



# 항 법 시 스 템 ( I )

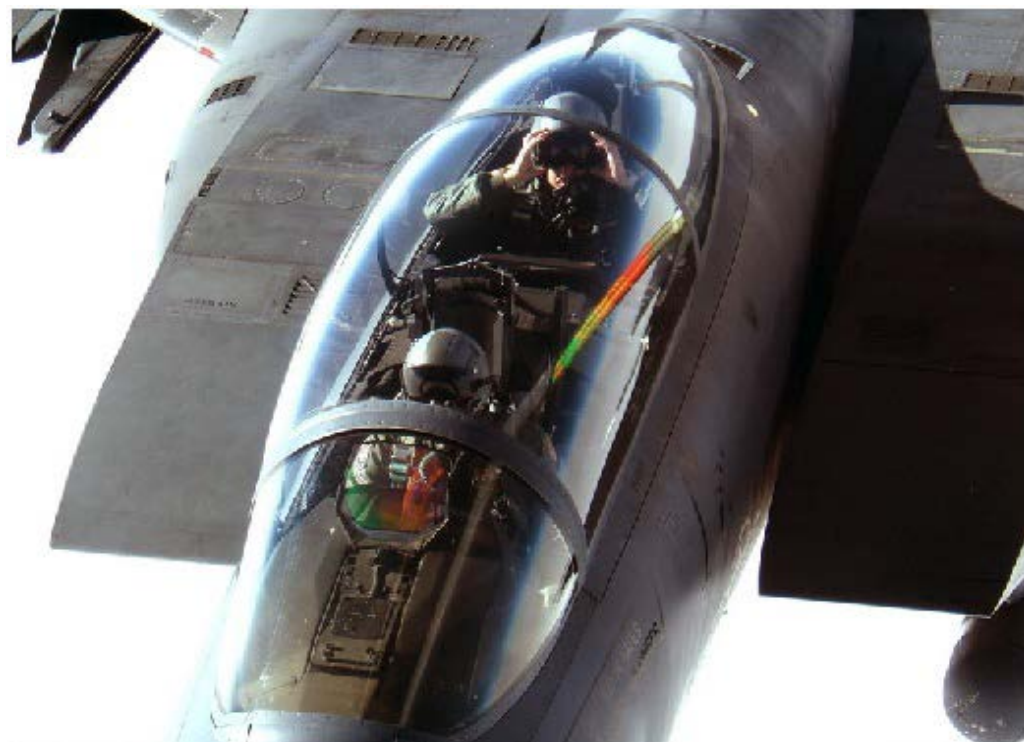
2018. 2학기

아주대학교 국방디지털융합학과

# 목 차

---

1. 항 법
2. 전자항법
3. 비행관리 시스템
4. 항행 보조 시스템



---

# 01. 항 법

# 1. 항법

---

## 학습목표

1. 공군인으로서 항법에 대한 개념을 이해한다.
2. 전자항법의 종류와 공군에서 운용중인 장비 이해
3. 비행관리 및 항행보조 시스템(=항행안전시설) 이해

# 1. 항법



# 1. 항법

## □ 항법의 정의

- ✓ 이동하는 물체가 임의의 어느 한 지점에서 다른 지점으로 이동하는 경우 **현재 위치, 이동거리 및 방위 등 그 이동체의 진로에 대한 정보를 제공하는 기술**

## ✓ Navigation 어원

- 라틴어 'Navigere'  
= Navis (배) + agere (움직이다)



# 1. 항법

---

- 항법의 종류

지문항법(Pilotage Nav.)

추측항법(Dead Reckoning Nav.)

천측항법(Celestial Nav.)

전자항법(Electronic Nav.)



# 1. 항법

# 지문항법 (Pilotage Nav.)

- ❑ 잘 알려진 지형이나 지물을 직접보고 지도와 대조하여 항행하는 항법

## 00세대 활주로 (비행훈련)





# 1. 항법

---

## 추측항법(Dead Reckoning Nav.)

- ❖ 해상이나 사막 등 참조할 수 있는 지상 목표물이 없는 경우 사용하는 항법 방식
- ❖ 나침반이나, 속도계, 편류 측정 기구 등 계기를 이용
- ❖ 지도상의 출발지와 도착지를 연결한 선으로 비행 경로와 거리를 계산한 후, 비행 시간을 고려하여 위치를 대략적으로 결정

# 1. 항법

---

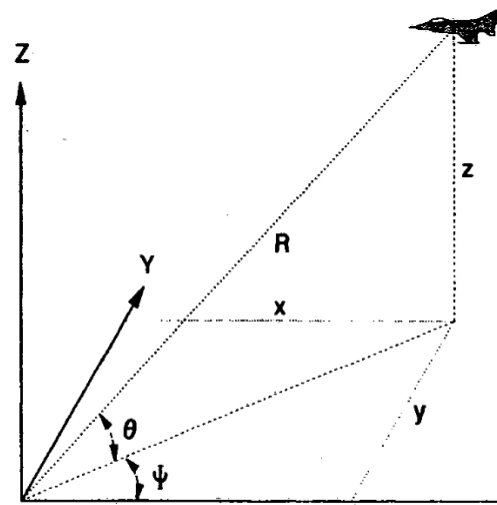
## 천측항법(Celestial Nav.)

- ❖ 지문항법이나 추측항법이 불가능할 경우 천체를 이용, 항공기의 위치를 계산 후 비행하는 방식
- ❖ 2차 세계대전('39.9독일의 폴란드 침공~'41.12~'45.5.독/'45,8.일) 까지 대양항해에는 천측항법에 의해 주로 시행
- ❖ 악천 후, 짙은 안개나 비, 구름 속에서는 시야가 제한되어 이용할 수 없음

# 1. 항법

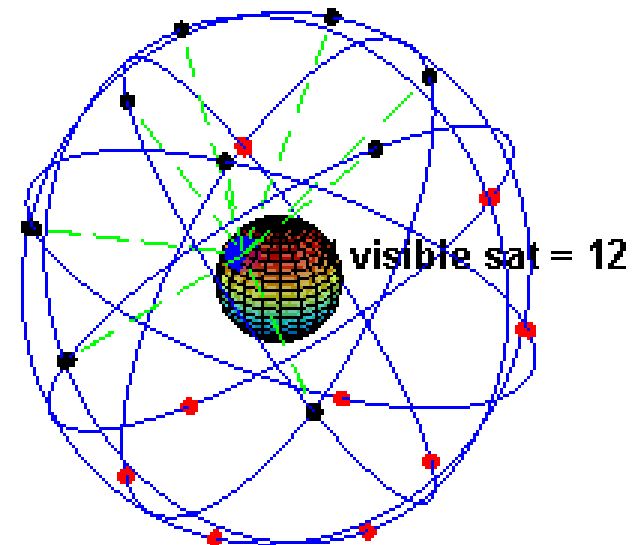
## 전자항법(Electronic Nav.)

➡ 전파항법(VOR, DME, TACAN)



측정값 : 방위각, 거리

➡ 위성항법(GPS)



---

## 02. 전자 항법

## 2. 전자 항법

### □ 전자항법(Electronic Navigation)의 종류

#### 전파항법

- 자동방향 탐지기 (Automatic Direction Finder) / NDB
- VOR (VHF Omni-directional Range)
- DME (Distance Measuring Equipment)
- TACAN (TACtical Air Navigation)
- LORAN(LOng RAnge Navigation)

#### 자립항법

- 관성항법 시스템 (Inertial Navigation System)

#### 위성항법

- GPS (Global Positioning System)
- GNSS (Global Navigation Satellite System)
- GALILEO(유럽연합), 北斗(중국) 등

#### 통합항법

- FANS(Future Air Navigation System)

## 2. 전자 항법(전파항법)

---

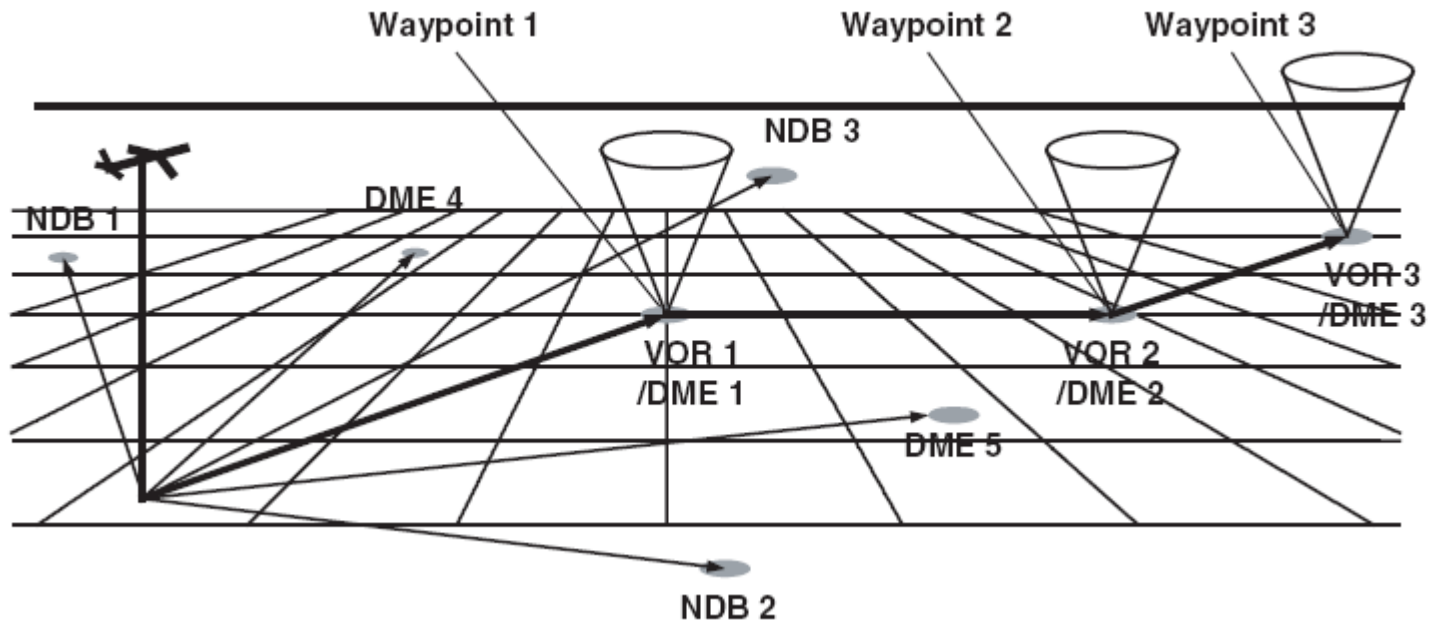
### I) 전파항법 시스템 (Radio Navigation Sys)

- ✓ 지상에 설치된 장비(VOR, DME, NDB, TACAN, LORAN-C)에서 발생한 전자파를 이용하여 **이동체의 위치 및 방향** 등을 파악하는 체계
- ✓ 장 점 : 전자파를 활용함으로 상당히 높은 정확도를 기대할 수 있음
- ✓ 단 점
  - 지상에 설치된 장비에 의존하므로 내륙에서만 유용함 (LORAN-C는 예외)
  - 높은 주파수로 인해 신호의 도달거리가 짧으며(**line-of-sight**), 각종 기후 및 지표면의 차폐효과에 의해 영향을 받을 수 있음



## 2. 전자 항법(전파항법)

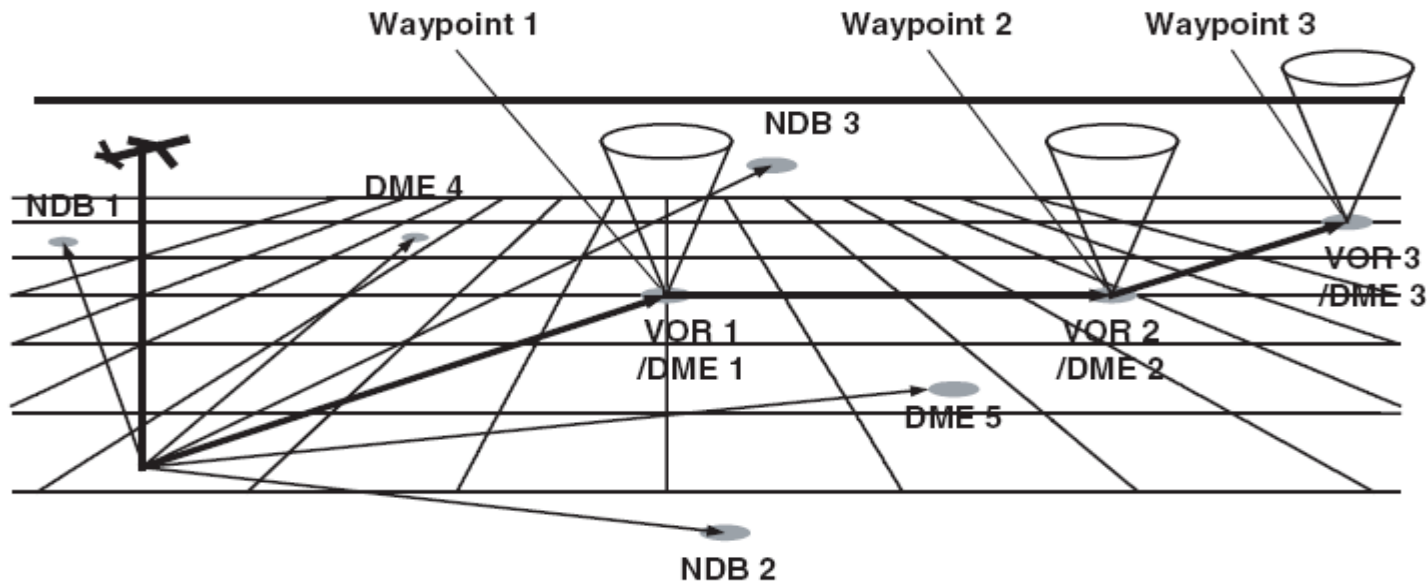
### □ 운영사례(지상의 NDB, VOR/DME이용)



- ✓ VOR/DME 1, 2, 3를 이용하여 항공기 비행경로(waypoint) 1, 2, 3 생성
  - 정상 동작시, 각 waypoint에 대한 비교적 **정확한 방위와 거리** 제공

## 2. 전자 항법(전파항법)

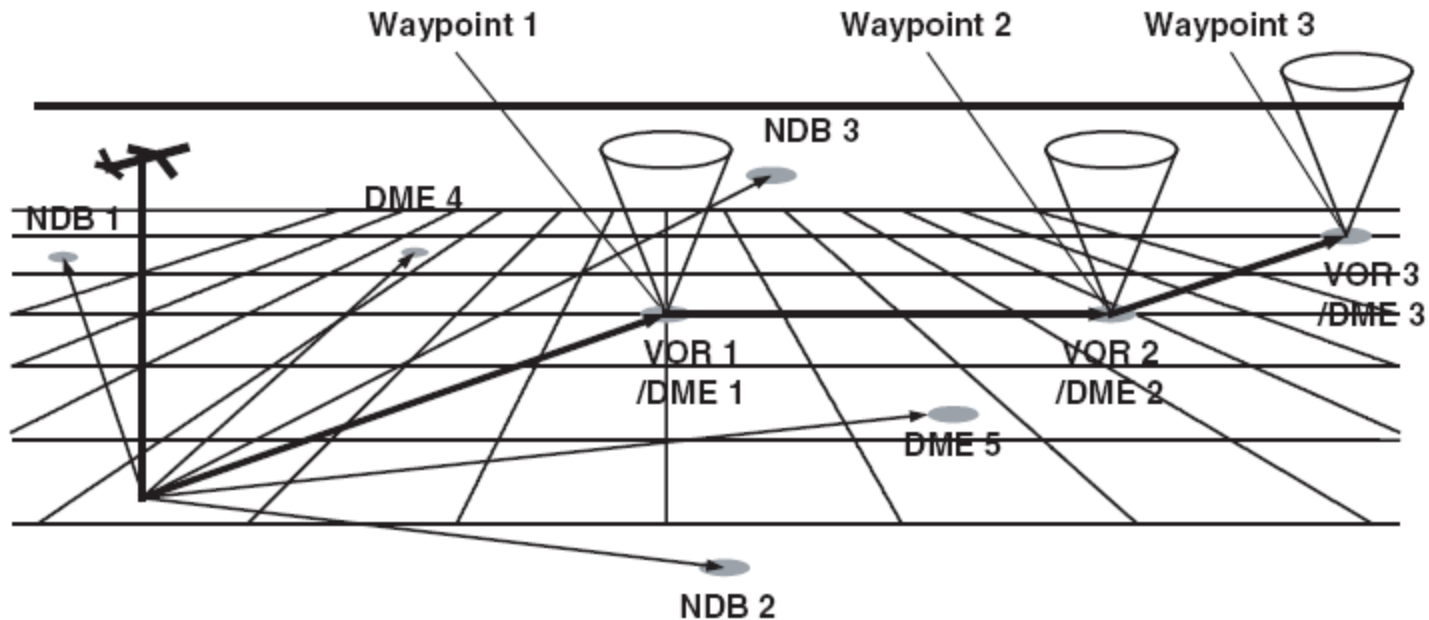
### □ 운영사례(계속)



- ✓ DME 4, DME 5의 거리환(range circle)이 교차하는 지점(fix)을 이용한 항공기 위치 파악

## 2. 전자 항법(전파항법)

### □ 운영사례(계속)



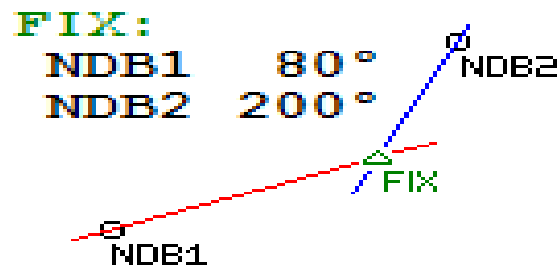
- ✓ NDB 1, NDB 2, NDB 3의 방위 정보를 이용한 항공기 위치 파악

## 2. 전자 항법(전파항법)

### I) 전파항법 시스템 (Radio Navigation Sys.)

#### 1) 자동방향 탐지기 (Automatic Direction Finder, ADF)

- 항공기에서 수신된 전자파의 도래방향을 파악
- 항공기의 기체축을 기준으로 항공기와 선택한 전파 송신 지상국과의 상대방위를 찾음
- 두 개 이상의 NDB 국을 이용하여 항공기 위치(fix) 파악 가능



- ADF는 지상의 NDB 국과 항공기의 자동방향 탐지기로 구성되어 있음

## 2. 전자 항법(전파항법)

### 1) 자동방향 탐지기 (Automatic Direction Finder)(계속)

- NDB국 (Non-directional radio beacon)
  - 항공기의 자동방향 탐지기에 신호를 제공, **LF ~ MF 대역** 주파수 사용 (**호밍=자동추적**)
  - 지상에 설치된 안테나로부터 **360도 전 방향으로 전파 송신**
  - 각 NDB국 식별을 위해 **모르스 부호로 코드화된 3문자 식별 부호 전송**
  - **30초간 1,020Hz연속음,**
  - **국을 나타내는 부호3회**

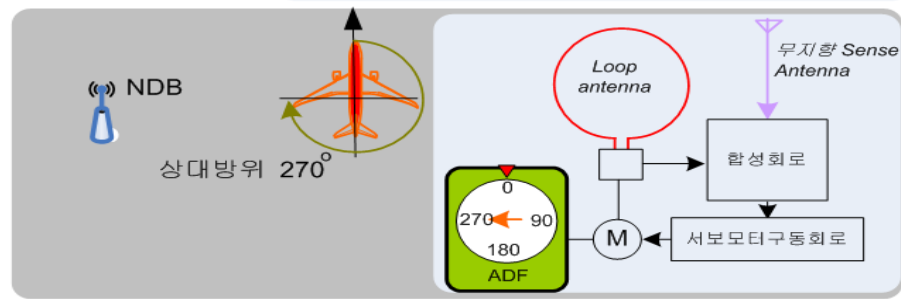
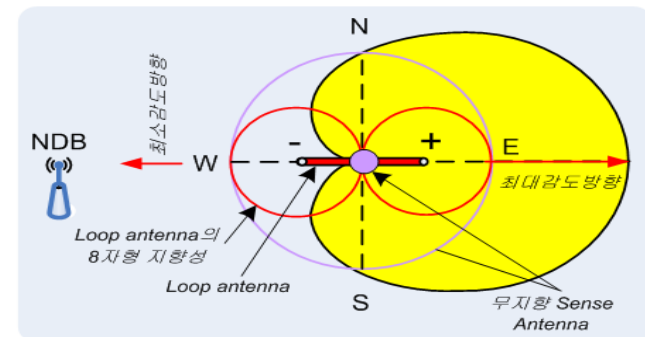
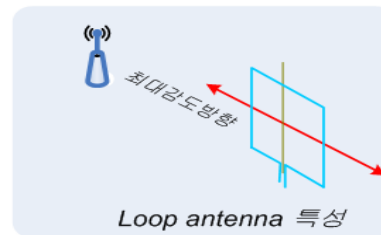


## 2. 전자 항법(전파항법)

### 1) 자동방향 탐지기 (Automatic Direction Finder)(계속)

#### ➤ 항공기 방향 탐지기

- 루프 안테나를 이용하여 방위에 따른 전위차를 이용하여  
방위 계산





## 2. 전자 항법(전파항법)

### 1) 자동방향 탐지기 (Automatic Direction Finder) (계속)

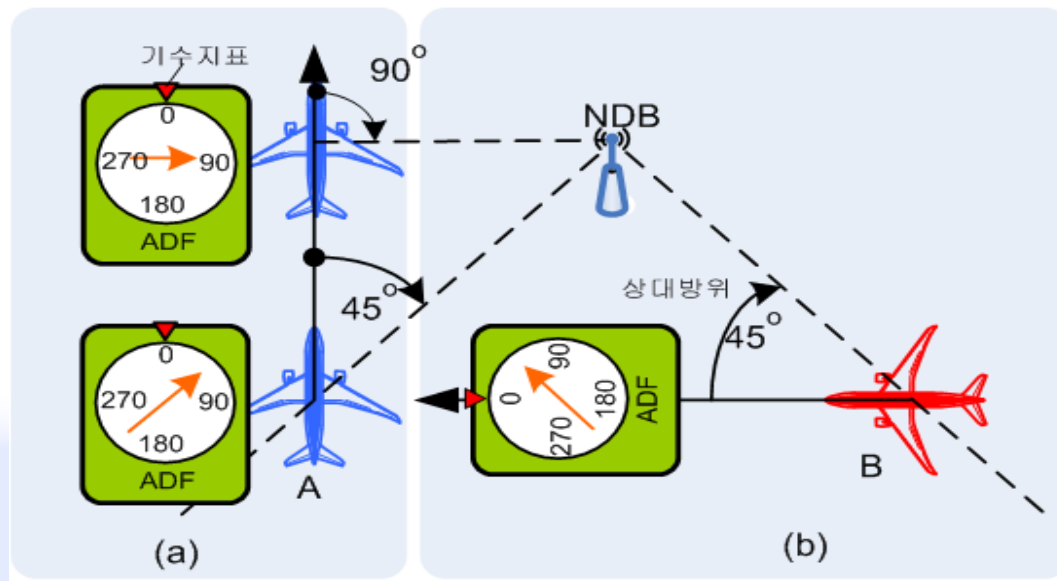
- 항공기 방향 탐지기와 자기 컴퍼스(Magnetic Compass)를 조합한 전자항법계기로서 항공기의 기수와 항법무선을 수신하는 무선국과의 상대적인 방향제공
  - Radio magnetic indicator를 이용하여 방향 표시



## 2. 전자 항법(전파항법)

### 1) 자동방향 탐지기 (Automatic Direction Finder) (계속)

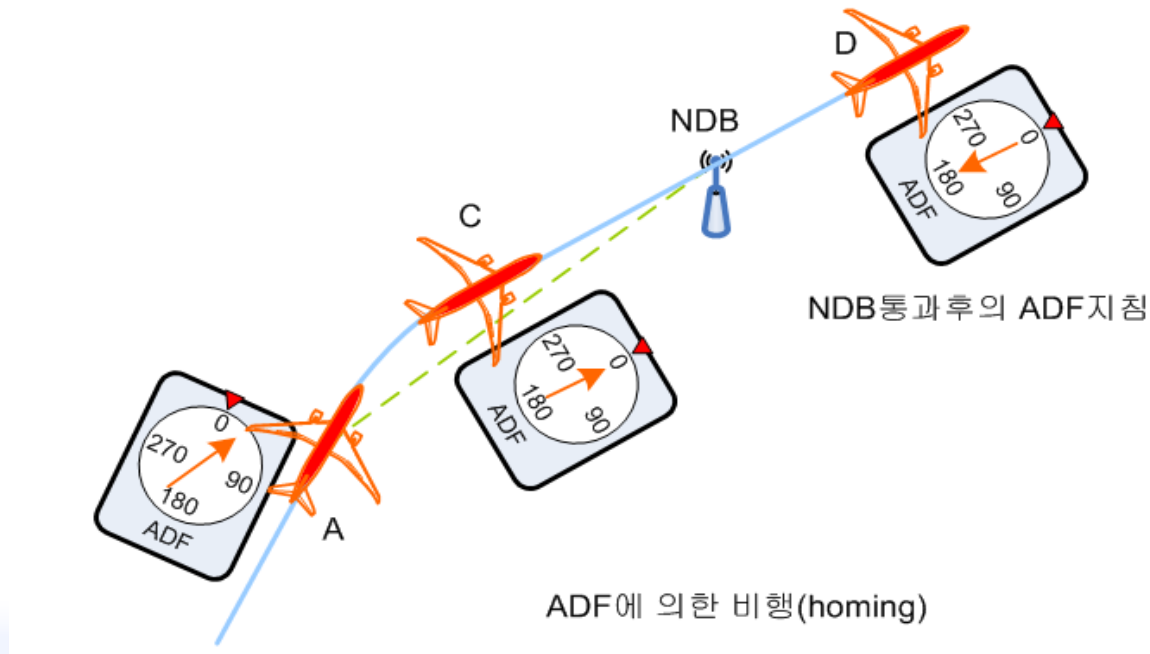
- ADF 장점 : 가시선(LOS)의 영향을 받지 않음(190k~1.75MHz)
- ADF 단점 : 지상파 및 공간파를 사용함으로 인해 전리층, 대기, 지표면에 쉽게 영향을 받을 수 있으며, 항공기의 기수 방향에 대한 상대값 제시 (정확한 위치정보가 아닌 항공기의 진행방향에 대한 NDB의 방향 제시)



## 2. 전자 항법(전파항법)

### 1) 자동방향 탐지기 (Automatic Direction Finder) (계속)

➤ 동작 (예)



## 2. 전자 항법(전파항법)

### 2) VOR (VHF Omni-directional Range)

- VHF 대역(108~117.95MHz)의 전자파를 이용하여 **VOR 기지국에 대한 항공기의 방위 파악**
- ADF와 달리 **기수방위에 무관하고 더 높은 정밀도를 가짐**
- VOR 지상 기지국
  - 항공기의 VOR 수신기에 신호를 제공
  - 지상국은 **기준신호와 가변신호를 동시에 전송**, 항공기에서는 두 신호의 위상차를 이용하여 항공기의 방위를 파악

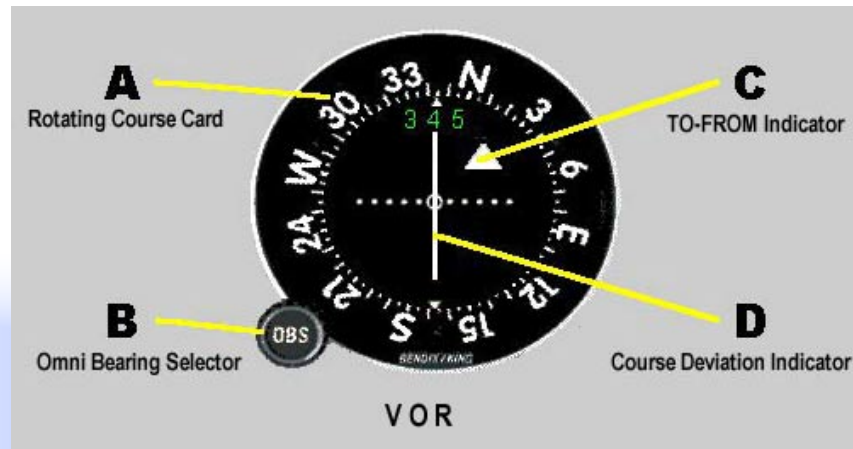


## 2. 전자 항법(전파항법)

### 2) VOR (VHF Omni-directional Range) (계속)

#### ➤ 항공기 VOR 수신기

- 수신기 및 지시계로 이루어져 있음
- 수신기는 기지국으로부터의 신호를 복조 및 주파수변별을 통해 기준 신호와 가변 신호의 위상차를 계산
- 지시계는 수신기로부터의 위상차 정보를 이용하여 VOR 기준 항공기의 방위를 표시



## 2. 전자 항법(전파항법)

### 2) VOR (VHF Omni-directional Range) (계속)

#### ➤ 항공기 VOR 지시계 구성

- **OBS**(omni bearing selector) : 조종사가 비행하고자 하는 항로(course)방위각을 설정하는데 사용. OBS 손잡이를 돌려 원판을 회전시켜 원하는 항로의 방위각을 설정.
- **CDI** (course deviation indicator) : CDI 는 조종사가 선택한 항로에 대한 좌우 이격정도를 지시.
- **TO-FROM 지시계** : 플래그(다중 지시계)라고 하며, **TO**로 표시되면 항공기는 VOR국이 항로상의 앞에 있음을 의미, **FROM**은 VOR국으로부터 멀어짐을 의미. **OFF**로 표기되는 경우에는 VOR국의 전파를 수신하지 못하는 상태 혹은 항공기가 VOR국을 막 지나가는 상태



## 2. 전자 항법(전파항법)

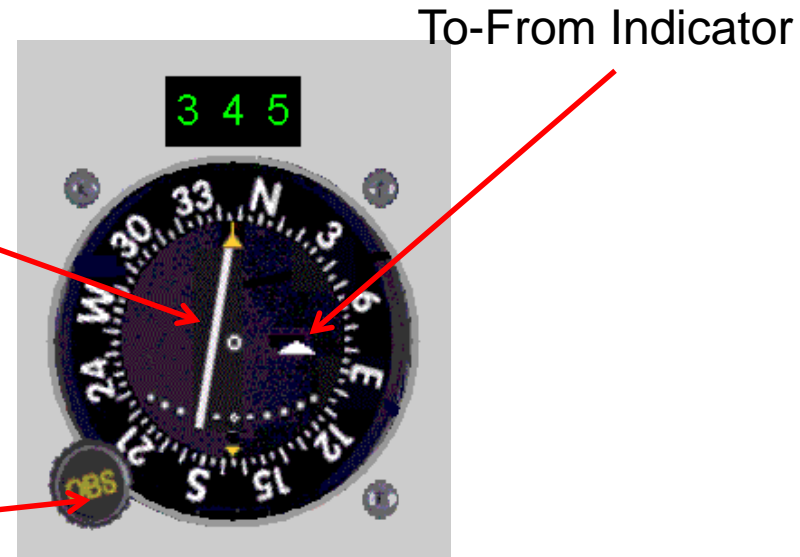
### 2) VOR (VHF Omni-directional Range) (계속)

- 항공기 VOR 지시계 사용법



Course  
Deviation  
Indicator

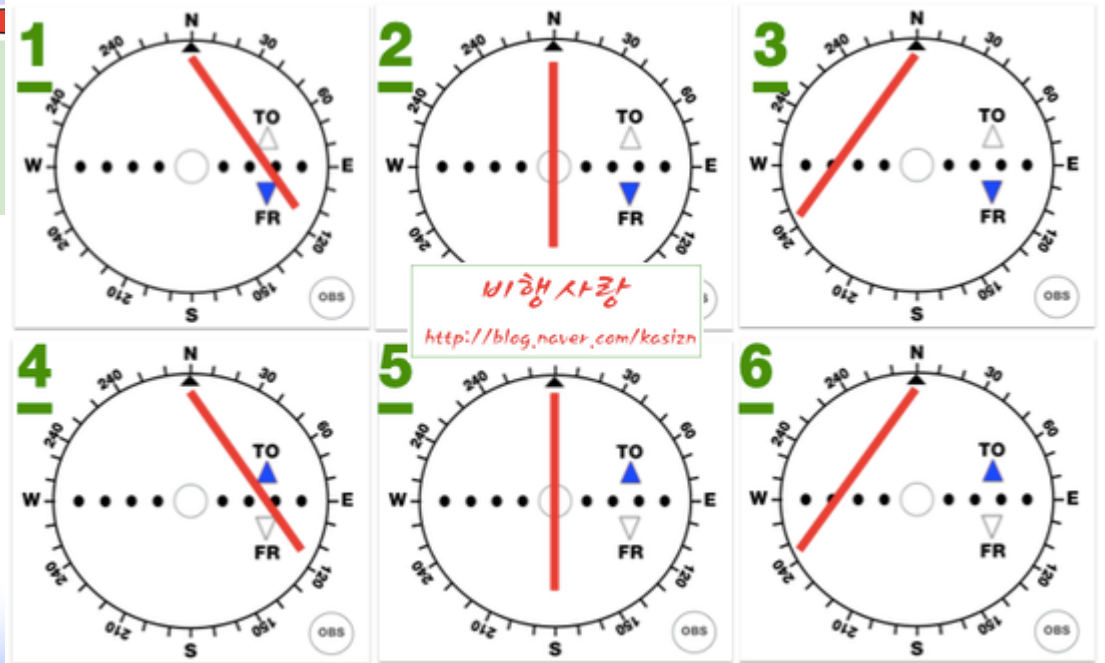
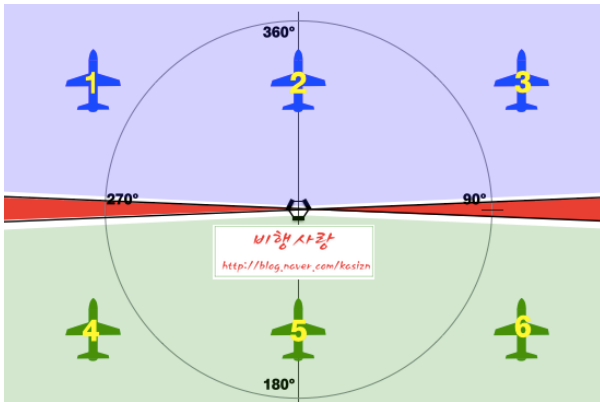
Omni  
Bearing  
Selector



## 2. 전자 항법(전파항법)

### 2) VOR (VHF Omni-directional Range) (계속)

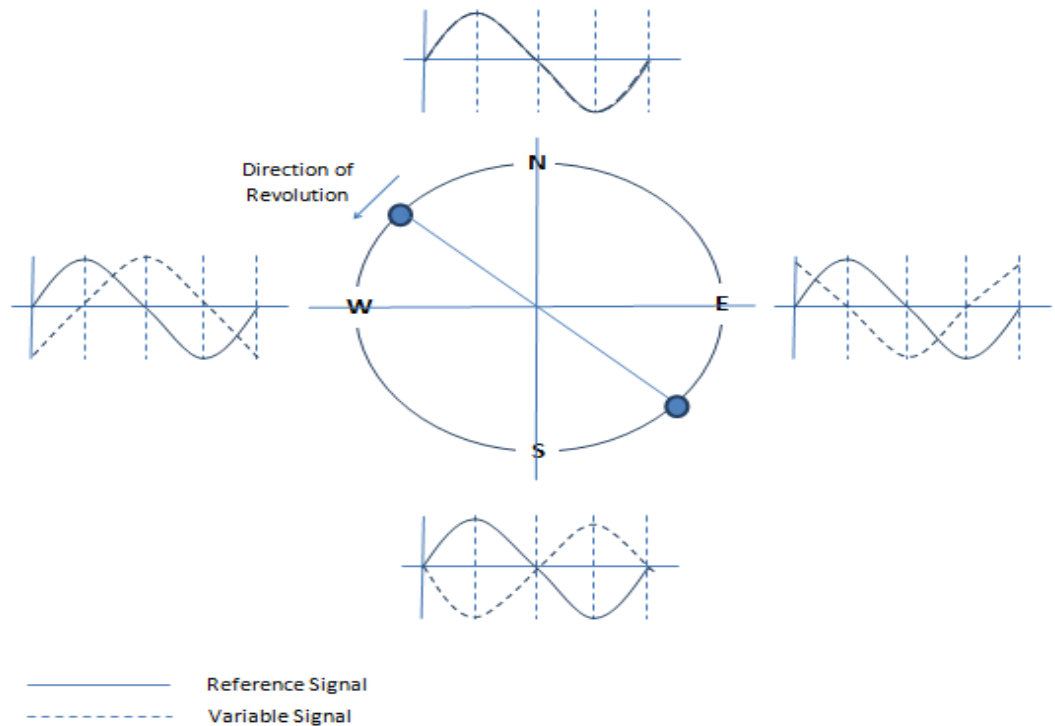
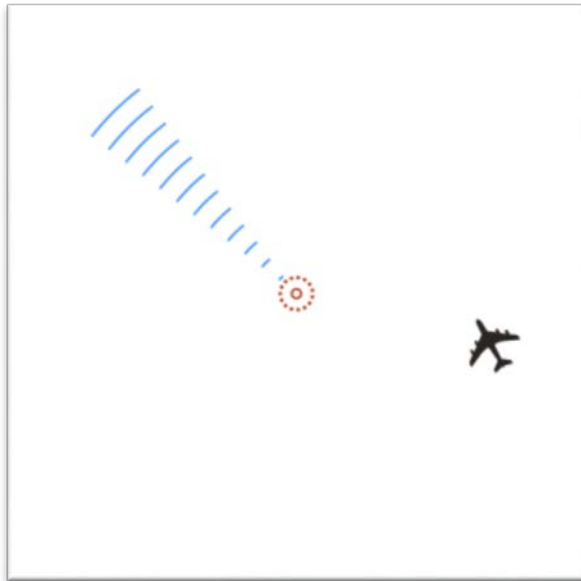
➤ 항공기 VOR 지시계 사용방법



## 2. 전자 항법(전파항법)

### 2) VOR (VHF Omni-directional Range) (계속)

#### ➤ VOR 세부 동작원리



## 2. 전자 항법(전파항법)

### 2) VOR (VHF Omni-directional Range) (계속)

#### ➤ VOR 세부 동작원리

- VOR은 국에서 전방향 동일위상을 갖는 주파수 변조(FM)된 30Hz의 **기준위상신호(Reference phase signal)**를 9,960Hz 반송파에 실어 보내며,
- 방위가 변화되면서 **위상이 늦어지는 또 다른 30Hz의 신호 (Variable phase signal)**를 VHF 대역의 반송파를 이용하여 송신
- 항공기는 이 두 신호를 동시에 수신하여 두 신호의 **위상차를 측정**하여 자북으로 부터의 방위를 나타나게 하는 원리 .

## 2. 전자 항법(전파항법)

---

### 2) VOR (VHF Omni-directional Range) (계속)

#### ➤ VOR 세부 동작원리

- VOR국에서 송신된 전파를 항공기상의 VOR 수신기가 수신하여 검파하게 되는데 기준신호와 가변위상신호를 얻게 되고,
- 이 두 신호의 위상차를 구할 수 있게 되며 이를 통해 VOR국에 대한 방위를 계기에 나타나게 함
- 즉, 두 개의 signal은 자북방위(base line)에서만 위상이 같고 다른 전방향에서는 위상이 달라져서 항공기의 VOR수신기는 이 위상차를 자동적으로 산출하여 방위(Radial)로 계기에 나타나게 만든 것

## 2. 전자 항법(전파항법)

---

### 2) VOR (VHF Omni-directional Range) (계속)

#### ➤ VOR 장점

- 공간파나 지상파 등을 이용하지 않으므로 전파가 전리층이나 대기권, 지표면에 의한 영향을 적게 받음.
- 항공기의 기수 방향에 대한 의존성이 없음

#### ➤ VOR 단점

- 가시선의 영향으로, 짧은 통신 거리로 인해 지상에 VOR 기지국이 많이 필요함

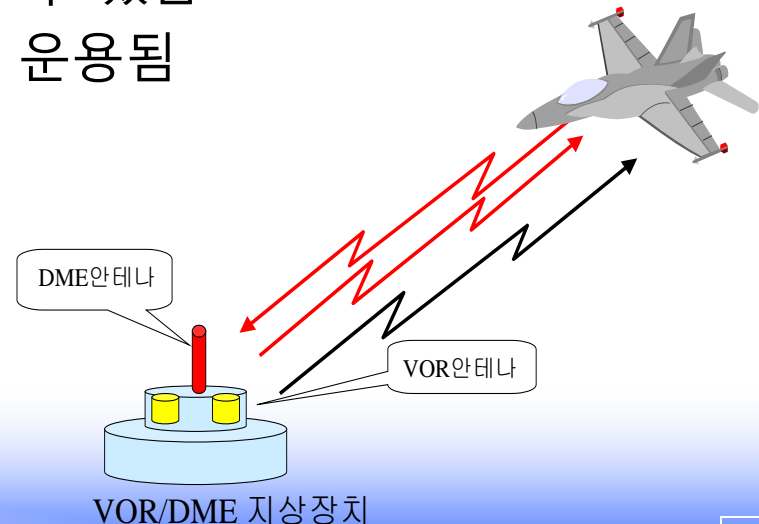
\* 유효거리 비교(ADF : VOR = 500 km : 370 km)



## 2. 전자 항법(전파항법)

### 3) DME (Distance Measuring Equipment)

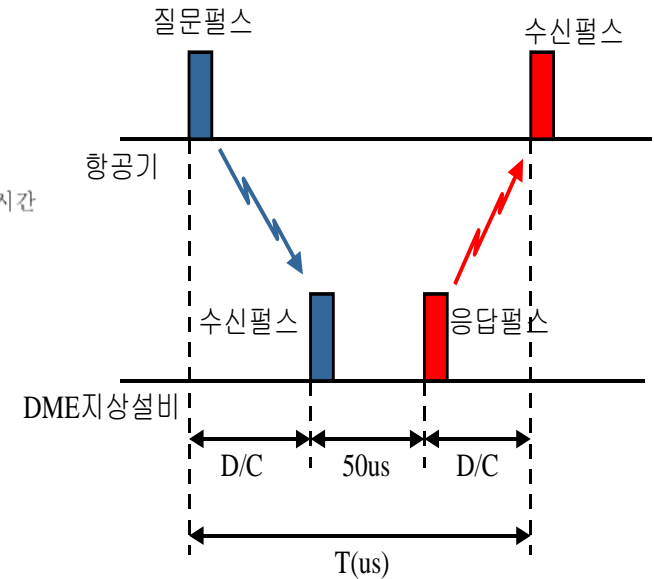
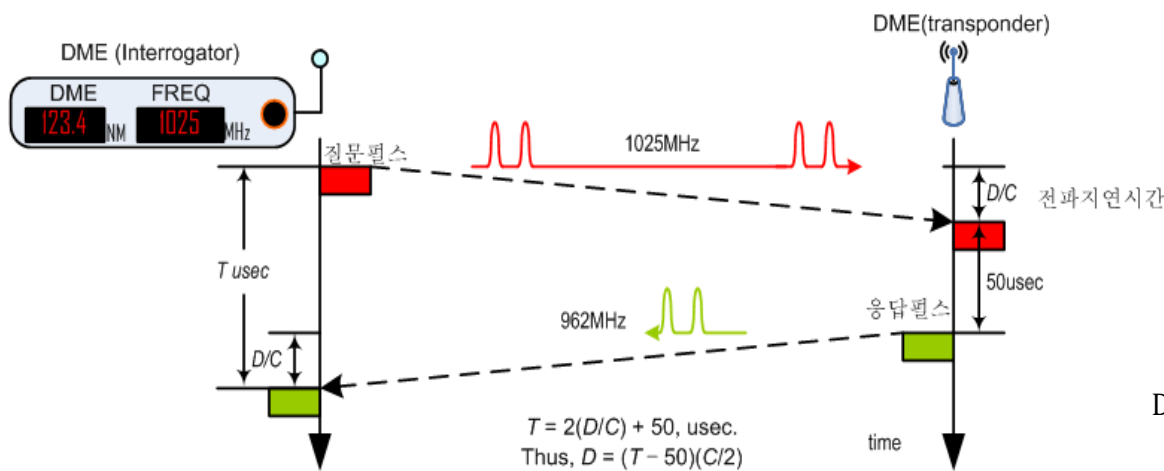
- 지상국과 항공기간의 거리를 파악하기 위한 장비
- 항공기의 DME 질문기와 지상 장치의 DME 응답기의 조합으로 작동
  - UHF 대역(1GHz대)의 전파에 의한 펄스 신호가 왕복하는 시간을 측정
  - 항공기측에서 DME 지상국까지의 **경사거리**를 측정
  - 최대 0.5 nm 오차가 발생할 수 있음
  - 보통 VOR과 같이 설치되어 운용됨



## 2. 전자 항법(전파항법)

### 3) DME (Distance Measuring Equipment) (계속)

#### ➤ DME 동작원리



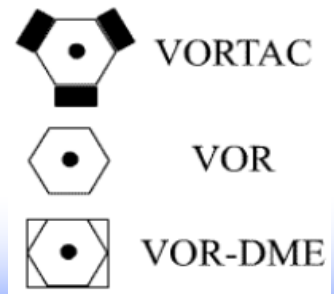
## 2. 전자 항법(전파항법)

### 4) TACAN (Tactical Air Navigation)

- 군용 항법 시스템, UHF 대역(1.2 GHz 대) 주파수 사용
- 지상 기지국으로부터의 **거리**와 **각도 정보** 제공

**(VOR/DME 보다 정밀)**

- ✓ 정확도 : Azimuth(1% 내), 거리(0.1nm 내)
- 특징 : 설치 용이하며 공간을 적게 차지, 암호화 통신
  - \* 필요한 장비 수를 줄이기 위해 VORTAC 운영
  - VORTAC(민군 공동사용 항공로에 설치) :  
VOR(방위) + TACAN(거리, 방위)



## 2. 전자 항법(전파항법)

---

### \* ADF / VOR / TACAN 비교(종합)

- A D F : 기수 방향에서 xx도 방향에 NDB국이 있다.
- V O R : 항공기는 VOR국에서 xx도 방향에 있다.
- TACAN : 항공기는 TACAN국에서 xx도 방향, xx 마일 지점에 있다.

## 2. 전자 항법(전파항법)

### 5) LORAN(Long Range Navigation, 장거리 전파항법장치)

- 100 KHz의 저주파 펄스를 이용하는 장거리 전파항법장치
- 미국MIT 최초개발, 1942년 미해군 이용, WW2후 실용화
- 동기화된 기지국 사이에 전파의 도달시간차 혹은 위상차를 측정하여 선박의 위치를 결정
- LORAN은 A-D까지 개발되었으나, 현재는 C방식을 사용함

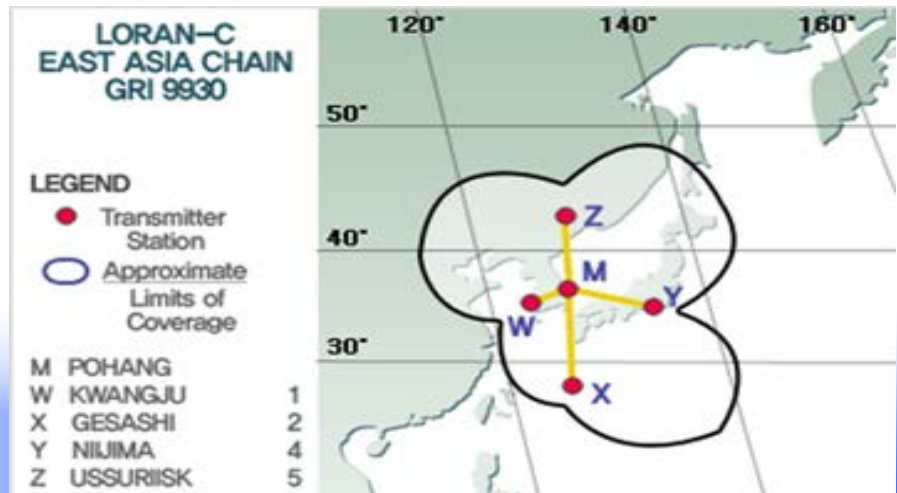
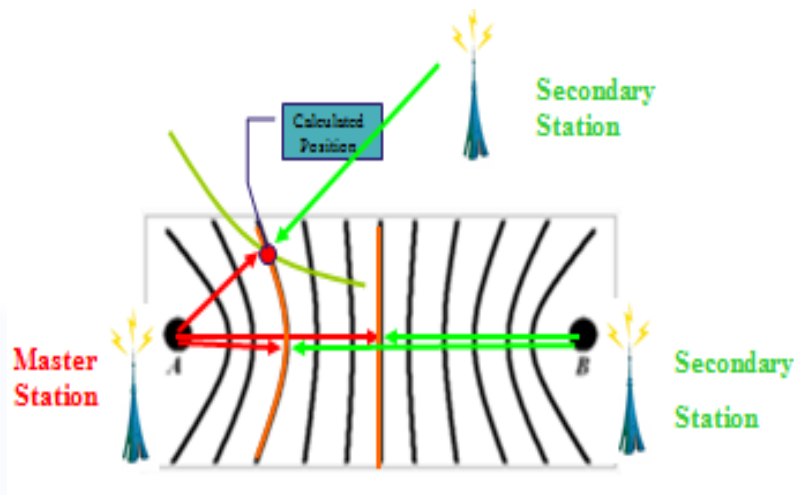
	측정방식	사용주파수	사용범위	개발연도
Loran-A	시간차	2MHz	600M	1942년, 항해용
Loran-B	시간차+위상차	2MHz	25M	시험후 폐기
Loran-C	시간차+위상차	100kHz	1,200M	1959년, 항해용
Loran-D	시간차+위상차	100kHz	500M	미해군용



## 2. 전자 항법(전파항법)

### 5) LORAN(Long Range Navigation, 장거리 전파항법장치) (계속)

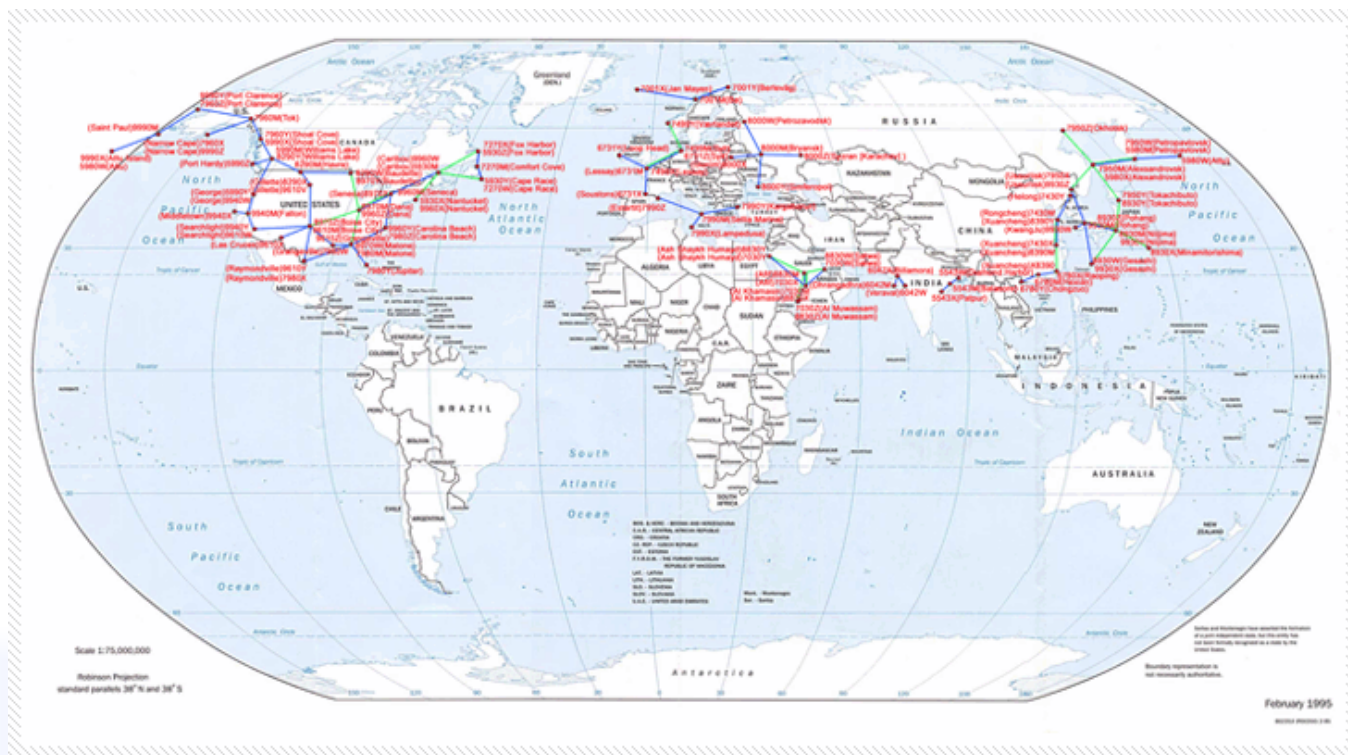
- Loran-C시스템은 하나의 주국(Master Station)과 다수의 종국(Secondary Station)으로 하는 최소 3개국 이상(보통 4개국)으로 하나의 체인을 구성
- 우리나라는 포항을 주국으로 하고 광주, 일본 게사이, 니지마, 러시아 우수리스크를 종국으로 하는 KOREA CHAIN-9930을 운용중



## 2. 전자 항법(전파항법)

### 5) LORAN(Long Range Navigation, 장거리 전파항법장치) (계속)

- 전세계적으로는 총 27개 체인(68개 송신국)이 운용중임

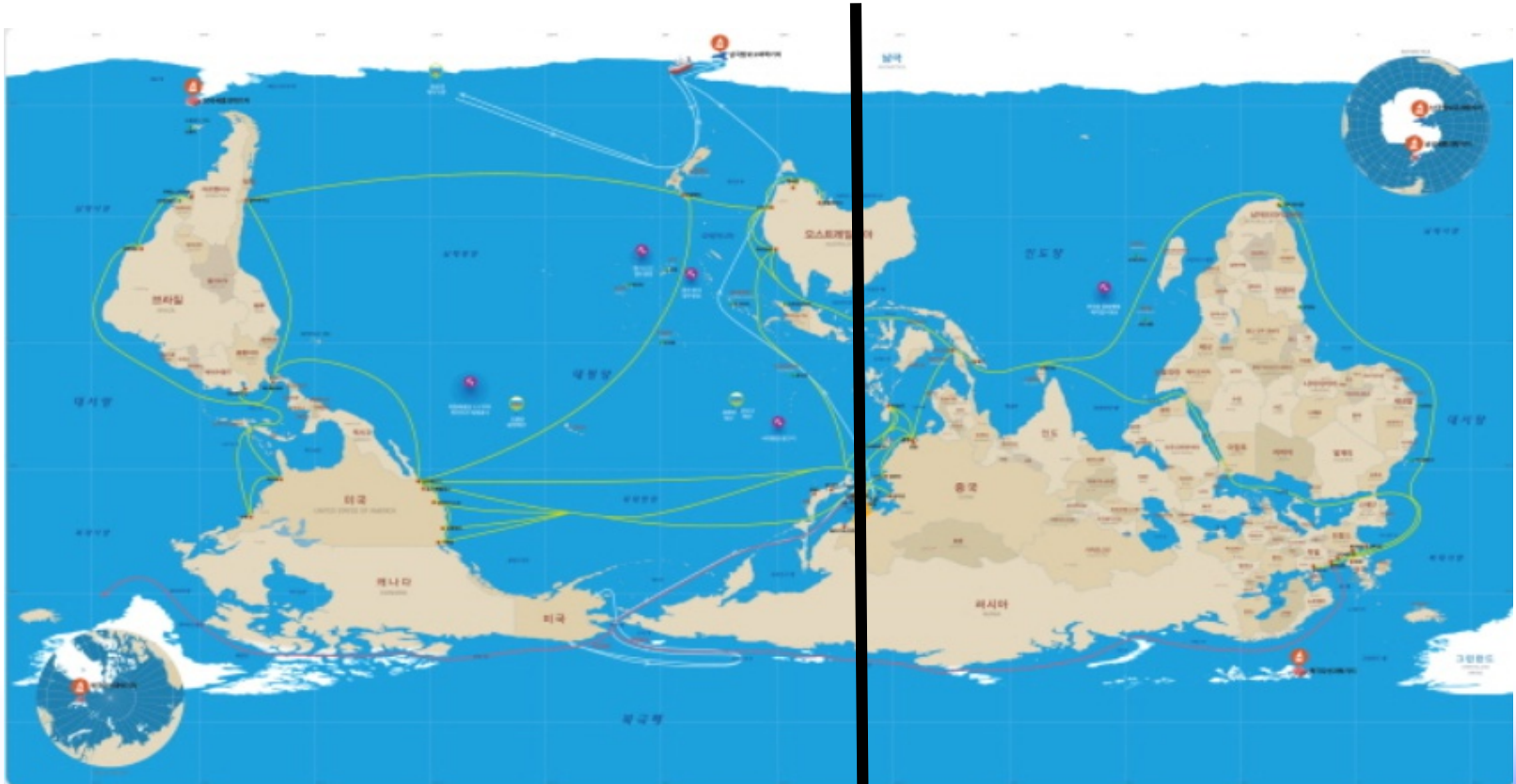




## 2. 전자 항법(전파항법)

### 5) LORAN(Long Range Navigation, 장거리 전파항법장치) (계속)

➤ 거꾸로 세계지도





## 2. 전자 항법(전파항법)

---

### 5) LORAN(Long Range Navigation, 장거리 전파항법장치) (계속)

- 장 점

- 저주파를 이용하므로 기상의 영향을 적게 받음
- 이용범위가 다른 전파항법에 비해 상당히 넓음(약 1,200마일)

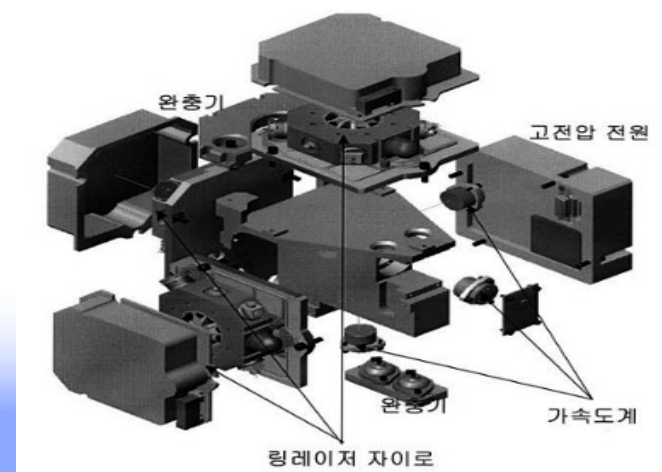
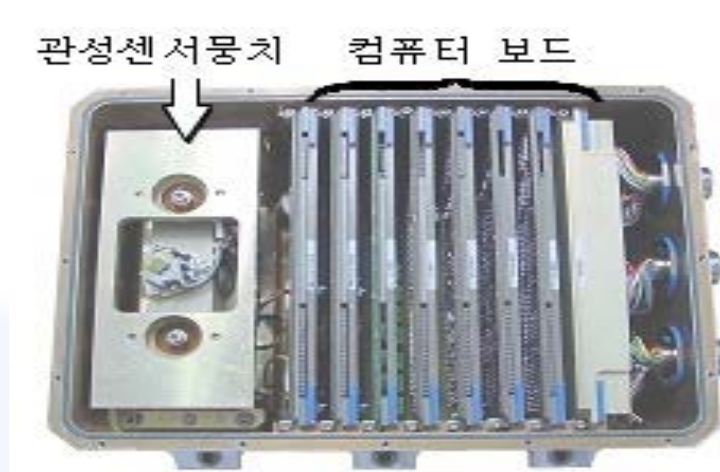
- 단 점

- 설치 비용이 비쌈
- 오차가 50m ~ 400m 정도로 정밀항법에는 부적합함

## 2. 전자 항법(자립항법)

### II) 자립 항법 시스템(Self Contained Navigation Sys.)

- ✓ 항법정보를 타 지원시설에 의존치 않고 자체 장비만으로 얻는 항법
- ✓ 항공기의 가속도 및 각속도를 측정하여 출발점으로 부터의 현위치를 계산하는 INS(Inertial Navigation System, 관성항법장치)가 있음
  - INS는 가속도계와 자이로 스코프로 구성된 IMU(Inertial Measurement Unit)와 연산장치(컴퓨터)로 구성
  - 3차원 공간정보를 계산하기 위해 가속도계외 자이로 스코프는 각각 3개씩(x,y,z) 필요



## 2. 전자 항법(자립항법)

### ➤ 가속도와 각속도

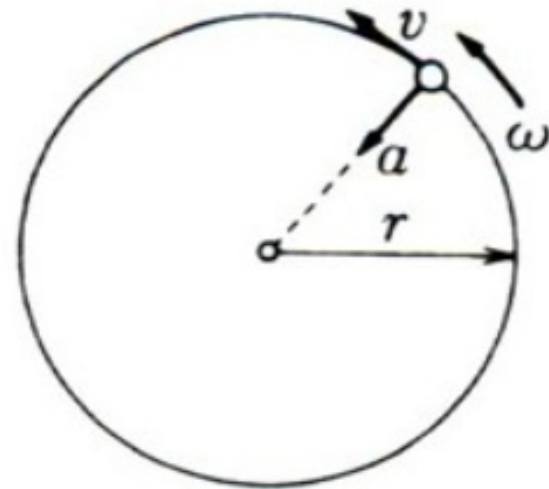
$$a = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$$

$a$  : 구심 가속도

$v$  : 속도

$r$  : 반경

$\omega$  : 각속도

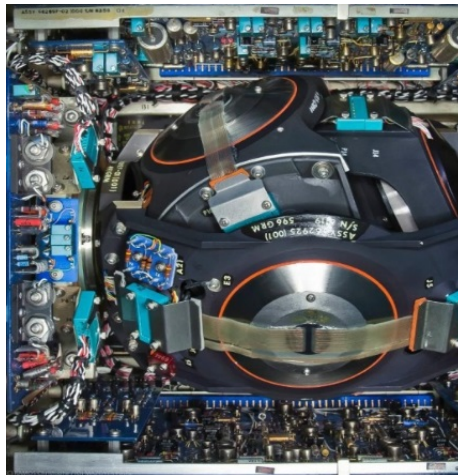


- ✓ 가속도는 단위 시간당 속도의 변화를 말하는 물리량임.
- ✓ 선속도는 각속도와 거리의 곱으로 나타내 지므로, 각속도가 일정하다면, 거리가 멀어질수록 선속도의 크기가 커진다.

## 2. 전자 항법(자립항법)

### ✓ INS (Inertial Navigation System, 관성항법장치)

- 자이로 스코프는 기준좌표를 설정하여 본체 진행방향을 계측하고, 가속도계는 진행방향으로의 가속도를 감지
- 내장된 컴퓨터는 관성측정장치(IMU)로부터 얻은 가속도, 각속도를 적분해 속도를 구하고, 속도를 적분하여 이동거리를 계산
- 이동거리는 다시 최초위치에 더해져 현재위치를 계산



## 2. 전자 항법(자립항법)

---

### ✓ INS (Inertial Navigation System, 관성항법장치) (계속)

#### ➤ 장 점

- 지상의 보조시설이 불필요한 **완전한 자립항법 장치**
- **운영지역의 무제한**
- 시계, 기후, 지형, 해면상태, 전파방해 등의 **외부조건에 무관**

#### ➤ 단 점

- 항법 정밀도가 시간에 의존 , 위치오차는 시간당 약 1 NM 수준
- 위치오차를 정기적으로 보정해줄 필요가 있으며, 전파항법 장치 및 GPS를 이용하여 보정

# 감 사 합 니 다

## Q & A

아주대학교 국방디지털융합학과