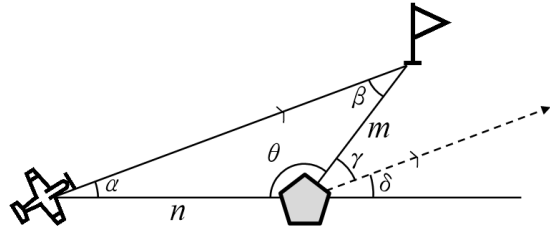


그림 6. Radial차가 둔각일 때의 적용에 대한 그림
Fig. 6. Diagram of when Obtuse Angle of Difference of Radial.

그림 6처럼 조종사가 현재 Station으로부터 n 마일 떨어져 있으며, Radial차가 θ 만큼 나고 Station으로부터 m 마일 떨어져 있는 목적지로 Fix-to-Fix 항법을 한다고 하자. 비행기 그림이 조종사의 위치, 음영의 오각형 그림이 Station의 위치, 깃발 그림이 목적지의 위치이다. 그리고 현재 위치에서 Station으로의 방향과 현재 위치에서 목적지로 향하는 방향과의 각도차를 α , Station에서 목적지로의 방향과 현재 위치에서 목적지로 향하는 방향과의 각도차를 β 라고 한다. 현재 위치에서 목적지로 향하는 방향과 평행한 선을 Station으로부터 긋는다. 위의 평행하게 그은 선에 대하여 Station에서 목적지로의 방향과의 각도차를 γ , Bearing Pointer Head로 향하는 방향과의 각도차를 δ 라고 한다.

$\theta \rightarrow \pi$ 로 수렴한다고 가정하면, $\theta \rightarrow 0$ 일 때와 동일하게 삼각함수의 극한 성질에 의해 다음과 같다고 할 수 있다.

$$n : m = \beta : \alpha \quad (11)$$

평행선의 성질에 따라 α 와 δ 는 동위각이므로 크기가 같고, β 와 γ 는 엇각이므로 크기가 같으므로 다음처럼 정리할 수 있다.

$$n : m = \beta : \alpha = \gamma : \delta \quad (12)$$

따라서 목적지로의 방향은 Station에서 목적지로의 방향과 Bearing Pointer Head와의 방향 사이의 각을 $n : m$ 으로 내분한다고 할 수 있다. 즉, 현재 위치와 목적지의 거리 비가 $n : m$ 일 때, Station에서 목적지로의 방향과 Bearing Pointer Head로의 방향 사이의 각을 $n : m$ 으로 내분하는 선의 방향이 목적지로 향하는 예상 Heading이 된다.

3-2 오차 분석

α 의 근삿값과 참값을 구하여 오차를 분석해보자. 삼각함수의 극한을 적용한 근삿값의 경우 삼각형 내각의 합은 180° 이므로, α 와 β 의 근삿값, α' 와 β' 은 각각 다음 식(13), (14)과 같다.

$$\alpha' = \frac{m}{m+n}(180 - \theta) \tag{13}$$

$$\beta' = \frac{n}{m+n}(180 - \theta) \tag{14}$$

α 의 참값을 구해보자. 사인정리에 의하여 식(15)가 성립하고, 이를 α 에 대한 식으로 정리하면 식(16)가 된다.

$$\frac{m}{\sin \alpha} = \frac{n}{\sin \beta} \tag{15}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{m \sin \theta}{n - m \cos \theta}\right) \tag{16}$$

따라서 오차는 다음과 같다.

$$\alpha' - \alpha = \frac{m}{m+n}(180 - \theta) - \tan^{-1}\left(\frac{m \sin \theta}{n - m \cos \theta}\right) \tag{17}$$

m 은 n 의 k 배 형태로 표현할 수 있으므로, 식(17)을 정리해 식(18)처럼 나타낼 수 있다.

$$\alpha' - \alpha = \frac{k}{k+1}(180 - \theta) - \tan^{-1}\left(\frac{k \sin \theta}{1 - k \cos \theta}\right) \tag{18}$$

단, $n = m$ 일 경우 조종사와 목적지, Station의 위치 관계를 삼각형으로 표현했을 때, 이등변삼각형이 되어 근삿값이 참값을 나타내게 되며 오차는 0이 된다.

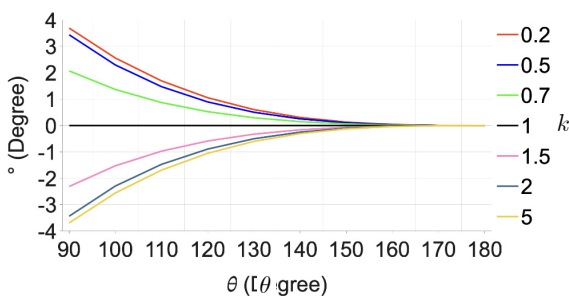


그림 7. 상수 k 값에 따른 오차
Fig. 7. Error resulted from constant k .

그림 7은 식(18)에서 θ 와 k 를 독립변수로 하여 오차를 분석한 그래프다. 위 그래프를 분석하면, Radial차가 클수록 오차가 작아진다. 또한, 두 거리의 차이가 작을수록 오차가 작으며, 두 거리의 차이가 5배로 크더라도 오차가 최대일 때인 Radial차가 90°

일 때 오차가 4°미만인 것을 고려하면 참값과의 오차가 크지 않다는 것을 알 수 있다.

IV. Radial차가 예각일 때의 적용

4-1 수식

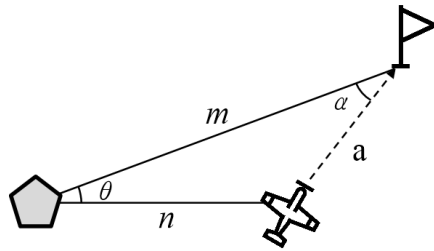


그림 8. Radial차가 예각일 때의 적용에 대한 그림
Fig. 8. Diagram of Application when Acute Angle of Difference of Radial.

그림 8처럼 Station으로부터 n 마일 떨어진 조종사가, 조종사와의 Radial차가 θ 이고 Station으로부터 m 마일 떨어진 곳으로 Fix-to-Fix 항법을 한다고 한다. 비행기 그림이 조종사의 위치, 음영의 오각형 그림이 Station의 위치, 깃발 그림이 목적지의 위치이다. 단, $n \neq m$ 이다. 현재 위치에서 목적지로 향하는 방향과 Station부터 목적지로의 방향이 이루는 각을 α 라고 하고, 목적지로의 거리를 a 라고 한다.

삼각형에 삼각함수의 극한을 적용하면 가장 긴 변의 길이는 나머지 두 변의 길이의 합과 같아진다. 대각의 크기가 π 에 수렴하는 변이 가장 긴 변이 되는데, θ 가 0으로 수렴한다면 a 는 가장 긴 변이 될 수 없다. 따라서, m 또는 n 이 가장 긴 변이다. 먼저, m 이 n 보다 크다고 가정하고 θ 가 0으로 수렴한다면, $m = n + a$ 가 된다. 즉, $a = m - n$ 로 표현할 수 있다. 사인정리에 의하여 α 는 다음처럼 나타낼 수 있다.

$$\frac{n}{\sin \alpha} = \frac{m-n}{\sin \theta} \tag{19}$$

$$\frac{n}{\alpha} = \frac{m-n}{\theta}$$

$$\alpha = \frac{n}{m-n} \theta \quad (m > n)$$

따라서 예상 Heading은 목적지의 Radial로부터 α 만큼 Offset한 방향이 된다. 똑같은 방법으로 n 이 m 보다 큰 경우에 α 의 값은 식 (20)이 된다. 따라서 식(19), (20)을 정리해 식(21)으로 표현할 수 있다.

$$\alpha = \frac{n}{n-m} \theta \quad (n > m) \tag{20}$$

$$\text{Offset Angle} = \frac{n}{|n-m|} \times \theta \quad (21)$$

단, α 는 90° 보다 클 수 없다. α 가 90° 보다 크다는 것은, n 또는 m 이 가장 긴 변이라고 가정한 것에 모순이 된다. α 값이 가장 큰 경우는 n 과 m 이 같을 때이며 그 값은 90° 이다.

4-2 오차 분석

α 의 근삿값과 참값을 구하여 오차를 분석해보자. 근삿값 α' 은 식(19), (20)에서 구한 값이다. 참값 α 은 다음처럼 구할 수 있다.

$$\frac{n}{\sin \alpha} = \frac{a}{\sin \theta} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \sin^{-1}\left(\frac{n \sin \theta}{a}\right) \\ &= \sqrt{n^2 + m^2 - 2 \times n \times m \times \cos \theta} \\ &= \sin^{-1}\left(\frac{n \sin \theta}{\sqrt{n^2 + m^2 - 2 \times n \times m \times \cos \theta}}\right) \end{aligned}$$

(23)

따라서 오차는 다음과 같다.

$$\alpha' - \alpha = \frac{n}{m-n} \theta - \sin^{-1}\left(\frac{n \sin \theta}{\sqrt{n^2 + m^2 - 2 \times n \times m \times \cos \theta}}\right)$$

(24)

m 은 n 의 k 배 형태로 표현할 수 있으므로, 식을 정리해 식(25)처럼 나타낼 수 있다.

$$\alpha' - \alpha = \frac{\theta}{k-1} - \sin^{-1}\left(\frac{\sin \theta}{\sqrt{1+k^2-2 \times k \times \cos \theta}}\right)$$

(25)

단, $n=m$ 일 경우 근삿값은 90° 이며, 오차는 다음과 같다.

$$\alpha' - \alpha = 90^\circ - \sin^{-1}\left(\frac{\sin \theta}{\sqrt{2-2 \times \cos \theta}}\right) \quad (26)$$

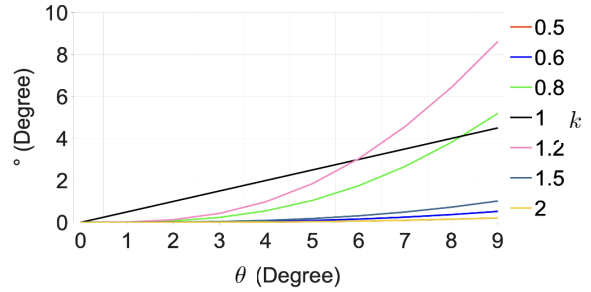
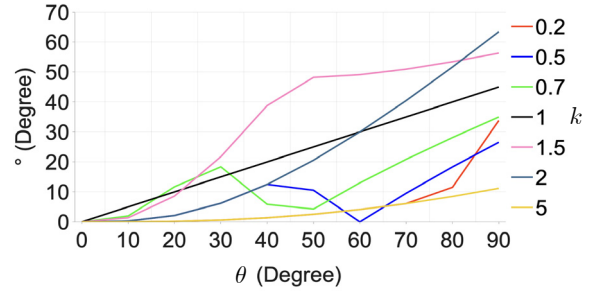


그림 9. 상수 k 값에 따른 오차

Fig. 9. Error resulted from constant k .

그림 9은 식(26)에서 θ 와 k 를 독립변수로하여 오차를 분석한 그래프다. 근삿값이 90° 보다 큰 경우 그 값을 90° 로 처리했으며, 그림 9의 아래 그래프에서 k 값이 0.5일 때와 2일 때의 값이 같아 이 중 k 값이 2인 경우만 그래프에 나타냈다. 그래프를 분석해보면, 전반적으로 Radial차가 클수록 오차가 크다. 거리차가 작을수록 오차는 크나, 거리차가 2배 이상이 나고 Radial차가 20° 보다 작을 경우 오차는 5° 이하로 작다. 거리차가 작더라도 Radial차가 10° 미만으로 매우 작으면 오차도 작다.

V. 결론

2장에서 Fix-to-Fix 항법과 삼각함수의 극한을 설명한 후, 3장에서는 현재 위치와 원하는 지점의 Radial차가 둔각일 때, 4장에서는 Radial차가 예각일 때의 삼각함수의 극한을 적용한 Fix-to-Fix 항법 보완 방안에 대해 소개하고 오차를 분석했다.

본 논문에서 소개하는 방식은 크게 두 가지였다. 먼저, Radial차가 둔각일 때는 현재 위치와 원하는 지점의 거리 비가 $n:m$ 일 때, 원하는 Radial 사이와 Bearing Pointer Head 사이의 각을 $m:n$ 으로 내분하는 방향이 예상 Heading이었다. 그리고 Radial차가 예각일 때는, 현재 위치의 거리를 현재 위치와 원하는 지점의 거리 차로 나눈 뒤 Radial차를 곱한 값만큼 원하는 지점의 Radial에서 Offset한 방향이 예상 Heading이었다.

오차를 분석했을 때, 위 방식이 기존 Fix-to-Fix 방식처럼 모든 거리차와 Radial차에서 사용할 수 있을 만큼 범용성이 좋지는 못했다. 하지만, Radial차가 90° 이상으로 클 때와 Radial차가 10° 미만이고 거리차가 매우 작지 않을 때는 오차가 작아 활용 가치가 있었다. Radial차가 둔각일 때, 주먹구구식 항법에서

오차를 약 5°미만으로 하여 정확성을 높였고, Radial차가 10°미만으로 작을 때는 사용하는 것 자체가 까다로웠던 Fix-to-Fix 항법을 지속적으로 적용가능하게 했으며, 거리 차가 50% 이상으로 작지 않을 때는 오차를 1° 이하로 하여 정확성까지 높였다. 또한, Radial차가 5° 미만이라면, 거리 차가 20% 이상으로 크지 않더라도 오차가 작아 원하는 지점에서의 예상 Heading을 구하는 데 활용성이 있었다.

하지만 실제 비행 중 원하는 지점으로 이동하고자 할 때, 본문에서 제시한 방법을 처음부터 사용하는 것은 적절하지 못할 수 있다. 정확하지 않더라도 직관적으로 빠르게 대략적인 예상 Heading을 구할 수 있는 본래 방식에 비해, 위 방식은 그렇지 못하다. 먼저 Radial차와 거리 차를 확인하고 오차가 작은 상황인지 판단해야 하며 그러한 상황일지라도 예상 Heading을 구하기 위해서는 계산을 수반해야 하기에 시간적 손실이 크기 때문이다. 초기 Heading 설정을 하지 않고 이 방법을 사용했다면, 항공기는 그 시간 동안 이미 다른 곳으로 이동해 추가적인 시간, 연료 낭비를 유발할지도 모른다. 그러기에 본문에서 소개한 방식은, 본래 방식을 사용해 대략적인 Heading을 설정한 이후에, 보조 수단으로써 시간적 여유가 있을 때 보다 정확한 Heading 값을 구하거나 현재 Heading이 적절한지 검산하기 위해 사용하

는 것이 더욱 효과적이며 실용성이 있을 것이다.

References

- [1] Korea Aerospace Research Institute, Representative Navigations : VFR and IFR, [Internet], Available: <https://blog.naver.com/karipr/221321976766>
- [2] Code7700, Fix-to-Fix (1979), [Internet], Available: https://www.code7700.com/1979_fix-to-fix.htm
- [3] Dewesoft, Horizontal Situation Indicator, [Internet], Available: <https://manual.dewesoft.com/x/measure/displaydesign/viscontrol/horizontal-situation-indicator>
- [4] Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Standard Pilot's Handbook Instrument Flying, 2nd ed. Seoul, Seongjin Culture Pub., pp. 53, 2022.
- [5] U. S. Department of the Air Force, Flying Operations: Instrument Flight Procedures, United States Air Force, Pentagon: VA, AFMAN11-217 V1, pp. 70, 2010.



김 범 수 (Bum-Su Kim)

2021년 2월 : 공군사관학교 컴퓨터과학과 이학사

2021년 3월 ~ 현재 : 대한민국 공군 장교

※ 관심분야 : 공군, 비행항법, 소프트웨어