

CVOR과 DVOR의 장애물 영향 비행측정 및 비교 분석

정회원 박형택*, 황병원*

Flight Measurement and Analysis for Signal Influence of CVOR and DVOR by It's Surrounding Obstacle Condition

Hyeong Taek Park*, Byong won Hwang* *Regular Members*

요 약

국제민간항공기구(ICAO : International Civil Aviation Organization)는 항행안전시설의 일종인 전방향표지시설(VOR : VHF Omni-directional Range)을 1949년 국제표준 항법시스템으로 정하여 각국에서 항공로 구성과 항공기의 이착륙 유도에 활용할 수 있도록 하고 있다. 현재 VOR은 우리 나라의 39대를 포함하여 전 세계적으로 2,000여대가 설치되어 있어 가장 유용하게 활용되고 있는 항법시스템이며, 설계방식에 따라 크게 CVOR(Conventional VOR)과 DVOR(Doppler VOR)로 구분된다. 그러나 VOR은 VHF 반송파를 진폭 및 주파수 변조하여 항법정보를 제공하므로 주변 장애물에 의한 영향을 많아 예상하지 못한 성능 미흡으로 이미 설치한 장비를 옮기는데 따른 비용과 시간이 많이 소요되어 큰 사회적인 문제를 야기하기도 한다. 이 논문에서는 CVOR과 DVOR의 성능을 항공기를 이용한 비행측정으로 비교 분석하여 어느 VOR이 산악지대 등 주변에 장애물이 많은 우리나라에서 유용하게 사용될 수 있는지 제시함으로써, 향후 VOR의 설치장소 결정에 활용할 수 있도록 하여 성능 미흡으로 장소를 이전하는 등의 문제점을 해소하는데 도움을 주고자 한다.

Key Words : Vor, Navaids, Sarps, Icao, Navigation

ABSTRACT

International Civil Aviation Organization(ICAO) adopted VOR(Very high frequency Omni-Range) as an international standard air navigation system in 1949 and recommended every country to make use of it in formulating air route and guiding take-off and landing of an aircraft. VOR is quite a useful navigation system so that more than 2,000 VORs are currently installed all over the world including 39 in the Republic of Korea; however, VOR signal could be easily affected by its circumstance like a mountainous area because it provides navigation information to an aircraft through AM and FM of VHF carrier. There are two types of VOR which are defined according to a design method. Therefore this study intends to investigate which type of VOR is suitable for mountainous area. For that purpose, the performance of each CVOR and DVOR is measured and analyzed by using an aircraft equipped with measuring instruments. The analyzed result will be applied and utilized in selecting the VOR type, so it could be a feasible solution of problem related to the VOR relocation due to its insufficient performance in the future.

I. 서 론

ICAO에서 민간 항공의 표준 항법시스템으로 지

정한 VOR은 항공로를 구성하고 이착륙하는 항공기가 안전하게 공항을 찾아 활주로에 착륙하고 이륙하는 경로를 제공하는 기능을 가지고 있어 현재

* 한국항공대학교 항공전자공학과 영상처리연구실 (htkpark@yahoo.com)

논문번호 : KICS2007-05-216, 접수일자 : 2007년 05월 14일, 최종논문접수일자 : 2007년 10월 22일

각국이 가장 많이 설치하여 활용하고 있는 항법시설인데, 우리 나라는 39대가 운영되고 있으며 전세계적으로는 2,000여대가 넘게 설치되어 있다.

VOR은 VHF 반송파를 AM 및 FM하여 항법정보를 제공하기 때문에 성능이 산악지대 등의 영향을 많이 받게 되어, ICAO는 장비의 기술기준은 물론 설치여건에 대한 기준도 제정하여 각국에서 활용하게 하고 있다. 그러나 이 설치여건 기준에 부합되지 않게 장비를 설치하여도 성능이 미흡한 경우가 있어, 이를 다른 장소로 이전시키는 데는 약 3억원 이상의 비용이 추가로 필요하고, 시간도 1년 이상이 소요됨으로써 항공로 신설이나 공항 개항 시기가 늦추어 지게 되어 사회적으로 큰 파장을 일으키기도 한다. 따라서 이에 따른 많은 문제점을 해소하기 위하여 VOR 주변의 여러 장애물에 의한 전파의 왜곡 등에 대한 연구가 많이 필요한 것으로 지적된바 있다^[1].

VOR은 크게 CVOR과 DVOR로 구분되는데, 여기서는 두 VOR의 성능을 각종 계측기를 탑재한 항공기로 비행측정을 실시하여 어느 VOR이 주변 장애물에 의한 영향을 덜 받는지 분석하여, 차후 장애물이 많은 지형에서의 장비 선정에 참고토록 함으로써 설치 후에 장소를 다시 이전하는 등의 문제점을 해소하는데 도움을 주고자 한다.

II. VOR의 원리 및 국제기준

2.1 CVOR과 DVOR의 원리

VOR은 두개의 위상을 비교하는 방법으로 1도 간격의 방위각 정보를 항공기에 제공하는데, 우선 360° 모든 방위에 걸쳐 일정한 기준위상을 제공하는 신호와 각 방위각에 상응하여 위상이 변하는 가변위상을 제공하는 신호를 동시에 방사하여 항공기가 이 두 신호를 비교하여 방위각을 확인할 수 있도록 한다. CVOR과 DVOR은 기준위상 및 가변위상을 생성하는 방법과 각 VOR에 사용하는 안테나의 형식에 큰 차이가 있으나, 항공기에 제공되는 항법정보는 같기 때문에 항공기는 동일한 수신기로 방위각을 판단할 수 있다.

그림 1은 CVOR의 기본 구조인데, 108~118 MHz 대역의 VHF 반송파에 기준신호는 FM으로, 가변신호는 AM으로 변조시켜 주로 Alford Loop 안테나를 통해 방사한다^[2]. CVOR의 기준신호는 반송파를 9960 Hz의 부반송파로 일정한 AM을 한 후에 9960 Hz에 30 Hz로 FM하여 제공하는데, 주파

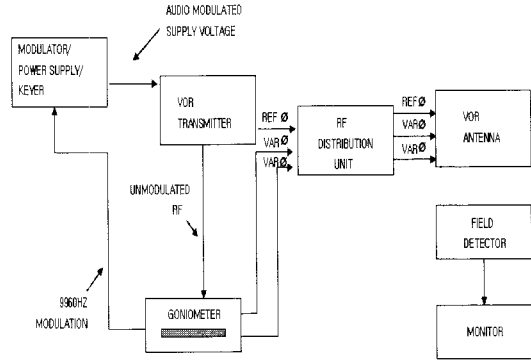


그림 1. VOR 블록도

수편이는 16이며 편이주파수는 ± 480 Hz이다^[3].

가변신호는 심장모양(Cardiod)으로 1초에 30회 시계방향으로 회전하여 항공기에서 보면 신호의 전계강도가 초당 30회 변하며, 이 신호는 안테나에서 방사된 이후에 공간에서 AM이 이루어지는데, 자북을 기준으로 360° 각 방위각에 상응하여 위상 차이를 가진다.

다음 식 (1)은 CVOR의 기준신호 복사패턴인데, 이 신호는 각주파수 ω_s 의 부반송파에 의해 변조도 m_a 로 변조되는 각주파수 ω_c 의 VHF 반송파인 것을 알 수 있으며, 가변신호는 다음 식 (2)와 같이 나타내 진다.^[4]

$$e_R(r, \phi, t) = (1/r)[1 + m_a \cos(\omega_s t + m_s \sin \omega_s t)] \cos \omega_c t \quad (1)$$

$$e_V(r, \phi, t) = (1/r)\{m_a [\cos(\omega_s t - \phi)]\} \cos \omega_c t \quad (2)$$

또한, 공간에 복사되는 신호의 합은 주변에 장애물이 없이 이상적인 경우에는 식 (3)과 같다.

$$e(r, \phi, t) = (1/r)\{1 + m_a [\cos(\omega_s t - \phi) + \cos(\omega_s t + m_s \sin \omega_s t)]\} \cos \omega_c t \quad (3)$$

일반적으로 CVOR은 방위각 정보 오차의 원인이 되는 장애물 등에 의해 전파가 영향을 받는데, 이에 따라 항공기는 식 (4)의 신호를 수신한다.

$$e'(r, \phi, t) = (1/r)\{1 + a m_a [\cos(\omega_s t - \phi - \beta) + \cos(\omega_s t + m_s \sin \omega_s t)]\} \cos \omega_c t \quad (4)$$

항공기에서 수신되는 VOR의 항법신호는 그림 2와 같이 기준신호와 가변신호로 복조되어 위상이 비교가 되는데, 동쪽 방향의 경우에 기준신호는 복

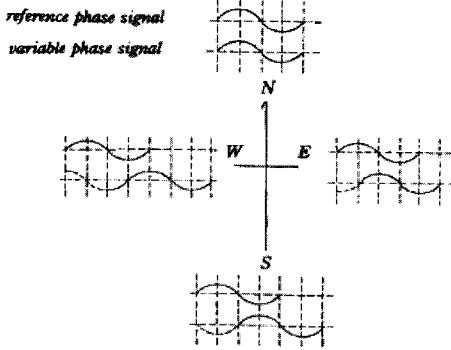


그림 2. VOR 방위각 제공 원리

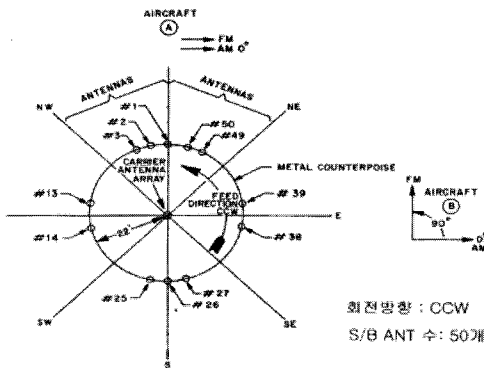


그림 3. DVOR 안테나

쪽방향과 위상이 동일하지만, 기변신호는 90° 앞서기 때문에 이 두 신호의 위상 차이로 항공기의 비행 위치가 동쪽임을 판단할 수 있게 된다.

한편 CVOR이 공간변조에 의해 항법신호가 생성되어 지는데 비하여 DVOR은 도플러효과에 의해 만들어 지도록 설계된다. 이에 따라 DVOR은 그림 3과 같이 독특한 형태의 안테나를 가지는데, 기준신호는 중앙에 설치된 1개의 Alford Loop 안테나에 30 Hz 정현파로 AM한 반송파를 전 방향으로 일정하게 복사시켜 얻어진다. 그리고 가변신호는 중앙안테나를 중심으로 원형의 일정간격으로 설치된 48~50개의 Alford Loop형 측대파안테나에서 방사되는데, 주반송파에 AM된 9960 Hz 부반송파에 의해 전달된다.

측대파안테나 신호는 초당 30회 반시계 방향으로 회전하기 때문에 한 수신 지점에서 9960 Hz 부반송파의 송신지점까지의 거리는 초당 30회의 비율로 변화하며, 이에따라 도플러효과에 의해 수신되는 주파수도 초당 30회의 비율로 변화한다. 결국 주파수

편이현상에 의거 9960 Hz 부반송파신호가 30 Hz 가변위상신호에 의해 FM되는데, 위상은 수신 지점에 따라 달라진다. 실제로 안테나의 회전은 어려움이 있어 측대파신호를 순차적으로 공급함으로써 동일한 효과를 얻는다. 가변위상신호가 도플러 효과에 의해 FM될 때 최대주파수편이 Δf 는 c 를 빛의 속도, R 을 측대파 안테나 회전반경 및 f 를 반송파주파수라 하면 식 (5)와 같다^[5].

$$\Delta f = \frac{v \cdot f}{c} = \frac{\omega R \cdot f}{c} = \frac{2\pi \cdot 30 \cdot R \cdot f}{c} \quad (5)$$

ICAO의 국제기준에 따르면 Δf 는 ± 480 Hz가 되어야 하므로 측대파안테나의 반경은 식 (6)과 같게 되어, $f=113$ MHz일 경우에 측대파안테나의 반경은 6.76 m가 된다.

$$R = \frac{480 \cdot c}{f \cdot 2\pi \cdot 30} = \frac{8 \cdot c}{\pi \cdot f} = \frac{8 \cdot \lambda}{\pi} \quad (6)$$

DVOR도 CVOR과 같이 기준위상신호의 위상은 모든 방향에서 동일하지만 가변위상신호는 방위각과 상응되게 위상이 수신 지점에 따라 차이가 있게 되어 항공기에서 방위각을 판단할 수 있게 된다.

2.2 성능 및 비행측정 기준

ICAO는 VOR의 성능에 대한 기준과 허용되는 오차의 범위를 표 1과 같이 정하여 각국 정부의 책임하에 이를 VOR의 설치와 관리를 담당하는 기관에서 준수하도록 규정하고 있다.

표 1. ICAO의 VOR 성능 기준

구분	성능 기준
주파수	대역 : 108~117.975 MHz 채널간격 : 50, 100, 200 KHz 허용편차 : ± 0.002 ~ 0.005%
편파	수평편파
통달범위/전계강도	범위 : 사용공역 상공 40°까지 전계강도 : 90 $\mu\text{V}/\text{m}$
변조	CVOR : 기준위상 30 Hz FM, 가변위상 30 Hz AM DVOR : 기준위상 30 Hz AM, 가변위상 30 Hz FM
식별신호	2~3문자 국제 모스부호를 1020 Hz로 변조
성능감시	주요 파라미터를 지속 모니터하고 문제 발생시 항행신호 제거 또는 발사 중단

표 2. ICAO의 VOR 비행측정 기준

구분	성능 기준
회전성	반시계 방향으로 비행시 방위각 감소
편파	수직편파 영향은 평균 Radial을 기준으로 $\pm 2.0^\circ$ 이내
Bend	각 Radial의 평균 직진 기준 $\pm 3.5^\circ$ 이내
Roughness & Scalloping	설정된 코스로부터 $\pm 3.0^\circ$ 이내
변조도/편이율	30 Hz AM : 25~35% 30 Hz FM : 14.8~17.2 9960 Hz : 20~50%(음성 미사용시)
방위각 모니터작동	$\pm 1.0^\circ$ 이내
예비전원	예비전원 작동시 성능에 영향 없어야 함
예비장비	주장비와 예비장비의 방위각 차이는 $\pm 2.0^\circ$ 이내
선회케도 전파배열	$\pm 1.0^\circ$ 이내

항공기는 어느 국가를 운항하여도 해당 국가에서 설치한 항법시설을 이용하여 비행이 가능해야 하기 때문에 VOR도 국제적인 표준기준 하에서 동작하는 것이 필요하고, 또한 항공기의 안전 운항과 직결되어 있는 항공로를 구성하고 이착륙하는 정보를 제공하기 때문에 허용되는 오차의 한계를 정하여 이를 사용하는 항공기의 안전이 보장되도록 이와 같은 제도가 필요하다.

그리고 ICAO는 측정장비 등을 탑재한 항공기를 이용하여 성능을 확인하고 미흡할 경우에는 이의 이용을 즉시 중단하여 항공 안전을 보장할 수 있도록 표 2와 같이 VOR의 비행측정에 필요한 기준을 정하였다⁶⁾.

2.3 주변 장애물 기준

ICAO는 아래와 같이 VOR이 주변 지형 등 장애물에 의하여 성능에 영향을 많이 받기 때문에 설치장소 주변의 장애물에 대한 기준도 정해 놓고 각국이 사용할 수 있도록 하고 있다⁷⁾.

첫째, 넓은 통달범위를 확보할 수 있도록 주변에서 가장 높은 곳에 설치하며, VOR에서 적어도 300 m까지는 평탄하거나 경사진 경우에는 하향 경사도가 4% 이내이어야 하며, 이 여건이 600 m이면 더욱 바람직하다. 둘째, 반경 300 m까지는 원형으로 구성하며 전선이나 울타리는 가능한한 멀리 있거나 안테나로부터 1.5° 이상의 양각 이내 또는 수평선 위로 0.5° 이내에 있어야 한다. 다만, 울타리나 전선이 안테나에 방사형으로 되었거나 10° 이하의 수평각에 마주보고 있을 경우에는 50 %의 증가가 가

능하다. 셋째, 150 m 밖에서는 높이 9 m까지 하나의 수목은 허용된다. 집단 수목은 2° 이상의 양각에 접하거나 300 m 이내에 있어서는 아니 되며, 600 m 이내의 수목은 필요시에 제거가 가능하여야 한다. 그리고 어떠한 구조물도 1.2° 이상의 양각으로 접하거나 150 m 이내에 있어서는 아니 된다. 넷째, 산악지대에 설치할 경우에는 45 m까지의 지면은 평탄해야 하며, 송신기는 안테나의 수평면 아래에 설치하여야 한다. 그리고 45 m~360 m 사이에는 지형 장애물, 나무, 전력선 및 건조물 등이 안테나의 가시선 내에 있어서는 아니 된다

III. 성능 측정 및 분석

3.1 성능 측정 절차 및 내용

VOR의 성능 측정을 위하여 오실로스코프 등 여러 계측기들을 탑재한 항공기를 이용하여 코스비행과 선회비행을 하면서 종류 별로 VOR의 성능을 측정하고 주변 장애물이 주는 영향을 분석하였다.

코스비행 측정은 VOR이 제공하는 특정 방위각(Radial)을 따라 비행하면서 항공로 및 이착륙절차로 지정된 구간의 이용 가능성 등을 분석하는 것인데, 이 코스비행에서 검사하는 주요 항목은 방위각의 배열상태(Alignment), bend, Roughness & Scalloping과 같은 전파 복사패턴의 구조 및 정확도는 물론 변조도, 식별부호, 신호강도 및 정해진 Radial상에서의 방위각 모니터 설정값 등이다.

한편, VOR을 중심으로 원형의 비행을 하는 선회비행 측정에서는 VOR을 중심으로 360° 전 방향 또는 일부구간에 걸쳐서 방위각의 배열상태를 분석해보거나 360° 전 방향의 통달범위를 평가하기 위한 측정을 실시하였다. 이에 의거 주로 측정된 항목은 회전성(Rotation), 방향성(Sensing), 360° 전체 방위각의 배열상태(Orbital Alignment), 공간 변조도 및 통달범위 등이었다.

3.2 주요 성능판단 요소

VOR의 성능 측정 항목은 여러 가지가 있으나 이 중에서 주변의 장애물에 의하여 영향을 받아 주로 문제가 되는 요소는 그림 4와 같이 Roughness, Scalloping 및 Bend, 그리고 변조도이다. 다른 성능 측정 요소들은 대부분 장비 자체의 조정으로 해결이 가능하기 때문에 주변의 지형이 큰 문제가 되지는 않는다⁸⁾.

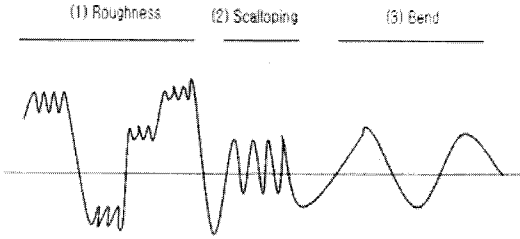


그림 4. VOR의 주요 성능판단 요소

Roughness는 전파의 불규칙성으로서 항공기가 추적하여 비행할 수 없는 정도의 상태를 말하며, 주로 수목이나 불규칙한 산악지대에서 전파가 반사되어 생기는 현상이다. Scalloping은 전파가 규칙적으로 변하기는 하지만 변화되는 상태가 조밀하여 항공기가 추적하여 비행하는 것이 곤란한 정도의 상태를 말한다. 그리고 Bend는 완만하고 규칙적인 전파의 변화를 말하는데, 항공기가 추적하여 비행하는 것이 가능한 정도로서 Scalloping과 마찬가지로 긴 건물, 울타리 및 전력선과 같은 비교적 매끄러운 표면에 의한 전파의 반사에 의하여 발생한다.

3.3 성능측정에 사용된 장비

VOR의 성능 측정에는 항공기, 항공기 탑재 VOR 수신기, 항공기 탑재 비행검사장비, 항공기 위치추적 및 확인장치, 기타 계측기 등이 필요하다.



그림 5. 비행측정에 사용된 항공기

표 3. 비행측정에 사용된 장비

장비명	규격 및 모델	제작사
항공기	챌린저 CL-601/3R	캐나다 봄바디어
VOR 수신기	RNA-34AF	미국 Bendix
VOR 안테나	DM N4-15	미국 D&M
비행검사장비	AFIS	캐나다 Litton
오실로스코프	HP 54600A	미국 HP
VOR 호발생기	2030	영국 Marconi
GPS 수신기	RT-20E	캐나다Novatel
스펙트럼분석기	HP 8561E	미국 HP

여기에서 사용된 비행검사용 항공기는 캐나다 봄바디어사에서 제작한 챌린저 CL-601/3R로서 그림 5와 같으며, VOR의 신호 수신 및 분석에 사용된 계측기는 표 3과 같다.

3.4 측정 대상 시설 및 측정 결과

두 종류의 VOR 성능을 비교 측정하기 위하여 많은 산악으로 둘러 쌓인 대구공항을 선정하였는데, 주변에는 315~080° 방향에 최고 3,940피트의 산악 지대가 2~7 NM에 걸쳐 분포되어 있는 등 그림 6과 같이 열악한 지형적인 조건을 가지고 있다.

우선 코스비행측정 방식으로 대구 VOR을 이용하여 착륙하는 항공기가 이용하는 착륙항로의 방위각 오차를 측정하였다. 항공기는 대구 VOR을 이용하여 그림 6과 같이 착륙하는데, 우선 VOR로부터 약 80° 방향의 타원형 지점에 머물다가 VOR을 중심으로 14 NM로 시계방향 선회비행을 한 후에 방위각 311°(VOR을 기준으로 49°)를 향하는 지점으로 우회전하여 고도를 점차 낮추면서 착륙하는데, CVOR의 측정결과는 그림 7과 같으며, DVOR은 그림 8과 같다.

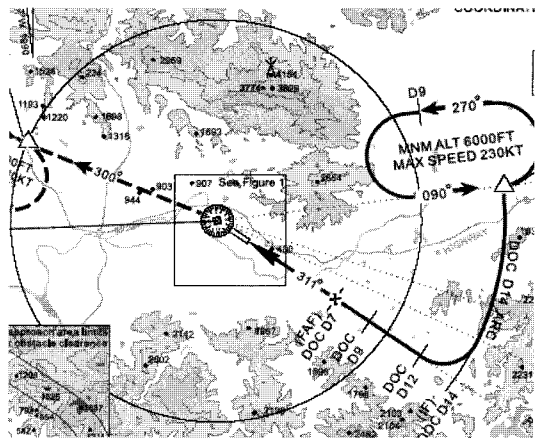


그림 6. 대구공항 VOR 주변도

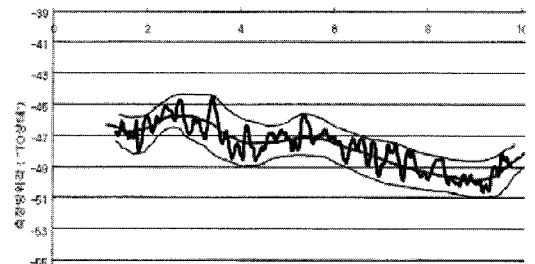


그림 7. CVOR 착륙경로 비행측정 결과

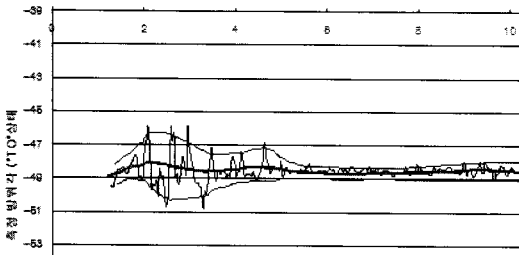


그림 8. DVOR 착륙경로 비행측정 결과

CVOR은 1 NM부터 10 NM까지 거의 일정하게 1.5~2° 정도의 비교적 큰 방위각 오차를 가지고 있으나, DVOR은 1.5~4.5 NM까지는 1.5~3° 정도의 오차를 보이지만 그 이상의 구간에서는 오차가 0.5° 정도로 줄어 든다. 특히 DVOR이 VOR보다 오차가 큰 구간은 2~3 NM 구간이지만 나머지 구간은 크게 감소하는 것으로 분석되었다.

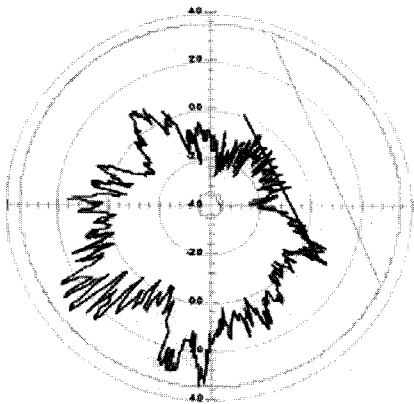


그림 9. CVOR 선회비행 측정 결과

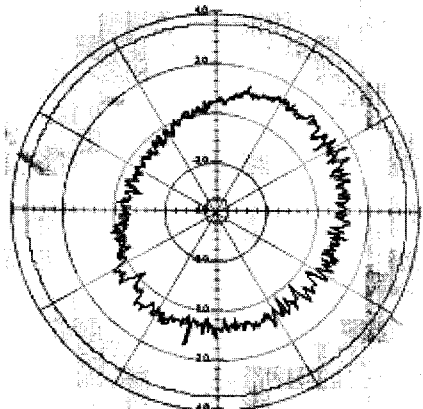


그림 10. DVOR 선회비행 측정 결과

표 4. 장애물에 따른 VOR 성능 미흡 구역

종류	성능미흡 구역	
	방위각(°)	고도(ft) / 거리(NM)
CVOR	001~090	200 / 11
	091~140	170 / 15
	141~160	10,000 / 35
	161~200	12,000 / 20
	201~220	12,000 / 35
	280~330	8,500 / 30
	331~360	13,500 / 19
DVOR	000~040	10,000 / 10
	040~070	8,500 / 10
	070~100	10,000 / 10
	335~360	7,000 / 16

두 번째는 VOR을 중심으로 10,000피트의 일정 고도 및 10 NM 일정 거리에서 선회비행 측정을 하면서 방위각의 오차를 분석하였다. 그림 9는 CVOR의 측정 결과인데 중심에서 세 번째 원인 방위각 오차 0.0도를 중심으로 360° 전 방향에서 +3.7~-3.0°의 큰 오차가 있었으나, 그림 10의 DVOR 측정 결과에서는 +1.8~-0.80°정도로서 방위각 오차가 크게 줄어 든 것을 알 수 있었다.

마지막으로 두 VOR의 성능 측정결과를 바탕으로 ICAO가 규정한 성능에 미달되어 항법신호를 사용하기 불가능한 구역, 즉 항공기가 VOR 신호를 사용할 수 없는 지역을 분석하였는데, 표 4와 같이 CVOR은 7개 지역을 사용할 수 없었으나, DVOR은 4개로서 크게 감소함을 알 수 있었다.

위의 세 가지 측정 및 분석결과에서 보듯이 DVOR이 CVOR보다 장비 주변의 장애물에 의한 방위각 오차가 크게 줄어들어 우리 나라와 같이 산악지대 등 전파의 정상적인 전송에 지장을 주는 장애물이 많은 경우에는 CVOR보다 DVOR이 보다 적합을 알 수 있었다.

IV. 결 론

VOR은 전 세계적으로 가장 많이 설치되어 유용하게 사용되고 있는 항법시스템이지만, VHF 반송파의 변조를 이용하여 항법정보를 제공하므로 주변 지형 등 장애물에 의거 성능이 변하게 되므로 ICAO는 설치장소에 대한 국제기준을 정하여 각국이 활용하도록 하고 있으나, 국제기준에 부합되는 장소라 하더라도 주변의 장애물에 의거 사용을 하지 못하는 구역이 존재하는 경우가 있었다.

국내 지형에 적합한 VOR의 종류를 분석하기 위

하여 대구공항에 CVOR과 DVOR을 각각 설치하고 항공기를 이용한 비행측정을 실시하였다. 코스비행 방식으로 항공기가 착륙하는 경로에 대한 1~10 NM까지 비행측정을 실시한 결과, 2~3 NM까지 약 1 NM 구간을 제외하고는 DVOR이 CVOR보다 방위가 오차가 1.5~2°에서 0.5° 크게 정도로 줄었다. 또한, 모든 방위각에 대한 선회비행 측정을 실시한 결과, 대부분 방위각에서 CVOR은 +3.7° ~ -3.0° 의 큰 오차가 있었으나, DVOR은 +1.8° ~ -0.80° 로서 크게 줄었다. 또한 사용이 불가능한 공역도 CVOR은 7개 공역이었으나 DVOR은 4개로서 크게 감소하였다.

따라서 DVOR이 CVOR보다 장비 주변의 장애물에 의한 방위각 오차가 크게 줄어들어 우리나라와 같이 산악지대가 많은 지형에서는 DVOR이 적합함이 입증되었으며, 향후 주변 지형이 열악한 지역에 VOR을 설치할 경우에는 DVOR을 선택하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

또한, 이 논문의 측정 및 분석 결과는 열악한 지형에 적합한 VOR 설치 위치 선정에 사용될 수 있는 사전 분석 모델을 개발하는 연구에도 도움을 줄 것으로 본다.

참 고 문 헌

- [1] M. L. Meeks, "VHF Propagation over Hilly, Forested Terrain", IEEE Transactions on Antenna and Propagation, vol. AP-31, pp. 483~489, May 1983.
- [2] R. Wakabayashi, H. Kawakami, "Analysis of Course Errors on CVOR Antennas(Including Effects of Mutual Coupling Between Elements)", IEEE Transactions on Vehicular Tech. vol. 47, No. 2, pp. 392~404, May, 1998.
- [3] Airport Systems Int'l Ltd., USA, Doppler VHF Omnidirectional, pp. 2~2, January, 1993.
- [4] E. J. Martin, "Automated VOR Ground Check Techniques", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems vol. AES-21, No. 2, pp. 257~261, March, 1985.
- [5] 한국공항공사, DVOR System Manual, pp. 1-8~1-10, 2007.
- [6] ICAO, Doc 8071, Manual on Testing of Radio Navigation Aids, Volume I, pp. 30~44, Oct., 2002.

- [7] ICAO, Annex 10(Aeronautical Telecomm.) to the Convention on International Civil Aviation, Volume I, pp. 134, July, 1996.
- [8] 교통부 항공국, VORTAC/DME 유지보수지침서, pp. 171~172, 1982.

박 형 택 (Hyeong Taek Park)

정회원



1985년 동아대학교 전기공학과 (공학사)
1999년 인하대학교 교통대학원 (경영학석사)
2003년~현재 한국항공대학교 박사과정 수료

<관심분야> 항법시스템, GNSS, Avionics, 항공기 인증 및 기술기준

황 병 원 (Byong won Hwang)

정회원



1972년 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)
1981년 동경대학교 전자공학과 (공학석사)
1984년 동경대학교 전자공학과 (공학박사)
1984년~1985년 국방과학연구소

선임연구원

1993년~1994년 동경대학교 교환교수
1985년~현재 한국항공대학교 항공전자공학과 교수
<관심분야> 영상처리, 영상인식 및 음성인식, 동영상 신호처리, 교통류 해석 및 제어, ITS