비행기지 PAR을 이용한 DGPS 공항 접근 및 착륙 정확도 분석

Analysis of DGPS Approach and Landing Accuracy using Air Base Precision Approach Radar

구 정^{*,**} 표 상 호^{*,**} 강 경 성^{*,**} 김 기 형^{**}
Jung Koo Sang-Ho Pyo Kyeong-Sung Kang Ki-Hyung Kim

Abstract

This paper analyzes the accuracy on the approach and landing of aircraft to an airport through comparison with airbase Precision Approach Radar and aircraft track data of DGPS equipped in aircraft. The proposed analysis result could be a basis for verifying the possibility that DGPS can be utilized in Airbase precision approach and landing. Position identification capability of widely used commercial DGPS is fairly accurate on latitude and longitude, while there is a slight error for being used in an airbase accurate approach and landing of Category I precision when it comes to altitude. Thus, we tested accuracy by analyzing actual flight track data of high performance aircraft to verify the accuracy of the airbase approach and landing using DGPS. Through the research, we developed instrumentation to compare PAR track data with DGPS track data, which can be used in reducing the number of PAR verification Flight utilizing it as a system measuring PAR accuracy at PAR installation phase.

Keywords : DGPS(Differential Global Positioning System), NDGPS(Nationwide DGPS), G/SBAS(Ground/Satellite Based Argumentation System), LAAS(Local Area Argumentation System) PAR(Precision Approach Radar)

1. 서론

본 논문은 비행기지의 정밀접근레이더(PAR : Precision Approach Radar)와 항공기 탑재 DGPS의 항적자료에

대한 비교를 통하여 항공기의 공항접근 및 착륙에 대한 정확도를 분석하고, 이를 근거로 항공기의 공항 정밀접근 및 착륙에 DGPS를 활용할 수 있는 가능성을 검증하기 위한 것이다.

GPS 운영국가인 미국은 SBAS(Satellite Based Argumentation System)의 일종인 WAAS(Wide Area Argumentation System)를 실용화하여 운영 중에 있으며, 우리나라도 GBAS(Ground Based Argumentation System)의 일종인 NDGPS(Nationwide DGPS)를 운영하는 등, DGPS가 보편화되어 있다^[1].

† 2011년 6월 22일 접수~2011년 9월 16일 게재승인

* 공군작전정보통신단(Air Force Operation's Information and Communication Wing)

** 아주대학교(Ajou University)

책임저자 : 구 정(hanair9@hanmail.net)

DGPS는 기준신호를 수신할 수 있는 적절한 장비만 갖추었다면 지구상의 어떤 지점에서건 불과 몇 m 이내로 정밀하게 위치를 식별할 수 있는 능력을 가지고 있다. 상업용 DGPS는 위도·경도는 상당히 정확한 반면, 고도 정보는 Category I 정밀도의 공항 접근 및 착륙에 이용하기에는 다소 오차가 있어 이에 대한 검증이 필요한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 고성능 항공기의 실 비행을 통해 PAR 항적자료와 항공기 탑재 DGPS의 항적자료를 추출하여 비교, 분석함으로써 DGPS의 정확도에 대한 검증을 시도하였다. 본 연구를 통해 PAR 항적자료와 DGPS 항적자료를 비교분석하는 방법적 측면의 기법을 개발하고, 이를 이용하여 PAR의 정확도를 검증하는 방법을 제시하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성하였다.

먼저, 관련 연구로서 DGPS의 정확성 검증에 대한 각종 논문과 DGPS를 이용하는 착륙시스템과 관련한 참조 안테나 구축 등, 선행 연구논문을 검토함으로써 본 연구를 위한 실마리를 정리하고, DGPS의 구성과 원리 및 종류 등에 대해서도 간략하게 정리하였다.

제 3장에서는 본 DGPS의 공항접근 정확도 검증에 대한 기준으로서 PAR을 이용하여 정확성을 분석할 수 있는 방법적 측면을 정리하였다.

제 4장에서는 실질적인 검증을 위한 실험자료의 추출과 비교/분석 결과를 나타내었다. DGPS의 고도 정확도를 검증하기 위해서 시험을 단계별로 수행하였으며, 최종적으로 항공기의 공항 접근을 통해 DGPS에서 추출한 항적자료와 비행기지에 설치되어 있는 PAR의 항적 자료를 비교하여 검증하였다.

마지막으로 본 연구의 결과를 적용할 수 있는 분야 및 추가적인 연구사항에 대하여 제시하였다.

2. 관련 연구

가. 연구동향

NAVSTAR GPS 위성이 최초로 운영된 이래 SA (Selected Availability)의 종료와 WAAS를 포함한 각종 DGPS 구현으로 GPS의 측위 정확도는 극적으로 향상되었으며, 정확도의 향상은 DGPS가 항공기의 항로비행 뿐만 아니라 공항 접근의 시작 등, 항공기의 공중항법에 있어 없어서는 안 될 중요한 시스템으로 자리매김하게 하였다.

GPS 및 DGPS를 활용하기 위한 연구의 자취를 살펴

보면 2004년에는 GPS를 이용하여 착륙시스템을 구축하기 위한 연구가 수행된 경우를 찾아볼 수 있으며^[2], 약 600bps의 전송속도를 가지는 저속의 데이터링크체에 적합한 GPS 기준국의 보정치를 제안하고, 500bps 정도의 Virtual 데이터 링크를 이용하여 시험을 수행하는 등, 이러한 능력을 부여하기 위한 연구가 진행되기도 있다^[3]. 2007년에는 한반도 내에 구축되어 있는 NDGPS 망에 대한 시험과 활용성 증대를 위한 연구가 해양수산부 산하 기관을 중심으로 수행되었으며, 과거 정보통신부 주관으로 갈릴레오에 대한 집중적인 연구가 수행되기도 있다^[4]. 최근에는 DGPS를 항공기의 공항 최종 접근에까지 이용할 수 있도록 하는 시도가 행해지고 있으며, 2009년부터는 Category I을 만족하는 DGPS 시스템이 항공기의 공항 착륙에 이용될 수 있도록 하는 연구가 활발히 진행될 것으로 예측하고 있다^[5]. 2010년에는 우리나라에서도 항공기의 공항착륙에 DGPS를 이용할 수 있는 체계를 구축하기 위한 연구를 국토해양부 주관으로 시작하였다.

상기 연구들의 흐름을 종합해 보면 현재 DGPS를 이용하여 항공기의 공항 착륙 유도시스템을 구현하기 위한 연구가 본격적으로 수행되기 시작한 단계에 접어들었다고 볼 수 있다. 그러나 실 체계에 적용할 수 있는 체계는 아직 개발되지 못한 실정이며, 실제의 고성능 항공기를 이용하여 시험을 수행한 예는 찾을 수 없었다.

나. DGPS 원리 및 정확도

DGPS의 일반적 원리는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 DGPS 기준국에서 계산된 오차보정신호를 맨목방송(Broadcasting)하고, 사용자는 이를 기준으로 항공기 등, 움직이는 체계들의 위치를 보정함으로써 정확한 위치를 파악하게 된다.

Fig. 1. DGPS의 원리^[6,7]

DGPS 기준국에는 위성을 기준국으로 사용하는 SBAS와 국가가 운영하는 지상 DGPS 기준국을 사용하는 GBAS(Ground Base Augmentation System)인 NDGPS(Nationwide DGPS), 그리고 특정 목적을 위하여 국지적으로 구축하는 Local Area DGPS 기준국 등으로 나눌 수 있다.

SBAS에는 미국의 WAAS, 이 외에 EU를 중심으로 운영되는 EGNOS(European Geostationary Navigation Overlay Service), 일본의 M-SAS(Multi-functional Satellite Augmentation System) 등이 있으며, 우리나라에서는 GBAS 시스템의 일종인 NDGPS를 운영 중에 있다.

DGPS의 종류는 Table 1에 나타내 놓은 바와 같다

Table 1. DGPS의 종류와 특징^[8]

구 분	GPS	WAAS DGPS	Beacon DGPS	Precision DGPS
위치 정확도	~25m (SA off)	3~5m	1~3m	1cm
교정신호	X	O	O	O
기준국 형태	-	정지위성 국가운영	육상 (고정) 국가운영	육상(이동) 민간운영
기선거리 제한	-	>2000km	200km 내외	10km이내
교정 신호전파	-	1.575 GHz	283.5~325.0 KHz	수백(가변) MHz
교정신호 수신기	-	-	Beacon	RFM(무선 허가필요)
요구전류 (3.3-5V)	<120mA	150mA	250mA	700mA
System 크기	극소형	극소형	중소형	대형

각 DGPS는 그 특성과 용도에 따라 많은 차이를 보이나, 일반적으로 GPS에 비해 대단히 높은 정확도를 보인다. 그러나 현재 사용 중인 WAAS, EGNOS, M-SAS 등을 기반으로 한 DGPS는 위·경도 오차, 즉 위치오차는 비교적 정확한 편이나 고도 오차는 공항 정밀접근 Category I을 만족하기에는 아직도 큰 편차를 나타내고 있다.

이 이외에도 DGPS는 처리하는 방식에 따라 실시간

(Real Time) DGPS, 후처리(Post Processing) DGPS로 나눌 수 있다. 후처리 방식의 DGPS는 GPS를 이용하여 위치를 측정한 후 기준국의 보정값을 적용하여 위치를 재계산하는 방식으로 실제 비행에는 이용할 수 없으며, DGPS의 정확성을 검증하는 방법으로 이용할 수 있다. 또한 정밀도가 매우 높은 Carrier Phased DGPS는 장시간의 측정시간과 특별한 S/W가 필요하므로 본 연구에서는 고려하지 않았다.

다. PAR 및 공항접근범주별 요구 정확도

PAR은 비행기지에 배치된 레이더를 이용하여 항공기의 경로를 제공하는 장비로 전천후 사용이 가능한 항공기 접근 및 착륙 유도 장비이다. 이는 레이더 포착 항적자료를 기준으로 기존의 음성통신장비를 이용하여 항공기의 접근을 유도함으로서 ILS(Instrument Landing System)와 유사한 공항 접근 정밀도를 유지할 수 있다. 즉 PAR은 항공기의 경로(Azimuth)와 강하각(Glide Slope) 정보를 음성을 이용하여 제공함으로서 ILS를 장착하고 있지 못한 항공기에도 사용할 수 있으며, 공항 접근 Category I을 만족할 수 있는 능력을 지니고 있다.

Table 2는 착륙 접근 Category I을 포함한 공항 정밀 접근 및 착륙에 필요한 위치정확도를 나타내고 있다.

Table 2. 공항 착륙접근 범주별 요구 정확도

구 분	수평오차	수직오차
CAT I	9.1m	3.0m
CAT II	4.6m	1.4m
CAT III	4.1m	0.4m

3. 비행기지 정밀접근 검증방법 제안

가. 정밀접근 항적자료 분석

선행 연구에서 살펴본 바와 같이 DGPS를 이용하여 공항 정밀접근을 수행하는데 있어 실제 항공기를 이용하여 분석한 경우는 아직 찾아보기 어렵다. 따라서 실제 항공기의 비행기지 정밀접근에 대한 DGPS 자료와 PAR 레이더의 항적자료 비교를 통해 정확성을 검증해 보는 것은 상당히 의미가 있는 것으로 여겨진다.

1) 시험을 위한 체계

DGPS를 이용한 공항접근의 정확성을 시험하고 검증하기 위한 체계는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 UMPC(Ultra Mobile Personal Computer)를 항공기 조종석 전면에 장착하여 DGPS 항적 자료를 저장함과 동시에 특정 기지에 대한 접근 경로각과 강하각을 조종사에게 시각적으로 나타내 줄 수 있는 체계를 구축하였다.

Fig. 2. DGPS 정밀접근 시험체계

검증하기 위한 방법은 특정 기지에 대하여 UMPC와 DGPS를 탑재한 실제 항공기의 PAR 정밀접근을 수행하고, 같은 시간대에 국토지리정보원에서 정한 비행장 주변의 국가 통합기준점에서의 DGPS 위치자료를 수신함으로써 DGPS의 오차를 측정한다. 항공기가 정밀접근을 수행하는 동안 PAR에서는 이 항공기를 추적하여 항적자료를 생성하고, DGPS와 PAR에서 추출한 항적자료 비교를 통하여 정밀접근에 대한 정확성을 검증하는 것이다.

항공기에 탑재하는 DGPS와 국가통합기준점에서 오차를 측정하는 DGPS는 각종의 정보를 10Hz로 제공하는 DGPS를 선택하여 항공기의 속도로 인해 나타날 수 있는 오차를 최소화할 수 있도록 하였다.

2) 비행계획에 대한 PAR 자료 분석

한국 공군은 각 기지별로 여러 종류의 PAR을 운영하고 있으며 자체 개발한 체계를 이용하여 항적자료의 디지털 데이터를 추출하는 능력을 갖추고 있다. 공군에서 운영하는 PAR(AN/GPN-22)의 데이터 출력 포맷은 다음 Fig. 3과 같다.

첫 번째 그림에서 보는 바와 같이 PAR 항적자료의 경우 아날로그 신호와 디지털 신호로 나타내 주며, 두 번째 자료는 총 40bit로 출력 되는 디지털 데이터를 나타내고 있다.

세 번째 표는 각종 디지털 데이터의 의미를 나타내

고 있다. 네 번째는 디지털 데이터를 보다 세부적으로 나타낸 것으로 경로각은 $-10^{\circ} \sim +10^{\circ}$ 까지 8bit인 0~255의 값으로 나타내고 있다. PAR이 바라보는 시점에서 10° 왼쪽은 255가 되고, 127의 경우 정 중앙의 경로를 나타내며, 10° 오른쪽은 0을 나타낸다. 강하각은 $-1^{\circ} \sim +7^{\circ}$ 까지 8 bit로 나타내며, 0~135의 값으로 출력된다. 거리의 경우 20NM까지 총 10bit로 나타내며 값은 0~1010이다. 20NM의 경우 최대값 1010을 적용할 경우 1NM당 50.5의 값을 가지게 된다.

PAR의 정확도는 Table 3과 같다.

PAR 신호	신호형태	비고
Digital Data		
Analog Data	0 Range Trigger 	
	Scan Video 	

1010100000011000000001000110001000010011
1010100000011000000001000110001000010110
1010010110000001000110000001011001111001
1010010110000001010111000001011001111001
1010010110000001100100000001011001111001
1010010110000001100110000001011001111001
1010010110000001000001100000101101111001
101001011000000100100010000001011001111001
10100101100000010011110000010000010011000
10100101100000010101101101011111010000000
10100101100000010111100001000101000100000

TYPE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
DATA TYPE 1, 5, 9, 13, 17, 21 FIRST TRACK WORD	M										L	M																					
	100										0																						
DATA TYPE 2, 6, 10, 14, 18, 22 AZIMUTH WORD																																	
DATA TYPE 3, 7, 11, 15, 19, 23 ELEVATION WORD																																	
DATA TYPE 4, 8, 12, 16, 20, 24 STATUS																																	
																													</

Fig. 3. 공항 정밀접근항적에 대한 PAR 출력자료

Table 3. AN/GPS-22 PAR의 오차 범위^[9]

구 분	오차범위
Elevation	실제 고도 대비 0.1°
Azimuth	실제 방위 대비 0.2° 혹은 30ft
Range	실제거리의 2% 혹은 200ft

3) PAR 및 WGS-84 좌표체계

Fig. 4는 항공기가 착륙 공항에 PAR 접근을 수행하는 경우를 나타내고 있다.

Fig. 4. PAR에서의 항공기 위치

PAR에서 제공하는 접근 경로는 일반적으로 활주로 착륙지점(GPI : Ground Point of Impact)에 대하여 3°의 강하각으로 항공기가 진입하도록 설정되어 있다. PAR은 활주로 주변의 특정지점에 활주로와 나란한 방향으로 설치하여 포착된 항공기가 공항에 정밀하게 접근할 수 있도록 하고 있으며, 착륙지점과의 거리(Range), 강하각(Glide Slope), 진입각(Azimuth)에 대한 정보를 제공한다. 즉 지구상의 특정 지점에서 PAR을 기준으로 한 좌표계로 나타낼 수 있다. 그림에서 PAR은 항공기와의 직선거리를 나타내 주지만 항공기는 지구 곡면상의 일정한 고도와 방향으로 비행하게 된다. 따라서 항공기의 정확한 위도, 경도, 고도를 나타내기 위해서는 WGS-84 좌표체계의 X, Y, Z 직각좌표계로 나타내고, 이를 다시 위도, 경도, 고도로 환산하는 것이 필요하다.

Fig. 5. WGS-84 체계상의 PAR 위치^[10]

Fig. 5는 PAR의 항공기 위치를 WGS-84 좌표체계상의 위치로 나타내고 있는 개념을 도시한 것이다.

WGS-84 좌표체계상의 실 계산은 먼저 PAR의 위치(위도, 경도, 고도)를 직각좌표계 상의 X, Y, Z 지점으로

전환하여 지구 중심점으로부터 PAR의 위치벡터(X_p, Y_p, Z_p)를 구한다. 다음은 PAR이 바라보는 지구상의 특정 방향으로의 접선벡터에 대한 단위벡터를 구하고, 이를 기준으로 항공기의 사거리에 대한 스칼라량을 곱한 후 항공기가 위치한 강하각과 경도각 만큼 차례로 회전시켜 X, Y, Z 좌표계상의 지점으로 변환한다. 항공기의 최종적인 위치는 X, Y, Z 축 상의 위치를 위도, 경도, 고도로 변환하여 위치를 구함으로서 필요한 연산에 이용하였다.

4) WGS-84와 직각좌표계 간의 변환

항공기의 정확한 위치를 찾기 위한 연산에 사용된 WGS-84 좌표체계 상의 직각좌표계와 위도·경도·고도의 관계식은 다음 식 (1)과 같다^[11].

$$\begin{cases} X = (N+h) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\lambda) \\ Y = (N+h) \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\lambda) \\ Z = [N \cdot (1-e^2) + h] \cdot \sin(\phi) = \left(\frac{b^2}{a^2} \cdot N + h\right) \cdot \sin(\phi) \end{cases} \quad (1)$$

여기서

- $X, Y, Z = ECEF$ (Earth Centered Earth Fixed) 직각 좌표계

- $N = R_N / \sqrt{(1-e^2 \cdot \sin^2 \phi)}$

- R_N : 적도지점의 곡률반경(6378137.0m),

- ϕ : 위도, λ : 경도, h : 고도

- $e = \sqrt{f(2-f)}$

- $f = 1/298.257223563, e^2 = 0.0066943799014$

이다.

반대로 X, Y, Z 직각좌표계에서 위경도 좌표계로의 전환은 다음과 같이 계산된다.

먼저 경도(λ)를 계산하면 $\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)$ 로 표현되며, 위도(ϕ)는 다음 식 (2)로 구할 수 있게 된다.

$$\phi = \tan^{-1}\left[1 - e^2 \cdot N / (N+h)\right] \quad (2)$$

정확한 위도를 구하는 방법은 식 (2)를 이용하여 먼저 $h = 0$ 을 대입하여 초기값 N_0 를 구하고, 이 N_0 를 이용하여 초기 고도값 h_0 를 구한다. N_0, h_0 를 다시 식 (2)에 대입하여 반복계산하는 과정을 거쳐 $|\phi_k - \phi_{k-1}|$

$< \epsilon = 1 \times 10^{-12}$ 이 될 때까지 반복계산을 수행하여 정확한 위도를 구하게 된다^[12].

고도는 식 (3)을 이용하여 구할 수 있다.

$$h = \frac{P}{\cos(\phi)} - N_{i-1} \quad (3)$$

여기서 $P = \sqrt{(X^2 + Y^2)} = (N + h) \cdot \cos \phi$ 이다.

상기 식들을 이용하여 좌표변환을 수행할 경우 부동소수점 연산에 이용되는 변수는 충분히 큰 수를 표현할 수 있도록 double 형 변수로 선언하는 것이 필요하며, 그렇지 못할 경우 상당히 큰 오차를 나타낼 수 있다.

5) 공항 활주로 관련사항

앞에서도 언급한 바와 같이 비행기지에 Cat I을 만족하는 정밀접근을 수행할 경우 높은 위치 정확도를 요구한다. 따라서 PAR의 경우 정확한 위도, 경도, 고도(FE) 혹은 활주로 끝단으로부터의 정확한 거리와 활주로 중앙선으로부터 이격거리, 그리고 PAR안테나의 정확한 높이, 안테나가 바라보고 있는 각도, 즉 활주로 방향에 대한 정확한 자료가 필요하다. 이들은 비행 정보간행물과 인터넷의 각종 디지털 지도에서 쉽게 획득이 가능하다.

4. 실험 및 결과의 검증

가. 실험 및 검증의 단계화

현재 상업적으로 판매되고 있는 DGPS를 이용한 공항 정밀접근에 대한 정확도 검증은 Fig. 6에서와 같이 3단계로 구분하여 검증을 수행하였다.

Fig. 6. 단계별 DGPS 정확도 검증

첫 번째로 국가통합기준점(측지점)에서 DGPS의 정확도를 검증하는 것으로 다수 지점에서의 단시간 검증과 단일지점에서의 장시간 검증을 수행하고, 2단계에

서는 DGPS오차 보정의 효용가치를 예측하기 위하여 DGPS 기준국에서 측정된 오차 정보를 이용하여 항공기의 위치를 보다 정확하게 보정하는 시뮬레이션을 수행하는 것이다. 시험 방법은 정확한 위치와 고도를 알 수 있는 특정 측지점에 두 대의 DGPS를 위치시켜 일정한 시간동안 측정하고 측정된 결과를 바탕으로 위치정확도를 계산하게 된다. 즉 DGPS 기준국의 역할을 하는 DGPS를 별도로 지정하고, 지정된 DGPS에서 측정되는 오차를 기준으로 상대 DGPS에서 측정된 자료를 보정해 주는 방식을 택하였다.

3단계에서는 실험을 통해 정확도가 검증된 DGPS를 실제 항공기에 탑재하여 비행을 수행하고, 후처리 방식의 DGPS 보정값을 감안하여 비행기지의 PAR 자료와 비교하는 방법을 택하였다.

나. 사용 DGPS의 정확도 분석

먼저 첫 단계로 사용하게 될 DGPS의 위치별, 시간대별 위치 정확도를 정확하게 검증함으로써 오차의 범위를 우선적으로 분석하였다. 측정은 국가표준 통합기준점을 여러개 선정하여 단시간 측정하는 것과 및 단일지점에서의 장시간 측정으로 수행하였다. Fig. 7은 국가표준 통합기준점 U0297(평택시 장당동)에서 DGPS의 위치정확도를 측정하고 있는 것을 나타내고 있다.

Fig. 7. DGPS의 정확도 측정 장면

Table 4는 다수지점에서의 단시간 측정된 결과를 나타내고 있으며, 위치(위도·경도) 오차는 약 0.1~2m, 고도 오차는 1~14m 정도의 오차를 보여 위치오차는 비교적 적으나 고도오차는 상대적으로 커서 정밀 위치측정 시스템으로는 다소 제한이 있을 것으로 판단된다.

Table 5는 특정 지점(U0374, 평택시 팽성읍)에서 7시간 30분 동안 측정된 결과이다. 위치(위도·경도)오차는 약 0.02~1.3m로 비교적 정확한 위치식별능력을 나타내었으며, 고도오차는 약 0.07~8m 정도의 오차를 나타내었다.

Table 4. DGPS 측정 결과(1)

장비 위치	DGPS1(H-----)		
	위도(°)	경도(°)	고도(m)
U0297	0.000009	0.000042	13.59
U0373	0.000003	0.000024	7.33
U0374	0.000004	0.000006	6.86
U0367	0.000005	0.000036	1.11
평 균	0.000005 (약 0.3m)	0.000027 (약 1.3m)	7.22

장비 위치	DGPS2(A-----)		
	위도(°)	경도(°)	고도(m)
U0297	-0.000005	0.000015	8.99
U0373	-0.000056	0.000009	2.83
U0374	0.000027	-0.000021	6.36
U0367	0.000004	0.000003	9.01
평 균	0.000023 (약 1.1m)	0.000012 (약 0.5m)	6.79

Table 5. DGPS 측정 결과(2)

장비 시간	DGPS1(H-----)			DGPS2(A-----)		
	위도 (°)	경도 (°)	고도 (m)	위도 (°)	경도 (°)	고도 (m)
10:00	0.000018	0.000007	7.87	0.000017	0.000022	0.97
10:30	0.000010	0.000009	7.77	0.000015	0.000022	1.17
11:00	-0.0000004	0.000007	6.57	0.000010	0.000019	2.07
11:30	-0.000007	0.000022	2.87	0.000013	0.000019	0.57
12:00	-0.000008	0.000020	4.17	0.000015	0.000015	0.07
12:30	-0.000011	0.000012	2.17	0.000016	0.000012	0.57
13:00	-0.000012	0.000006	1.97	0.000017	0.000010	0.57
13:30	-0.000015	0.000002	0.07	-0.000005	0.000009	1.67
14:00	0.000007	0.000004	4.57	0.000003	0.000009	3.57
14:30	-0.000010	-0.000003	3.97	-0.000007	0.000009	6.07
15:00	-0.000010	-0.000006	1.77	-0.000012	-0.000003	2.97
15:30	-0.000010	-0.000001	4.97	-0.000022	0.000002	3.97
16:00	0.000002	0.000010	4.47	-0.000015	-0.000008	2.27
16:30	-0.000002	-0.000003	7.87	-0.000010	-0.000011	2.27
17:00	-0.000010	-0.000003	5.17	-0.000005	-0.000013	2.57
17:30	-0.000020	-0.000001	7.77	0.000008	-0.000011	2.37
평균	-0.000005 (약 0.2m)	0.000005 (약 0.2m)	4.62	0.000002 (약 0.1m)	0.000006 (약 0.2m)	2.10

앞에서 살펴본 바와 같이 DGPS의 위치식별 능력은 위도·경도에 있어서는 정확한 위치식별 능력을 나타내어 정밀접근 및 착륙을 위한 오차 범위 이내에 있으나 고도 오차는 일부 Cat I을 초과하는 경우가 있을 수 있다.

다. 후처리 방식(Post Processing)에 의한 DGPS의 정확성 검토

후처리 방식의 보정이란 기준이 되는 DGPS를 정확한 위치를 알고 있는 측지점에 위치시켜 특정시간대의 오차를 정확히 측정하고 같은 시간대에 측정하고자 하는 지점에서의 GPS 상의 위치를 측정하여 오차를 보정하는 방법이다. 즉 1대의 DGPS는 측지점에서 오차보정치를 추출하는 역할을 담당하며, 나머지 DGPS는 측정하고자 하는 위치에서 위치정보를 수신한다. 본 시험에는 3대의 WAAS DGPS를 이용하였다. 1개 측지점에서 각각 2시간 씩 측정하고 그 결과를 후처리방식으로 계산하였다.

Fig. 8. 후처리방식의 고도오차 보정

Fig. 8은 후처리 방식으로 측정한 고도오차 보정에 관한 자료이다. 첫 번째 그림은 위성 DGPS(M-SAS)의

위치측정자료를 나타내고 있으며, 두 번째 그림은 보정한 결과를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 DGPS로 측정할 경우 고도 오차가 20~30ft 정도의 오차를 보이는 반면, 오차보정을 수행한 경우 오차가 약 10ft 정도로 줄었음을 알 수 있다. 이는 NAVSTAR 위성으로부터 수신되는 각각의 의사거리(Pseudo Range)를 측정하지 않은 종합된 위치오차를 기준으로 보정한 결과로서 각각의 Pseudo Range를 고려할 경우 정확도는 더 향상시킬 수 있을 것으로 본다.

라. PAR Radar 자료와의 비교를 통한 DGPS의 정확도 분석

Fig. 9는 항공기가 대구기지에 정밀접근 및 착륙을 수행하는데 필요한 정보를 나타내고 있다.

Fig. 9. 대구 국제공항 활주로 및 PAR 배치

Fig. 10은 이를 보다 세부적으로 나타낸 자료로서 PAR에서의 항적자료와 활주로 착륙지점과의 상관관계를 나타내었다. DGPS의 정확성을 검증하기 위해서는 PAR에서 바라보는 항공기의 위치자료와 항공기에 장착된 DGPS가 측정하는 자료와의 관계에 대한 정의가 필요하며, WGS-84는 이를 나타낼 수 있는 가장 좋은 좌표체계가 될 것이다. 따라서 PAR에서 추적하는 항적의 위치를 WGS-84 좌표체계상의 위도, 경도, 고도로 환산하여 나타내고, 이를 활주로 상의 착륙지점에 대한 접근경로와 강하각으로 나타내어 정확한 위치를 작도하였다.

Fig. 10. 대구 국제공항의 정밀접근 자료

Fig. 11은 대구 국제공항 접근 항적에 대하여 PAR과 DGPS 자료를 고도와 방위를 중심으로 나타낸 자료이다. 그림에서 보는 바와 같이 방위와 고도에 있어 DGPS의 자료가 PAR자료의 오차범위 내에서 동일한 경향을 나타내고 있다.

Fig. 11. 공항 접근 항적의 고도 및 방위에 대한 PAR 및 DGPS 비교

Fig. 12는 Fig. 11에서 나타낸 정보를 결심고도(DH : Decision Height)에서 항공기가 실패접근(Missed Approach)하는 부분에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 첫 번째 접근의 경우, 두 대의 DGPS와 PAR 항적자료가 거리와 고도에 있어 거의 완벽하게 일치하는 경향을 보이고 있다. 고도 보정을 수행한 경우와 수행하지 않은 경우에 있어서 모두

PAR과 5ft 이내의 차이를 보이고 있다. 거리의 경우 189ft의 차이를 보였으나 이는 PAR의 오차 범위 내로 볼 수 있다.

두 번째 접근에서는 DGPS2의 자료는 PAR과 약 16ft의 고도오차를 보였으나, DGPS1의 자료는 1~2ft의 오차범위 내에서 일치하는 것으로 나타났다. DGPS 수신 상태에 따라 고도 및 방위오차가 약간 다를 수 있으나 공항의 Cat I 기준에 만족하고 있음을 알 수 있다.

향후 NAVSTAR 위성 각각의 Pseudo Range를 측정하여 접근 및 착륙에 이용할 경우 Cat I을 충분히 만족할 수 있을 것으로 기대된다.

Fig. 12. PAR 및 DGPS 항적자료의 세부 비교

5. 결론 및 향후 연구사항

본 논문은 항공기의 공항 정밀 접근에 DGPS를 이용할 수 있는 방법을 연구하기 위한 것으로 고성능 항공기의 실제 비행을 통해 추출한 자료를 이용하여 이를 검증하였다.

본 연구를 통해 항공기가 특정 공항에 접근 및 착륙을 수행함에 있어 DGPS의 이용 가능성이 충분함을 입증하였으며, 2번의 실제 비행을 통한 기지 정밀

접근을 수행하는 가운데 확보한 4종의 DGPS 자료 중 1회만 PAR 자료와 약간 상이한 결과를 나타내었으며 3종의 자료는 거의 일치하는 만족한 결과를 얻었다.

본 연구는 DGPS의 정확성을 검증하기 위한 것이었으나 비행기지에 PAR을 설치 시 PAR인증을 위한 사전 단계로서 DGPS를 장착한 항공기의 비행을 통해 그 정확성을 측정함으로써 검증비행 횟수를 줄일 수 있을 것으로 본다.

향후 공군에서 연구 중에 있는 S/W 패킷 모뎀^[13]과 PAR 인가 주파수, 그리고 임무컴퓨터로 활용될 신형 UMPC를 이용할 경우 최소의 비용으로 기지 정밀접근이 가능한 Local Area DGPS 체계를 구축할 수 있으며, 실제 비행에 이용 가능한 RTK DGPS를 구축하여 운영함으로써 보다 높은 정밀성을 가지는 체계를 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] 군산지방해양수산청, “전국망 위성항법보정시스템(NDGPS)의 측위 정확도 분석 및 이용활성화 방안”, 2007. 2.
- [2] 채성병, “GPS를 이용한 항공기 이착륙시스템 개선에 관한 연구”, 한국항공대학교 항공산업정보대학원, 2004. 6.
- [3] Jeonghan Kim and Changdon Kee, “RTK-GPS Correction Generation Technique For Low-Rate Data-Link”, The Journal of Navigation 57, pp. 465~477, 2004.
- [4] 한국전자통신연구원, “위성항법시스템의 국내도입을 위한 지역지상국 및 탐색구조 서비스 기술 선행연구”, 정보통신부, 2007. 2.
- [5] Alfred R. Lopez, “GPS Landing System Reference Antenna”, IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 52, No. 1, pp. 104~113, February 2010.
- [6] Bill Clarke, Aviator's Guide to GPS, 2nd Edition, McGraw-Hill, p. 42, 1995.
- [7] 구정, “상업용 GPS의 군사적 활용방안 연구”, 공군 전투발전단 연구 제15호, pp. 562~595, 1999. 12.
- [8] 박용철, “Beacon DGPS 개발과 Mobile IT Solution 응용”, 인하대학교 해양학과, 서해안환경연구소센터(과기부지정), 2002.

- [9] T.O. 31P5-2GPN22-2. Table 1-1 ~ 1-2.
- [10] 국방정보본부, “미 국방성세계측지체계 1984 (WGS84)”, pp. 2~6, 1991. 9.
- [11] NIMA, Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems., NIMA TR8350.2 THIRD EDITION AMENDMENT, p. 4-4., JAN. 2000.
- [12] 국토지리정보원 고시 제2009-598호, GPS에 의한 기준점측량 작업규정 제정, 별지 총괄계산식, 2009. 8. 18.
- [13] 구정 외 3명, “주파수 도약 통신장비용 S/W 패킷 모델 개발 및 적용에 관한 연구”, 한국군사과학기술학회지(통권 51호), pp. 222~231, 2011. 4.