

論文

공역에서의 NDGPS 신호 전계강도 측정 연구

안재형*, 유병선**, 강자영**

In-Flight Field Strength Measurement of KNDGPS

Ja-Hyung Ahn*, Byeong-Seon Yoo**, Ja-Young Kang**

ABSTRACT

In order to determine the possibility of using NDGPS signals for flight operations, in-flight measurements of signals transmitted from various ground reference stations(RS) were conducted along the air routes of South Korea. Signal strength and signal to noise ratio(SNR) data were collected along domestic flight routes and recorded with time. By using three-dimensional geographical position data of the aircraft, signal strength data of en-route position were calculated and used to obtain scatter-plot of signal strength. These results were used to outline the effective coverage and field strength hemispheres of the selected DGPS signals.

Key Words : DGPS(위성항법보정시스템), Field Strength(전계강도), SNR(신호대잡음비), RS(기준국), en-route(항공로)

1. 서 론

위성항법보정시스템(DGPS)은 위성으로부터 발사된 신호를 육지의 고정지점에서 수신하여 이에 수반된 위치오차를 보다 정확하게 보정한 후 중파대(283kHz-325kHz)로 송신하여 이용자들에서 정밀한 위치정보를 제공하는 시스템으로서, 전 세계의 60여 개국에서 약 200여개의 기준국이 운영되고 있으며 그 수는 계속 증가하고 있다.

정확한 정보를 전송해 주는 기준국과 사용자 간의 거리, 즉 기저선 거리(Baseline Distance)는 동시에, 동일위성에서 동일한 데이터를 얻기 위해서 매우 중요한 요소가 된다. 거리가 멀어지

면 두 수신기가 서로 다른 위성 정보를 받거나 두 지점 간에 전리층과 대기권 영향 등의 차이로 보정치의 정확도가 감소하게 된다[1].

DGPS 시스템 설계 시 보정치의 방송내용, 포맷형태, 통신수단 등은 DGPS 시스템의 운용자에 따라 달리 선택될 수 있으나, 전 세계적으로 미국 해사무선기술협회의 RTCM SC-104 (Radio Technical Commission for Marine Service Special Committee-104)의 포맷형식에 따라 Minimum Shift Keying(MSK) 변조방법으로 중파대역을 이용하여 일반 수신기 사용자들에게 전송되고 있다[2].

GPS의 측위 정밀도는 4-20m로서 DGPS 정보가 제공되면 측위 정밀도는 1-3m가 되어 항법, 교통, 지리, 측량, 농업, 임업, 환경관리 등 다양한 분야에 유용하게 이용될 수 있다. 우리나라의 DGPS 실시간 서비스는 해양수산부(현 국토해양부) 주관 하에 1999년 8월 팔미도와 어청도 기준국 서비스를 시작으로 전국망 서비스를 목표로 하고 있다. 아래 Fig 1과 같이, 2010년 4월 현재 해안기준국 11개소, 내륙기준국 6개소, 총

2010년 4월 26일 접수 ~ 2010년 6월 14일 심사완료

* 교통안전공단 항공안전처

** 한국항공대학교 항공운항학과 교수

연락처, E-mail : bsyoo@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1

17개소의 DGPS 기준국과 8개의 감시국을 설치 운영하고 있다. Fig 1에 표시된 원은 위성항법 중앙사무소에서 기준국 설치시에 장비 스펙에 따른 거리로 해안기준국은 180km(100NM), 내륙 기준국은 80km를 표시한 선이다[3].

우리나라의 NDGPS 인프라 구축이 거의 완성 단계에 이르고 있지만 현재까지 NDGPS 신호를 육상, 해상에서 측정하였을 뿐 공역에서 공식적으로 측정할 바가 없다. 따라서 국가 공역의 항공로에서 NDGPS 신호를 측정하여 각 항공로상에서 NDGPS 신호의 분포와 전계강도 특성을 조사 분석하는 것이 본 연구의 목적이다.

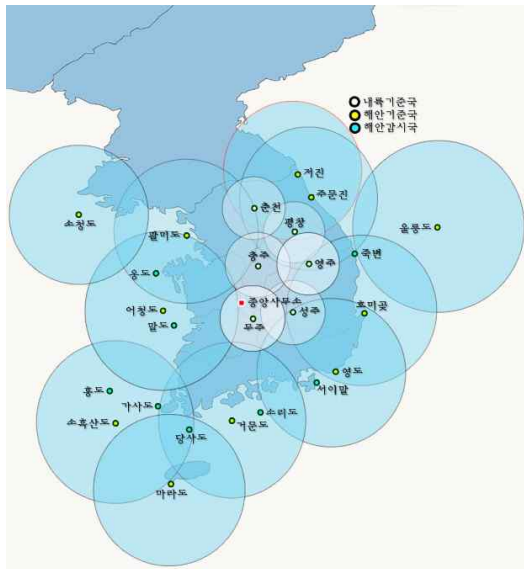


Fig 1. 전국 NDGPS 기준국과 이용범위[3]

II. 시험 계획

2.1 측정 장비

Trimble사의 DSM 232 Receiver는 실시간 해상 위치 측정과 상업적인 위치 측정을 위하여 개발되었다. GPS수신기는 여러 데이터를 사용자가 선택적으로 수신하여 센티미터 단위까지 정확한 위치를 알아낼 수 있다. Wide Area Augmentation System (WAAS), European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS), MTSAT Satellite Based Augmentation System (MSAS)와 같은 SBAS 수신기가 가능하며, OmniSTAR 서비스 수신도 가능하다. 본 시험에서 항공전용 장비가 가용하지 않고, 측정 고도가 일반 항공기처럼 높지 않

아 해상이나 육상에서 사용이 가능한 본 수신기를 활용하였다[4].

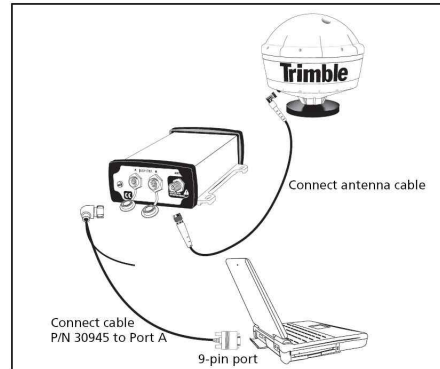


Fig 2. Trimble DSM 232의 구성도[2]

2.2 중파의 신호 전계강도

송신안테나에 입력된 전력을 알고 안테나 효율이 주어졌다면 예상 신호강도는 송신기로부터의 거리에 따라 결정된다. 지상 송신기로부터 방사된 신호는 수신거리 r 에 있는 반구표면 $2\pi r^2$ 에 일정하게 통달된다고 볼 수 있다. 그러면 수신기에서 전력 밀도 P_d (watt/m^2)는 다음과 같다.

$$P_d = \frac{P_t e}{2\pi r^2}$$

e : 송신안테나의 효율

P_t : 입력 전력

전계강도 E ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)는 다음과 같다.

$$E = 20 \log_{10} (10^6 \times \sqrt{P_t 377})$$

여기에서 377은 자유공간에서의 임피던스 (ohm)를 나타낸다.

예를 들어 15~20%사이의 안테나의 효율을 갖는 송신기와 1000w의 입력전력이 주어졌다면 10km거리에서 전력밀도는 2.387×10^{-7} 에서 $3.183 \times 10^{-7} \text{ watt}/\text{m}^2$ 사이로 예상된다. 전계강도는 같은 거리에서 79.5에서 80.8 $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 사이로 예상된다[5].

2.3 NDGPS 전계강도 요구사항

해수경로에 대한 전계강도는 신호감쇠가 일어나는 해수도전율에서 작은 변화에 민감하지 않으므로 비교적 정확히 예측될 수 있다. 그러

나 대기경로에 대한 전계강도는 다소 큰 도전을 변화 때문에 정확한 예측이 어렵다. 특정지점에서 특정 송신국의 신호를 수신하기 위해서는 그 지점에 있어서의 SNR이 신호 수신기가 신호를 재생할 수 있는 SNR보다 높아야 한다[6].

International Telecommunication Union - Report (ITU-R) M.823에 의하면 DGPS 수신기 설계요건은 수신기 대역폭 500Hz의 범위에서 SNR 7dB 이상으로, 1,000 비트당 1비트 이내의 오차율로 신호 재생이 가능하여야 하는 것으로 규정하고 있다. Commandant Instruction (COMDINST) M 16577.1에 의하면 유효범위 내에서의 최소 전계강도는 100bps 신호송출의 경우 $75\mu\text{V}/\text{m}$ ($37.5\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$) 이상, 200bps 신호송출의 경우 $100\mu\text{V}/\text{m}$ ($40\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$) 이상일 것을 요구하고 있지만, 이 기준은 보호비 및 안정성을 고려한 경우이고 특별한 문제가 없다면 $10\mu\text{V}/\text{m}$ ($20\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$) 정도면 가능하다[7].

ITU-R 322-3에 의한 1MHz의 한국 근해의 잡음강도는 평균 74.6dB이며 최대치는 여름철 00:00~00:40의 75dB(Fam above kTb)이다. 이 75dB를 주파수 600KHz의 잡음 전계강도로 환산하면 $8.4\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 이 되며, 따라서 ITU-R 823이 요구하는 SNR 7dB를 더하면 DGPS 전파의 세기가 16dB 이상이어야 한다[6].

2.4 비행시험

DGPS의 각 기준국의 전파를 측정하기 위한 장비는 Trimble사의 DSM 232RS를 사용하였다. 항공기가 지상에서 송신되는 전파를 보다 원활하게 수신하기 위하여 항공기의 우측하부에 지면을 향하게 설치하였다. 이로 인하여 위성에서 수신되는 GPS 데이터를 잘 수신하지 못하는 경우를 대비하여 항공기 내부에 NovAtel ProPak-G2를 설치하였다.

가능한 한 많은 지역에 대한 DGPS 전계강도를 측정하기 위하여 1차 측정은 수색-광주-부산-대구-수색 (B576-V543-A582) 비행경로를 따라 실시하는 것으로 계획되었고, 2차 측정은 수색-동해-포항-부산-대구-군산-수색(C597-V11-V549-B576)비행경로를 따라 실시하는 것으로 계획되었다. 또한 3차 측정비행은 수색-광주-대구-포항-수색 (B576-V547-V549-G585) 비행경로를 따라 실시하였다. 이외에 1~3차 비행에서 충분한 데이터가 확보되지 않을 경우를 대비하여 보충비행을 계획하였다.

3차에 걸친 비행에서 수색을 이륙하여 항로

비행을 위한 상승비행과 착륙을 위한 하강비행을 제외한 항로 비행 중에는 8,000~10,000ft를 유지하였다.

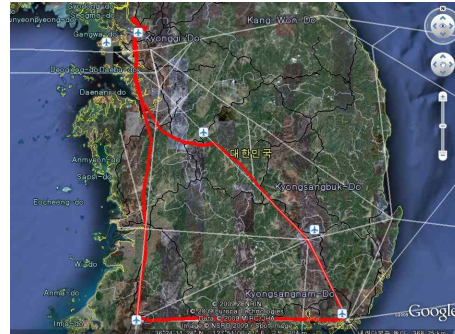


Fig 3. 1차 비행 항적

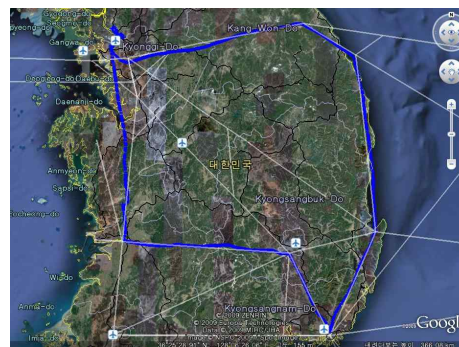


Fig 4. 2차 비행 항적

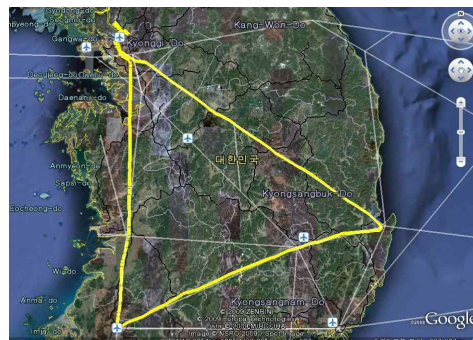


Fig 5. 3차 비행 항적



Fig 6. Mooney 20J 항공기

III. 데이터 분석

DGPS 신호의 출력과 지리적 특징이 각 기준국마다 모두 일정하지 않고 항공기의 자세 변화에 따른 오차가 있기 때문에 실제 데이터가 수신된 지점은 Fig 7~9와 같다.

Fig 10~12는 비행경로를 따라 비행할 때 DGPS 수신기의 각 채널에 수신된 신호들의 전계강도를 나타내고 있다. 채널 1 및 채널 2에 수신된 신호의 강도는 대부분이 25~75dB μ V/m의 범위로서 측정된 거리에 비해 아주 양호한 값을 보이고 있다. 측정시험을 위해 항공기가 수색비행장에서 출발하였기 때문에 가까이 있는 팔미도 기준국의 신호가 비행 초기에 일정 시간동안 수신기 채널 1에 수신되었다.

DGPS 보정 정보 활용시 양채널에서 강한 신호만 선택하여 사용하므로, 고도 15,000 피트 이하로 비행하는 항공기는 국내 모든 항공로에서 NDGPS 기준국으로부터 충분히 높은 강도의 신호를 수신할 수 있을 것으로 판단된다.

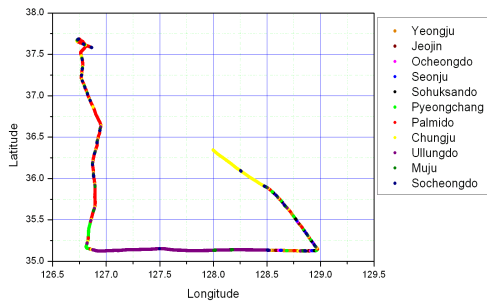


Fig 7. 1차 비행중 신호의 기준국별 분포

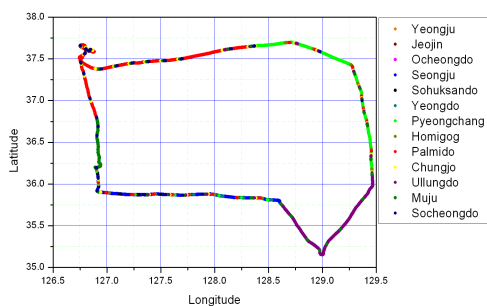


Fig 8. 2차 비행중 신호의 기준국별 분포

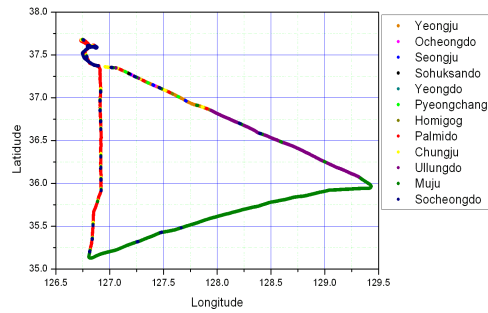


Fig 9. 3차 비행중 신호의 기준국별 분포

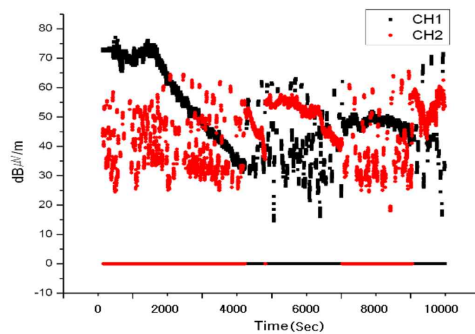


Fig 10. 1차 비행시의 신호 수신 강도

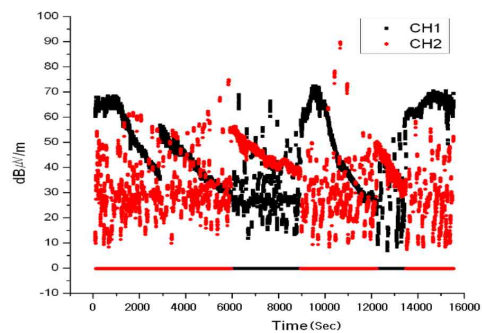


Fig 11. 2차 비행시의 신호 수신강도

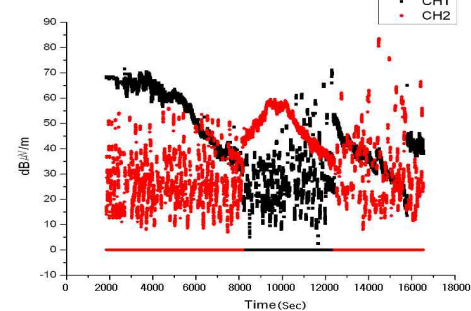


Fig 12. 3차 비행시의 신호 수신강도

IV. 항로 구간별 신호 분석

4.1 수색-광주(B576) 구간

수색을 출발하여 광주 인근 상공까지 62분을 비행하는 동안 팔미도기준국의 신호가 75~30 dB μ V/m의 범위로 변화하면서 채널 1에 수신되었고, 비행 중반에는 45dB μ V/m 이상의 강한 평균기준국 신호가 채널2로 수신되었다.

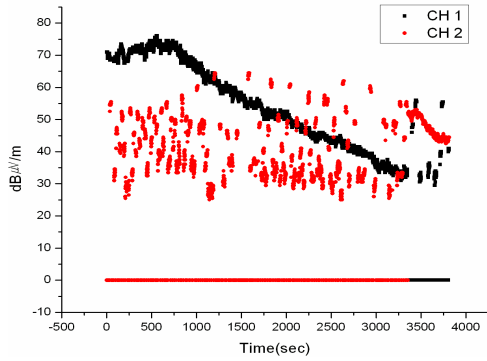


Fig 13. B576구간의 신호수신강도

4.2 광주-부산(G595) 구간

광주 상공을 출발하여 부산 인근 상공까지 약 50분을 비행하는 동안 수신된 신호의 전계강도는 15~65 dB μ V/m의 범위에 분포하고 있다. 항공로 구간 비행 중 약 39분 동안 40dB μ V/m 이상의 울릉도기준국 신호가 채널 2로 수신되었고, 중반 약 11분 동안에는 40dB μ V/m 이상의 영주기준국 신호가 채널 1로 수신되었다.

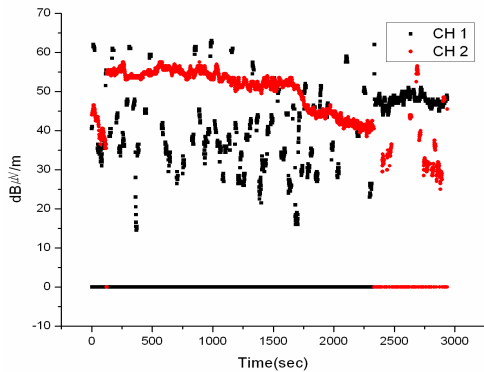


Fig 14. G595구간의 신호수신강도

4.3 부산-수색(A582) 구간

부산에서부터 추풍령 상공까지 수신된 신호를 분석해 보면 그 변화량은 10dB μ V/m부터 70

dB μ V/m의 범위에 있다. 부산에서 대구북단 상공까지 처음 25분(1,500초)을 비행하는 동안 채널 1을 통하여 45dB μ V/m이상의 영주기준국 신호가 양호하게 수신되었고, 그 이후부터 추풍령 상공까지 이르는 15분(900초) 동안은 충주기준국의 신호가 채널 2를 통하여 수신되었다. 부산출발 2400초가 경과한 지점부터는 약 54dB μ V/m의 성주기준국 신호가 수신되기 시작하여 3,500초 되는 시점까지 수신이 되었는데 이때 측정된 신호의 강도는 30dB μ V/m이었다. 부산출발 3,500초 이후부터는 충주기준국 신호가 다시 수신되었는데 신호의 세기는 45~67dB μ V/m범위에 있었다. 항공기가 수색에 가까워짐에 따라 60dB μ V/m이상의 팔미도기준국 신호가 잡히기 시작했다.

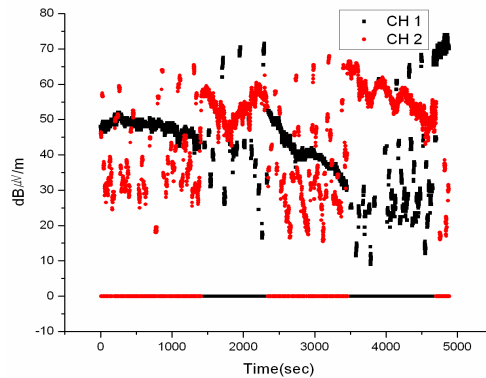


Fig 15. A582구간의 신호수신강도

4.4 수색-동해(G597) 구간

이 구간동안 양 채널에 수신된 신호들의 전계강도는 15~65dB μ V/m범위로 넓게 분포되어 있다. 그렇지만 수색비행장을 출발하여 강원 VORTAC 상공에 이르기 전까지 약 30분 동안 40dB μ V/m이상의 팔미도기준국 신호가 채널 1을 통하여 수신되었고, 이후부터 동해 상공에 이르기까지 48dB μ V/m 이상의 강한 평균기준국 신호가 수신되었다. 따라서 이 항공로구간에서는 기준국 신호가 양호하게 수신되고 있다고 평가할 수 있다.

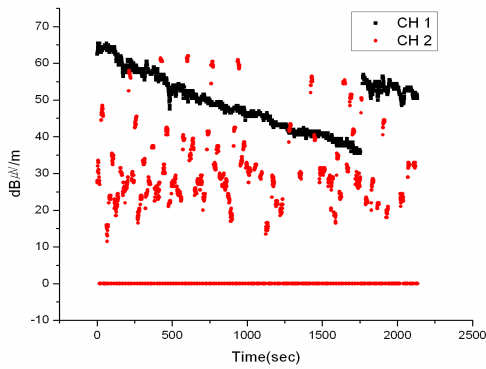


Fig 16 G597구간의 신호수신강도

4.5 동해-부산(V11) 구간

이 구간동안 양 채널에 수신된 신호들의 전계강도는 15~70dB μ V/m범위로 넓게 분포되어 있다. 그렇지만 동해상공에서부터 포항인근 상공에 이르는 동안 평창기준국 신호가 52dB μ V/m에서부터 30dB μ V/m까지 변화하며 채널 1을 통하여 수신되었고, 그 이후부터 김해 상공에 이르기까지 40dB μ V/m 이상의 울릉도 기준국 신호가 수신되었다.

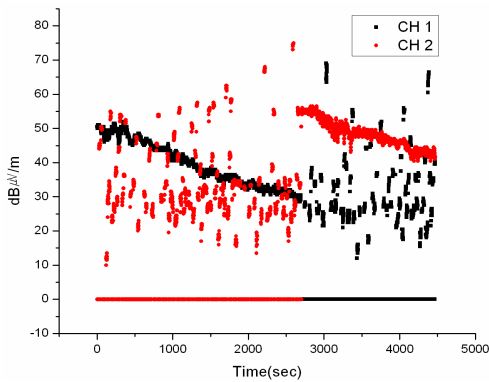


Fig 17. V11구간의 신호수신강도

4.6 부산-대구-군산(A582-V549) 구간

부산상공에서부터 대구상공까지 비행하는 동안 울릉도기준국의 신호가 약 40dB μ V/m의 강도로 채널2를 통하여 계속 수신되었고, 대구상공에서부터 군산인근 상공까지 성주기준국의 신호가 채널1을 통하여 수신되었다. 대구에서 V549 항공로를 따라서 성주기준국에 최단거리로 접근함에 따라 신호의 강도는 처음 55dB μ V/m에서 75dB μ V/m까지 증가하였다가 항공기가

군산 쪽으로 점점 멀어짐에 따라 30dB μ V/m까지 감소하는 것을 볼 수 있다.

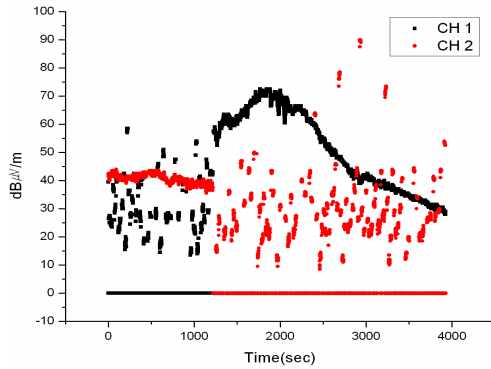


Fig 18. A582-V549구간의 신호수신강도

4.7 광주-대구-포항(V547-V549) 구간

광주상공에서 시작하여 대구상공을 거쳐 포항상공까지 비행하는 동안 33~60dB μ V/m의 범위에서 변화하는 무주기준국의 신호가 채널 2를 통하여 수신되었다.

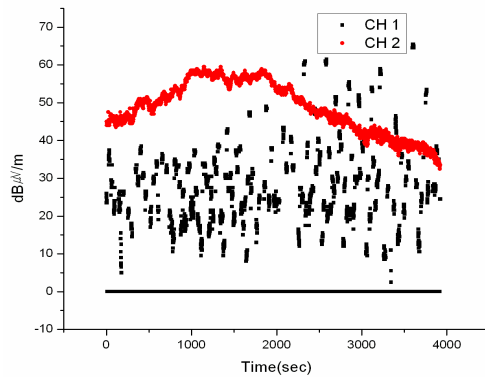


Fig 19. V547-V549구간의 신호수신강도

무주기준국과 LOS거리 140km지점인 광주상공에서의 무주기준국 신호의 전계강도는 45dB μ V/m으로 측정되었고, 항공기가 V547항공로를 따라서 무주기준국의 최단 LOS거리인 100km지점에 도달했을 때 전계강도는 60dB μ V/m까지 증가하였다. 그러다가 항공기가 최단 LOS거리 지점을 지나 대구를 거쳐 포항상공(LOS거리 190km가 되는 지점)에 도달했을 때 무주기준국 신호의 전계강도는 33dB μ V/m까지 감소하였다.

4.8 포항-수색(G585) 구간

포항 인근 상공에서부터 수색 비행장까지 약 72분을 비행하였는데 앞서의 수색-광주 구간에 비해 수신된 신호들의 전계강도가 다소 낮다. 양 채널로 수신된 신호들의 전계강도는 대부분 15~55dB μ V/m의 범위에 분포하고 있으며, 이 구간 비행에서는 울릉도 기준국의 신호가 가장 많이 수신되었다. 이외에도 소흑산도기준국, 소청도기준국, 무주기준국 등으로부터 신호가 수신되었다.

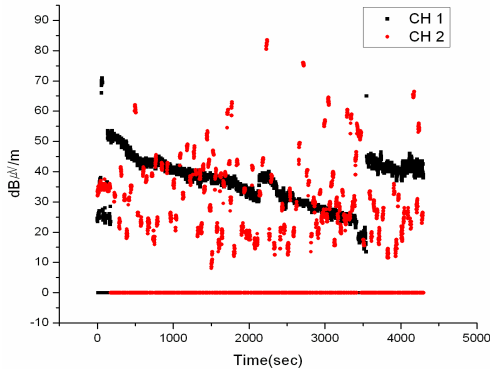


Fig 19. G585구간의 신호수신강도

V. 결 론

본 연구에서는 공역에서의 NDGPS 신호의 전계강도 및 SNR 특성을 조사하기 위해 소형 항공기를 이용하여 우리나라의 대표적인 항공로를 따라 비행을 하면서 NDGPS 신호를 측정하고 분석하였다. 또한 수도권의 한 비행장에서 이착륙 비행시에 충분한 강도의 신호가 수신되는 가를 확인하기 위해 이착륙 측정비행을 실시하였다.

Table 3. 비행시험별 전파수신율

구분	비행 시간	수신 시간	수신율(%)	
			25dB μ V/m 이상	40dB μ V/m 이상
1차비행	2:43:57	2:43:38	99.81	96.45
2차비행	4:17:39	4:17:02	99.76	87.64
3차비행	4:04:49	4:02:25	99.02	85.76

1차 비행경로에서 측정된 NDGPS 신호의 전체 수신율은 99.81%(40dB μ V/m이상은 96.45%)이고, 수신기 2개의 채널에 수신된 신호 강도의 범위는 25~75dB μ V/m로서 아주 양호한 값을

보이고 있다.

2차 비행경로에서 측정된 NDGPS 신호의 전체 수신율은 99.76%(40dB μ V/m이상은 87.64%)이고, 수신기 2개의 채널에 수신된 신호 강도의 범위는 10~75dB μ V/m이다.

3차 비행경로에서 측정된 NDGPS 신호의 전체 수신율은 99.02%(40dB μ V/m이상은 85.76%)이고, 수신기 2개의 채널에 수신된 신호 강도는 2차 비행경로 때와 마찬가지로 10~75dB μ V/m 범위에 있다.

광주-부산간의 G595항로에서는 주변의 기준국의 신호를 수신하지 않고 거리상으로 먼 울릉도기준국의 신호를 수신하였던 것은 측정장비를 신호가 센 신호를 자동으로 수신하게 세팅한 결과이다. 이를 정확하게 분석하기 위해서는 측정장비를 한 기준국으로 고정하여 거리별 및 항로비행 신호 측정실험이 필요하다.

공역에서 NDGPS의 신호측정을 수행한 결과 대체로 항공분야에도 제한적인 활용이 가능할 것으로 판단된다. 항공기의 정밀항법에는 직접 적용이 어렵겠지만 비행훈련, 시계비행 기준, 항공정밀경작, 항공사진 촬영 등 많은 분야에서 보조적으로 활용이 가능하다. 비행훈련에서 가장 어려운 부분이 비행장 장주비행 및 이착륙 비행 훈련인데 GPS와 NDGPS를 결합하여 사용함으로써 비행교육의 효율을 높이고 객관적인 조종품질을 평가하는데 큰 도움이 될 것이다.

또한, 개인 항공기(Personal Air Vehicle) 시대가 도래하면 자동차와 항공기로 활용할 수 있는 하이브리드 항공기가 출현하게 되는데 이때에는 수많은 착륙장 또는 비행장이 주거지 근처에 구축이 될 것이며, 지금과는 다른 형태의 비행 운항환경이 구축이 될 것인데 이 때 NDGPS정보의 활용을 고려할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 (주)안세기술의 지원으로 수행된 연구임.

참 고 문 헌

[1] 고광섭, 심재관, 최창목, 정세모, “설계 유효성범위이상에서의 RNB/DGPS 정밀도 및 신뢰성에 관한 연구”, 한국항해학회지 제24권 제3호, p.157, 2000
 [2] USCG, "Broadcast Standard for the USCG"

DGPS Navigation Service COMDTINST M16577.1", 1993. 4.

[3] www.ndgps.go.kr

[4] Trimble, DSM 232 GPS Receiver User Guide, 2006. 6.

[5] N. DeMinco, "Ground-Wave Analysis Model for MF Broadcast Systems." NTIA Report 86-203, 1986. 9.

[6] 조선제, "DGPS 기준국 및 전 공역 위성항법 신호분석에 관한 연구", 세종대학교 대학원 석사 학위 논문, 2005

[7] USCG, "Broadcact Standard for the USCG DGPS Navigation Service COMDTINST M16577.1", 1993. 4.

[8] 해양수산부, "한국형 WADGPS구축 신호분석 및 신호동기제어방안 연구개발용역 중간보고서", 2002

[9] 고광섭, 이희재, 정세모, "극동 아시아 DGPS 기준국들의 커버리지 예측에 관한 고찰", 1999

[10] 공현동, 안효승, 송글재, "삼각기준점을 활용한 전국망 위성항법보정시스템(NDGPS)의 측위 정확도 분석", 2007. 10.

[11] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, "Global Positioning System Theory and Practice", Fourth, Revised Edition, SpringerWeinNewYork.

[12] 김시환, "우리나라 항공로의 구조 및 기능적인 개선방안", 인하대학교 국제통상물류대학원 석사학위논문, 2004.

[13] 강자영, 김장환, 안재형, 전동구, 심영관, 이승하 "조종능력 증대를 위한 비행품질 평가 시스템 개발", 2005년도 산학연 공동기술개발 컨소시엄사업 최종발표회, 2006. 4.

[14] 안재형, "한국 NDGPS 신호의 항공분야 활용을 위한 가용도 분석", 한국항공대학교 일반대학원 석사학위논문, 2008.

[15] 안재형, 유병선, 강자영, "공역에서의 NDGPS 신호 전계강도 측정 연구". 한국항공운항학회 2010년 국제컨퍼런스, 2010. 5.