

자이로스코프의 이해와 응용



權 鍾 光

國科硏 연구원



金 汶 烈

國科硏 연구원

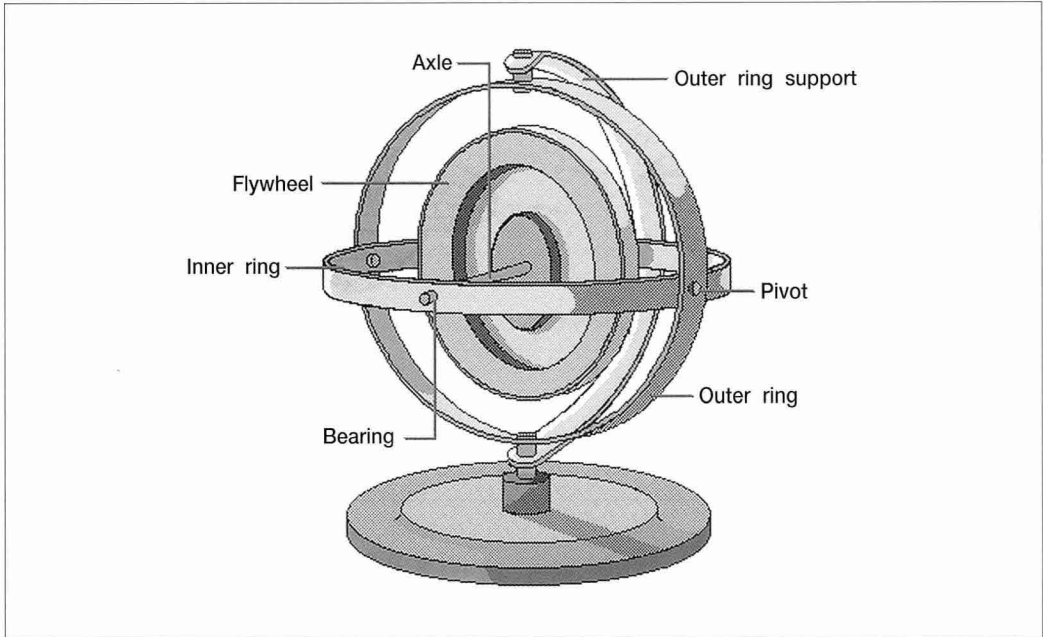
강직성은 우주 공간에 대해 일정한 방향을 유지하려고 하는 성질로 뉴턴의 제1법칙인 관성력을 이용한 한 형태라고 할 수 있다. 강직성은 자체 회전축의 방향을 변화시키려는 외력에 대항하여 자이로의 지지대를 기울여도 자이로의 축을 원위치로 유지하게 하는 성질이다. 이 성질은 3개의 변수인 로터의 질량, 반경, 회전속도에 좌우된다.

강직성을 이용하여 만든 자이로를 3축 자이로 혹은 Free Mounted Gyro라 하며 3축 자이로는 항공기 계기에서 자세기준, 방향기준을 설정하는데 이용된다.

항 공기 및 선박, 유도 미사일 등의 항법에 가장 필수적인 장치인 자이로스코프는 자세 및 방위 정보를 항공기의 항법 및 비행계기에 제공할 뿐만 아니라 자동비행조종(Automatic Pilot) 장치 및 관성항법 장치(INS) 등에 적용되고 있다.

자이로는 p.47 그림의 실험용 자이로와 같은 메커니즘으로 구성되어 있다. 회전체인 로터(Rotor)와 회전체의 축 지지대인 짐벌(Gimbal)로 구성된다. 회전체는 내부짐벌(Inner Gimbal)에 설치되며 내부짐벌은 외부짐벌(Outer Gimbal)에 의해 지지된다. 외부짐벌은 장비나

실험용 자이로



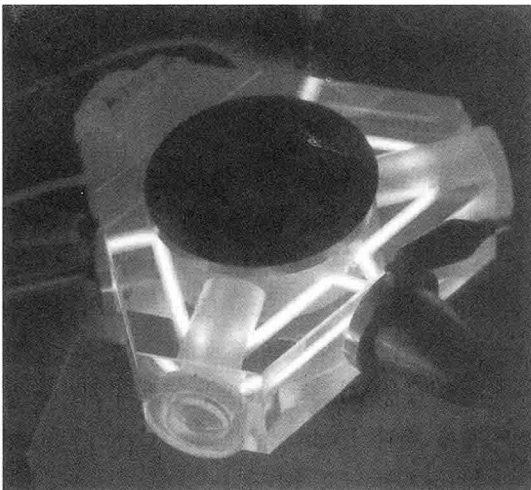
계기곽(Case)에 의해서 지지된다.

자이로는 2가지 기본적인 특성을 가지는데 강직성(Rigidity)과 선행성(Precession)이며 이 성질은 각 운동량 보존의 원리(The Principle of conservation of angular momentum)에 그 기초

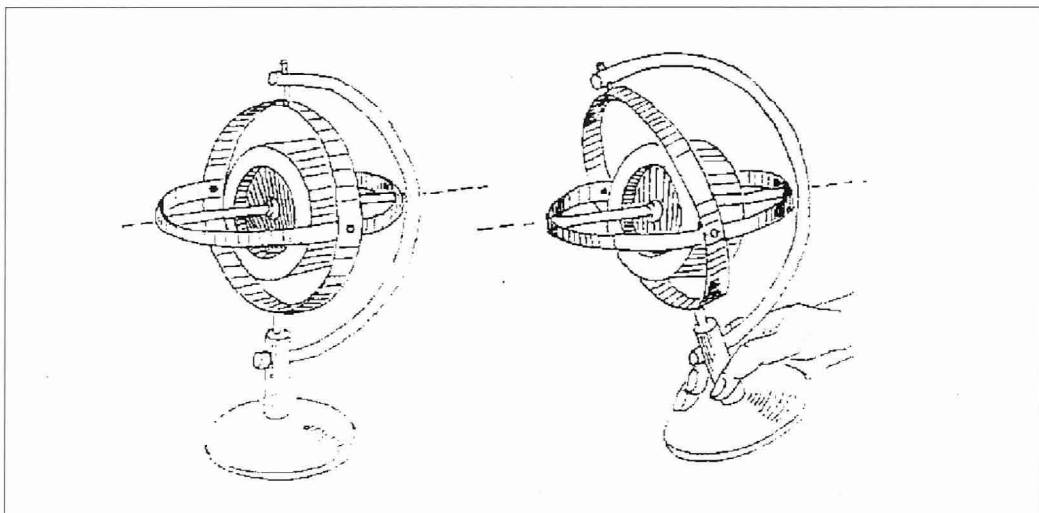
를 두고 있다. 자이로의 각 운동량(Angular Momentum)은 로터 회전축 주위의 관성 모멘트(I)와 로터의 회전 각속도(ω)의 내적으로 표현할 수 있다.

$$\vec{H} = \vec{I} \cdot \vec{\omega}$$

항공기, 미사일, 함정 항법장치에 필수적인 자이로의 하나인 레이저 자이로스코프



자이로의 강직성



• 자이로의 강직성

강직성은 우주 공간에 대해 일정한 방향을 유지하려고 하는 성질로 뉴턴의 제1법칙인 관성력을 이용한 한 형태라고 할 수 있다. 강직성은 자체 회전축의 방향을 변화시키려는 외력에 대항하여 자이로의 지지대를 기울여도 자이로의 축을 원위치로 유지하게 하는 성질이다. 이 성질은 3개의 변수인 로터의 질량, 반경, 회전속도에 좌우된다.

강직성을 이용하여 만든 자이로를 3축 자이로 혹은 Free Mounted Gyro라 하며 3축 자이로는 항공기 계기에서 자세기준, 방향기준을 설정하는데 이용된다. 위의 그림은 자이로의 강직성을 보여주고 있다.

• 자이로의 선행성

선행성은 회전체에 외력을 가하면 임의의 90° 방향으로 움직이는 성질이다. 회전하는 회전체에 힘을 가해서 자이로를 경사시키려고 하면 자이로는 경사되지 않고 다른축에 대해 회전하고 어떤 축에 대해 회전시키려고 하면 자이로는 경

사지게 된다.

선행성은 3개의 인자인 적용된 힘의 방향과 세기, 로터의 관성 모멘트, 로터의 각속도에 의존한다.

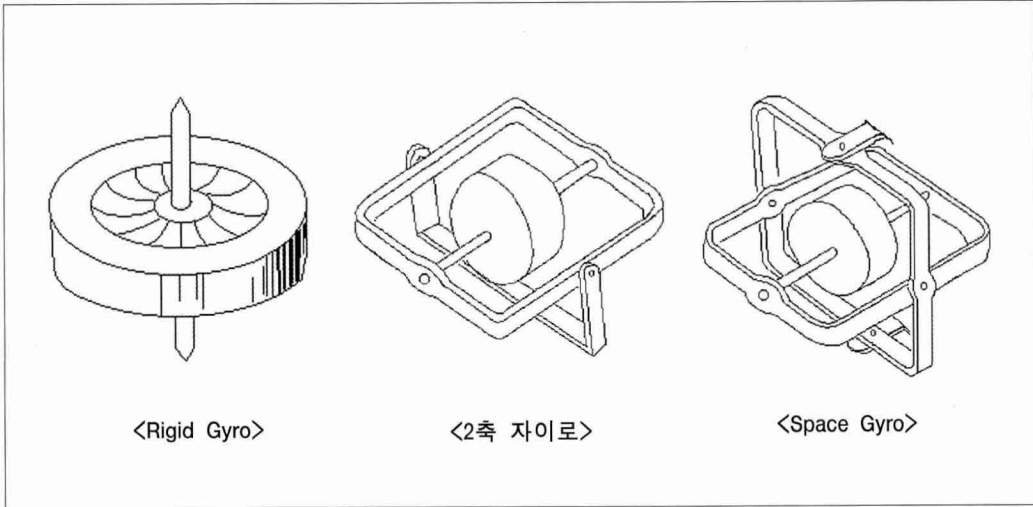
선행성을 이용하여 만든 자이로를 2축 자이로 혹은 Fixed Mounted Gyro라 한다. 항공기가 선회할 때 발생하는 외력이 회전하는 자이로에 가해지며, 회전체는 선행성에 의해 상하 혹은 좌우로 움직이게 된다. 이런 이유로 2축 자이로는 선회율, 피치율, Roll률과 같은 변환율을 측정하는데 사용된다.

• 자이로의 종류

자이로의 종류는 p.49 위의 그림에서 보는 것처럼 3종류의 형태가 이용된다.

Rigid Gyro는 로터와 그 회전축으로만 구성된다. 2축 자이로인 Rate Gyro는 1개의 짐벌로 구성되며 3축 자이로인 Space Gyro는 2개의 짐벌로 구성된다. 3축 자이로는 로터의 회전축 방향에 따라 Horizontal Space Gyro, Vertical Space Gyro라고 부른다.

자이로의 종류



• 선행 방향 결정

Rigid Gyro만을 고려할 때 외력의 방향에 따라 회전체가 취하는 방향은 임의의 90° 방향으로 움직이게 되는데 이론적인 방법으로 그 방향을 결정할 수 있으나 쉽게 왼손 법칙으로 그 방향을 결정할 수 있다.

2축 및 3축 자이로의 선행성 방향을 결정하기 위해서는 다음의 이론적인 이해가 필요하다.

회전 운동에서의 Newton 법칙은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$T = I\alpha$$

T : 힘의 능률(Torque)

I : 로터축 주위의 관성모멘트($kg\ m^2$)

α : 각 가속도

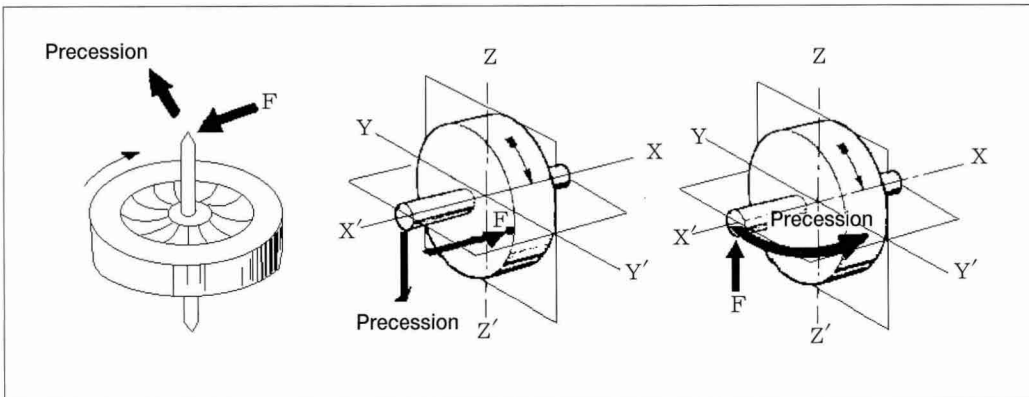
여기서 힘의 능률(T)은 어떤 축 주위로 그 물체에 각가속도를 줄 수 있는 능력을 뜻하며 앞의 식은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$T = mr^2 \frac{F}{mr} = rF$$

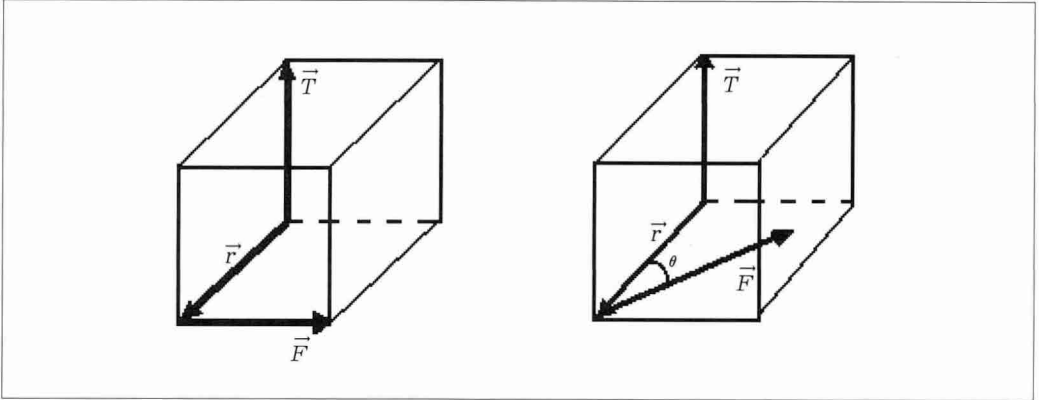
$$I = mr^2, \quad \alpha = \frac{a}{r} = \frac{F}{mr}$$

F : 접선방향인 회전반경 r 에 수직인 힘

선행방향 결정



힘과 힘의 능률사이의 벡터 관계



만약 F 가 r 과 θ 의 각을 이루고 있다면 F 의 r 에 수직인 성분 $F \sin \theta$ 만이 비틀림에 기여한다. 즉,

$$T = rF \sin \theta$$

만약 힘의 방향이 반대로 된다면 회전시키려는 능력도 반대 방향이 될 것이며, 이로 미루어 T 도 벡터적으로 취급하는 것이 간편하다. 즉,

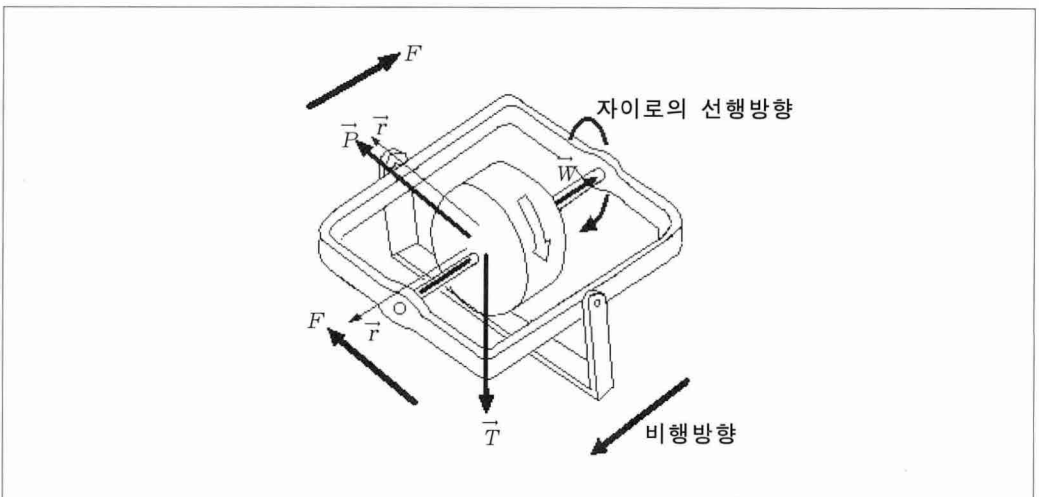
$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F}$$

이때 \vec{T} 의 방향은 회전 방향으로 오른손을 감싸 쥐었을 때 엄지손가락이 가르키는 방향이 된다.

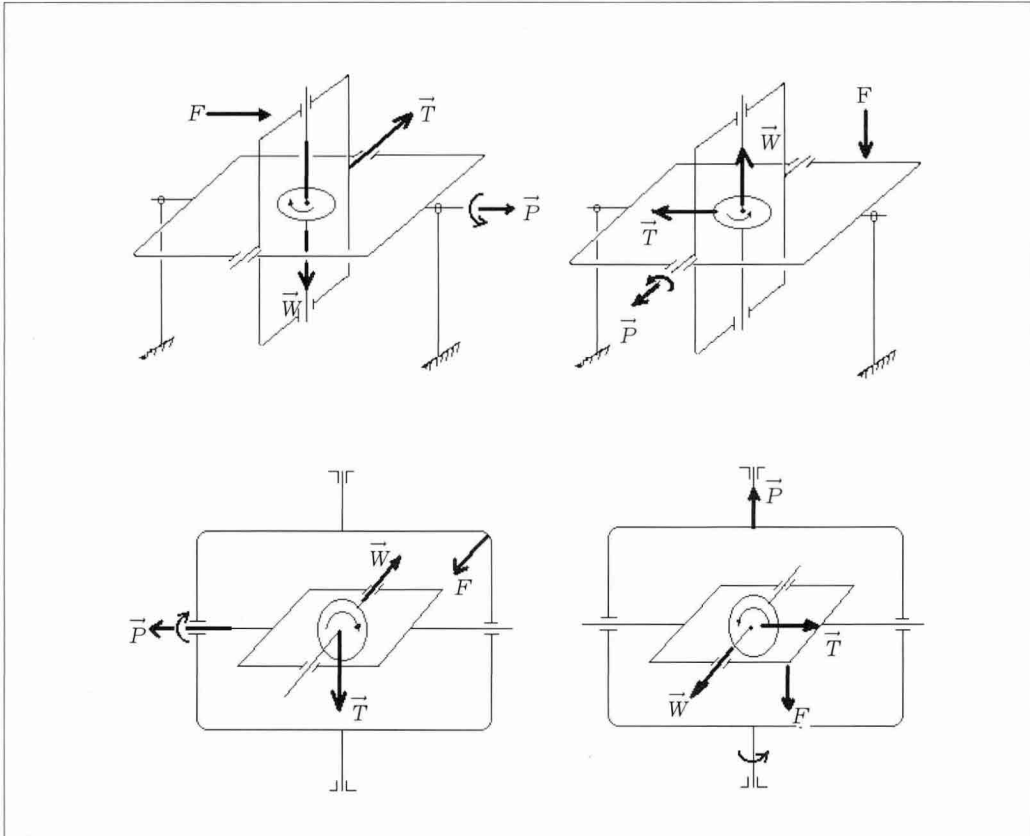
정육면체에 표현된 성질을 이용하면 자이로에 작용하는 힘의 방향 \vec{F} 에 관한 \vec{T} 의 방향을 결정할 수 있다.

각속도 벡터($\vec{\omega}$)의 방향은 로터가 회전하는 방향으로 오른손을 감싸 쥐었을 때 엄지 손가락이 가르키는 방향이다. 따라서 \vec{F} 의 방향에 의해 \vec{T} 의 방향이 결정되었으며 로터의 회전 방향에 의해 $\vec{\omega}$ 의 방향이 결정되었다. 그리고 선행방향 벡터(\vec{P})의 방향은 $\vec{\omega}$ 와 \vec{T} 의 방향으로 결정될 수 있다. 즉, 앞의 회전체의 운동법칙과 마찬가지로 $\vec{\omega}$ 와 \vec{T} 의 벡터적으로 표현할 수 있다.

2축 자이로의 선행방향 결정



3축 자이로의 선행방향 결정



$$\vec{P} = \vec{\omega} \times \vec{T}$$

이러한 이론적인 내용을 바탕으로 항공기가 우선회할 경우 2축 자이로의 Gimbal 선행방향은 다음과 같이 표시할 수 있다.

3축 자이로의 선행성 방향은 위의 그림과 같다. 2축 자이로와 마찬가지로 로터의 회전 방향과 힘의 방향에 따라 선행성 방향이 결정된다.

● 자이로의 편류(Gyro Drift)

자이로의 편류란 일정한 위치에서 회전하는 자이로 축으로부터 일어나는 선행성을 말하며, 겉보기 편류(Apparent Drift)와 기계적인 편류(Random Drift, Real Drift)로 구분된다.

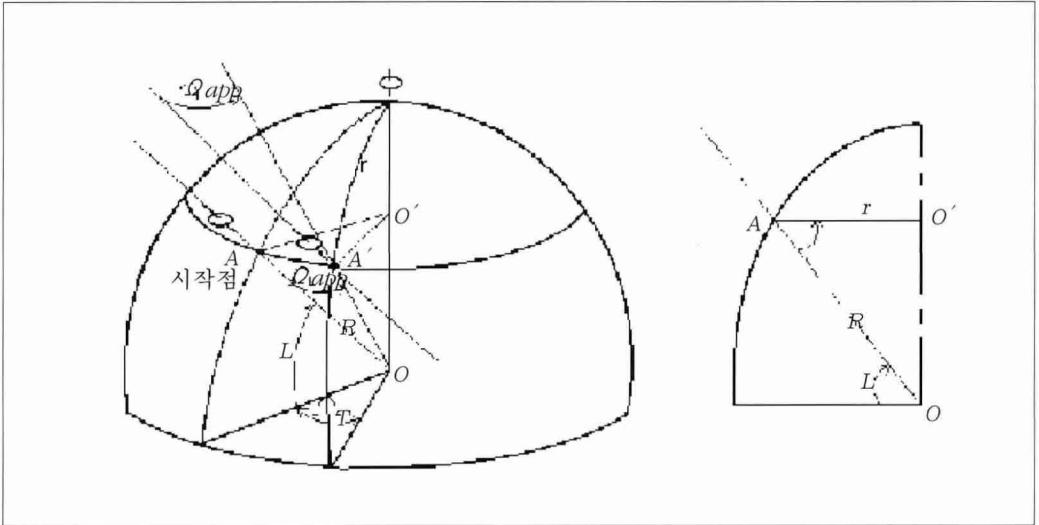
겉보기 편류는 1시간에 15°씩 변하는 지구의 자전으로 인하여 발생되기 때문에 자전에 의한 편류라 한다.

자이로는 강직성 때문에 공간에서 자이로의 축을 일정한 위치에 유지시키려고 한다.

지구의 자전으로 인하여 자이축은 편류되지만 지구의 자전은 일정하기 때문에 겉보기 편류는 예측될 수 있으며 직립 계통(Election System)에 의해 보상될 수 있다. 직립 계통은 자이로의 짐벌에 외력을 가하여 선행성을 일으키게 함으로써 일정한 위치를 유지하도록 한다.

기계적인 편류는 자이로의 불균형, 베어링 마찰, Gimbal의 불균형, 그리고 외력의 발생과 힘

수직 자이로의 위도에 따른 편류



의 변화에 의해서 발생된다. 기계적인 편류는 자이로에 작용하는 힘이 다양하게 변화하기 때문에 예측하기 어렵다.

• 수직 자이로의 겉보기 편류

$$2\pi r \cdot l = 2\pi \cdot \theta, \quad 2\pi l = 2\pi r \theta, \quad l = r\theta,$$

$$AA' = r\Omega_T \text{ 또는 } r = R \cos L$$

$$AA' = R \cos L \cdot \Omega_T \tag{1}$$

$$AA' = R \Omega_{app} \tag{2}$$

(1)식과 (2)식으로부터

$$R \cos L \cdot \Omega_T = R \cdot \Omega_{app}$$

$$\Omega_{app} = \Omega_T \cos L$$

앞의 식으로부터 위도 90°인 극지방에서의 지구자전에 따른 3축 수직 자이로의 선형성은 $\Omega_T \cos 90^\circ = 0$ 이므로 극지방에서는 변화가 없으며 적도 및 위도 30°, 60°에서의 수직자이로의 편류는 아래의 표와 같다.

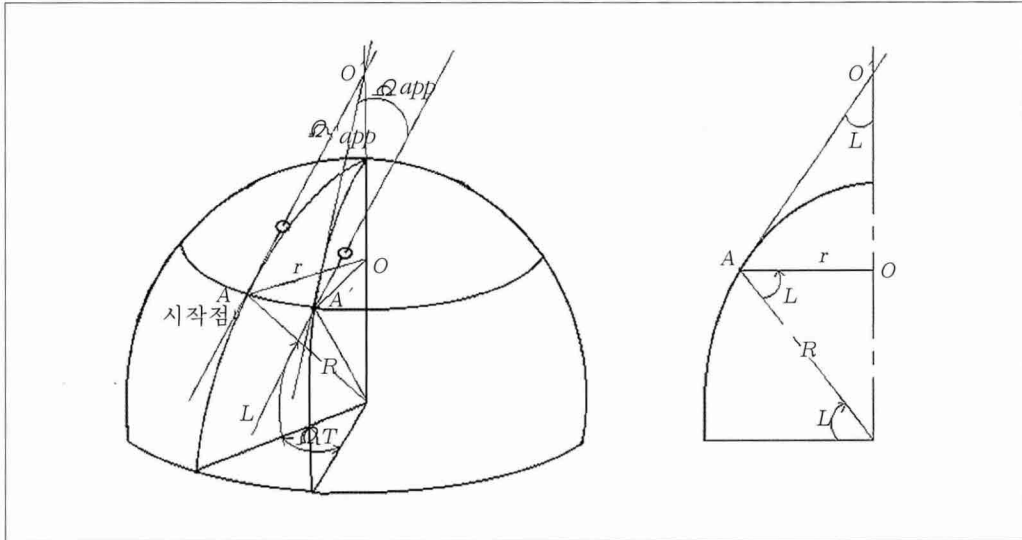
• 수평 자이로의 겉보기 편류

수평자이로는 수직자이로와 마찬가지로 위도에 따라 편류되는 정도가 다르며 극지방에서는 지구의 자전에 따라 1시간에 15°씩 편류되지만 적도에서는 편류의 영향이 없다. 시간에 따른 선행각(Precession Angle) Ω_{app} 와 지구의 시간

수직 자이로의 위도에 따른 편류

시간 \ 위도	0시간	1시간	6시간	12시간	24시간
극지방	0	0	0	0	0
60°	0	7.5°	45°	90°	180°
30°	0	7.5√3°	27.5√3°	45√3°	90√3°
적도	0	15°	90°	180°	360°

수평 자이로의 위도의 따른 편류



에 따른 회전각 Ω_T 사이의 관계는 다음과 같다.

$$\cos L = \frac{r}{R}, \quad r = R \cdot \cos L$$

$$\Omega_{app} = \Omega_T \sin L$$

$$\sin L = \frac{r}{AO'}, \quad AO' = \frac{r}{\sin L} = \frac{R \cdot \cos L}{\sin L}$$

$$AA' = r\Omega_T = AO' \Omega_{app}$$

여기서 r 대신에 $R \cos L$, AO' 대신에

$\frac{R \cos L}{\sin L}$ 을 대입

$$\Omega_T R \cdot \cos L = \frac{R \cdot \cos L}{\sin L} \Omega_{app}$$

수평 자이로의 위도에 따른 편류

시 간 \ 위 도	0시간	1시간	6시간	12시간	24시간
극 지방	0	15°	90°	180°	360°
60°	0	7.5√3°	27.5√3°	45√3°	90√3°
30°	0	7.5°	45°	90°	180°
적 도	0	0	0	0	0

위도에 따른 수평자이로의 편류는 아래 표와 같다.

지금까지 자이로의 기능 및 성질에 대해서 알아보았으며 위도에 따른 자이로의 편류에 대해서도 고찰해 보았다. 자이로의 편류를 보상해 주기위한 자이로의 직립시스템과 자이로의 구동 방식, 자이로를 적용한 장비 및 계기에 대해서는 다음호에서 알아보겠다.

(다음호에 계속)