

GPS 측위기술의 포 방열 적용 연구

Study on Applying GPS Positioning Technique to Cannon Laying

조정호* 박종욱* 박필호* 임형철* 최만수* 권영철**
Joh, Jeong-Ho Park, Jong-Uk Park, Pil-Ho Lim, Hyoung-Chul Choi, Man-Soo Kwon, Young-Chul

ABSTRACT

In this paper, we have proposed a capability of applying Global Positioning System(GPS) to cannon laying. High precision GPS positioning can be used for measuring precise positions and angles. Therefore, we have tested on applying GPS positioning technique to measurement of positions and angles, which related to cannon laying. First of all, we have determined a GPS reference position using various positioning methods. Then we have carried out several tests that are process of taking corner angles between neighboring two vectors. Each vector can be calculated by post/real time positioning of two GPS antennas placed on the both ends of the howitzer. The Corner Angles from Post processing(CAP) are compared with the other Corner Angles from Real time positioning(CAR). As the results, we have an agreement between CAP and CAR within 0.25 mil average, 0.29 mil standard deviation. Finally, we have discussed about the capabilities and problems in artillery arrangement using GPS.

주요기술용어 : Cannon Laying(포 방열), GPS(위성측위시스템), Reference(기준점), CAP(후처리 사잇각), CAR(실시간 사잇각)

1. 서론

전포의 방열은 편각기가 위치한 임의의 방향에 대한 사잇각을 이용한다. 이때 포사격 목표지점은 측지반의 사전답사나 독도를 통해 결정된다. 그러나 지도의 신뢰도가 떨어지거나, 측지반의 활동이 제한적인

경우 기존의 측지 방법은 포사격의 정밀도와 효율을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 포대의 운용에 근본적인 제약으로 작용한다.⁽⁸⁾ 이는 결국 군사작전에 영향을 미쳐 심각한 상황을 초래할 수도 있다. 따라서 이러한 문제점을 보완하여 포대 운용의 효율과 안정성을 제고할 수 있는 방법이 필요하다.

GPS는 미국에서 군사적인 목적으로 개발되어 1980년대 중반에 민간에 사용이 제한적으로 개방된 이후, 언제 어디서나 날씨에 상관없이 지상의 3차원 위치를

* 한국천문연구원 GPS연구그룹

** 상무대 포병학교

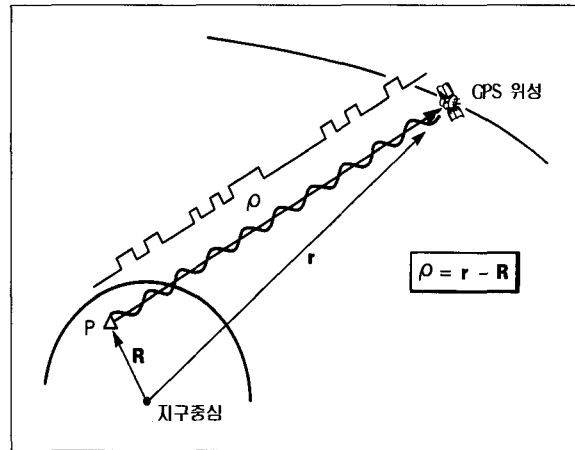
결정하는데 널리 이용되고 있다. 더욱이 2000년 5월 1일 미국은 GPS의 의도적 정밀도 저하조치(SA; Selective Availability)를 해제한 바 있어 일반 GPS 수신기를 사용하더라도 10~20m의 위치정밀도(<http://www.igeb.gov/sa/faq.shtml>)를 얻을 수 있다.

GPS를 이용하면 자료처리 방법에 따라 수 mm에서 수 m의 위치 정밀도를 얻을 수 있는데, 동시에 두 지점을 측정할 경우 두 지점이 이루는 기선의 벡터를 결정할 수도 있다. 만일 전포와 같이 움직이는 강체에 고정된 두 개의 GPS 안테나에 대한 벡터를 결정할 수 있다면, 서로 다른 임의의 시기에 결정된 두 벡터 간 사잇각을 계산할 수 있다. 이 때 결정된 사잇각의 정밀도는 기선을 이루는 두 측정점의 위치 정밀도에 직접적으로 관련된다. 본 연구는 포 방열 시 필요한 제반활동에 GPS를 적용하는 실험을 통하여 GPS의 측지 및 측각 정밀도를 검증하고, 현장적용 가능성과 문제점을 검토하는데 목적이 있다.

2. GPS 측위 및 측각 원리

GPS 측위원리를 간단히 표현하면 그림 1과 같다. 그림 1에서 r 은 위성으로부터 획득한 궤도정보로부터 산출할 수 있으며 의사거리 ρ 는 수신기에서 측정되므로, 이론적으로 3개 이상의 위성을 관측한다면 간단한 삼각측량 원리로 수신기의 위치 즉, R 을 결정할 수 있다. 그러나 ρ 에는 여러 가지 오차가 포함되어 있기 때문에 관측데이터를 처리하여 이를 제거하여야 한다.

일반적으로 측위기법은 관측방법과 자료처리 방법에 따라 표 1과 같이 여러 가지로 나눌 수 있는데, 우선 기준점 사용여부에 따라 단독측위와 상대측위로



[그림 1] GPS를 이용한 위치측정의 기본원리

[표 1] GPS 측위기법별 장·단점 및 정밀도⁽⁵⁾

관측 방법	자료처리 방법	장점 및 유효범위	단점	정밀도
상대 측위	후처리	가장 정밀 (수 km-수천 km)	복잡한 결과산출 과정	mm 급
	실시간 (RTK)	실시간 정밀측위 (30~100km)	관측환경에 민감	cm 급
단독 측위	실시간	실시간 결과산출	부정확	10~20m

나눌 수 있다. 기준점이란 이미 위치가 정밀하게 결정된 지점을 의미하며, 상대측위란 기준점과 측정점의 동시관측 데이터를 처리하여 기준점으로부터 측정점의 상대적인 위치를 결정하는 것을 말한다. 상대측위 기법을 이용하면 공통의 오차를 쉽게 제거할 수 있어 정밀한 위치를 결정할 수 있다. 그러나, 기선거리가 멀어짐에 따라 정밀도가 낮아지는 단점도 있다.^(6,7) 반면에 기준점 없이 임의의 한 지점에서 수신한 데이터와 오차모델을 이용하는 단독측위는 상대적으로 부정

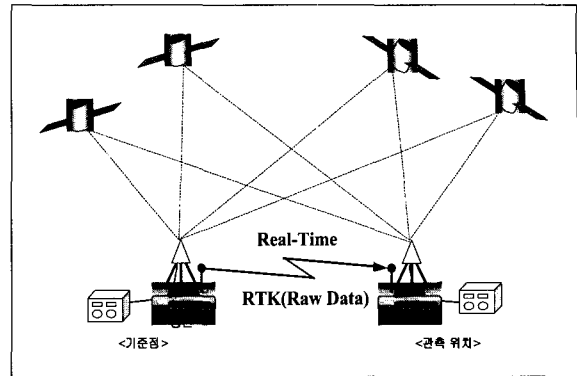
확한 위치를 산출한다.

또한 데이터 처리방법에 따라 실시간 측위기법과 후처리 측위기법으로 나눌 수 있는데, 일반적으로 후처리 측위기법이 안정적이고 정밀한 결과를 산출한다. 실시간 측위기법의 경우 수신기 자체에 내장된 마이크로 프로세서에서 관측데이터를 직접 처리하여 위치를 계산하거나 보정하는데, 그 결과는 관측환경에 따라 민감하게 변하며 후처리 측위기법에 비해 낮은 정밀도를 나타낸다.

모든 측위기법은 관측데이터의 코드(code)나 위상(phase)을 이용하는데, 위상데이터를 이용하면 코드데이터에 비해 좀 더 정밀한 결과를 얻을 수 있다. 그러나 위상데이터 처리 알고리즘은 복잡하고 관측환경에 민감한 단점이 있다.

이미 위치를 정확히 알고 있는 기준점에서 매 관측 시각마다 계산된 위성의 보정치를 측정점에서의 위치 보정에 실시간으로 사용할 수 있다면, 측정점의 위치 정밀도를 수 m 수준으로 유지할 수 있다. 이때 기준점과 측정점은 기준점으로부터 반경 약 100~200km 이내에 위치하여 공통의 관측조건을 유지하여야 한다. 이러한 GPS 정밀도 개선기법을 DGPS(Differential GPS)라고 하는데, 항법분야에 널리 이용되고 있다. DGPS는 일반적으로 GPS 의사거리(Pseudo Range) 보정을 통한 측위 정밀도 개선기법을 지칭하지만, 넓은 의미에서 반송파 위상데이터를 이용한 정밀도 개선기법을 포함한다.

RTK(Real Time Kinematic)는 반송파 위상데이터를 이용한 DGPS 기법 중 하나로 기준점의 관측정보 전체를 측정점에 전달하여 이를 자료처리에 사용하도록 하는 기법으로 측정점의 위치를 수 cm 정밀도로 결정할 수 있다. 기준국에서 제공하는 RTK 정보는 RTCM⁽¹⁾(Radio Technical Commission for



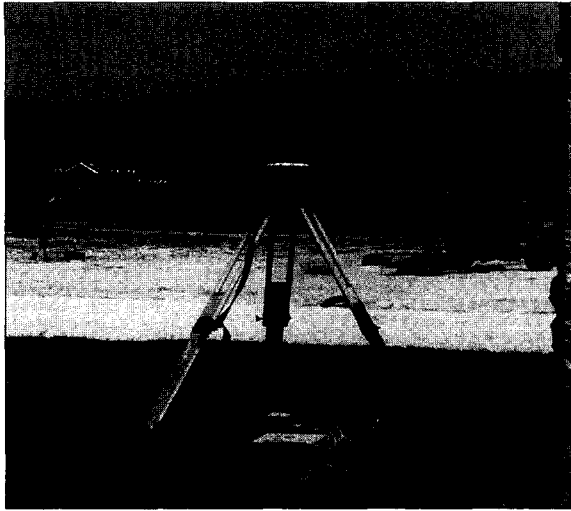
[그림 2] RTK의 개념도

Maritime services) 형식으로도 수용이 가능하지만, 대개의 경우는 데이터 양이 많아 수신기 제조사가 제공하는 형식을 이용한다(Trimble사의 Compact Measurement Record⁽³⁾ 등). RTK는 그림 2에서 보듯이 위상데이터를 이용한 단독측위의 단점을 상대측위 방식으로 보완하였을 뿐만 아니라, 실시간 위상데이터 처리 알고리즘을 통해 광범위한 측정점의 정밀 좌표를 빠른 시간 안에 획득할 수 있는 장점이 있다. 따라서 최근 위상데이터를 이용하는 실시간 상대측위 기법인 RTK가 DGPS의 대안으로 부각되고 있다.

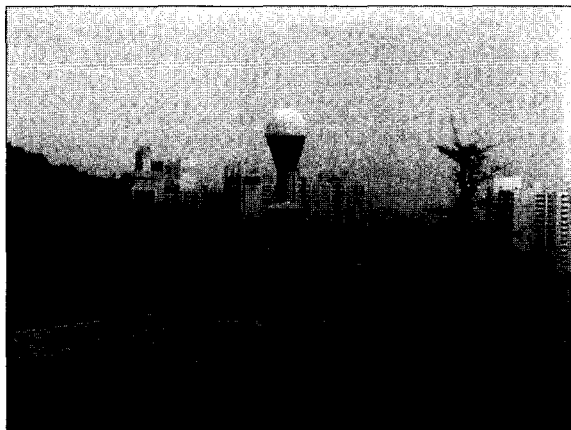
GPS를 이용한 측각 원리는 반드시 상대측위 즉, 두 지점 이상에 대한 측위로부터 시작된다. 두 지점이 이루는 기선의 벡터를 결정하고 각 벡터의 방향각 또는 벡터간 사잇각을 결정하는 것이다. 이때 측각 정밀도는 기선을 이루는 두 지점의 측위 정밀도에 절대적으로 의존한다. 결국 GPS 측위 정밀도는 GPS 측각 정밀도를 좌우하게 된다.

3. 현장적용실험 및 결과

현장적용실험은 크게 GPS 측지실험과 GPS 측각



[그림 3] 포항장 GPS 기준점(REF1)



[그림 4] 한국천문연구원 목포 GPS 기준점(MKPO)

실험으로 나뉘어 수행되었다. GPS 측지실험은 포 방열 전 포대 및 목표지점의 위치를 결정하는 것으로 대개 측지반에 의해 수행되는 활동이다. 이 실험중 상무대 포항장 내 GPS 기준점(REF1, 그림 3)결정실험에는 한국천문연구원이 운용중인 목포 GPS 기준점(MKPO, 그림 4)과 후처리 상대측위기법이 사용되었고, 목표지점의 오차 모니터링 및 보정실험에는 REF1 좌표와 실시간 단독측위기법 및 RTK기법을

[표 2] 실험에 사용된 GPS 장비^(2,4)

구분 장비	모델명	사 양
GPS 수신기	TRIMBLE 4000SSI	L1/L2, 18 Channel Real Time Kinematic
GPS 안테나	TRIMBLE Compact L1/L2 w. G/P	L1/L2 Micro patch, Ground Plane
무선모뎀	TRIMBLE TRIMTALK 450S	450Mhz, 9600 bps, 1-5 km Coverage

적용하였다.

GPS 측각실험은 REF1의 좌표를 기준점으로 이용하여 후처리 측각실험과 실시간 측각실험으로 나뉘어 수행되었다. 후처리 측각실험

힘은 포에 설치된 두 개의 GPS 안테나 위치를 기준점 REF1으로부터 후처리 상대측위 기법으로 결정한 후, 두 안테나간의 기선벡터를 결정하는 방식으로 수행되었다. 또한 임의로 포를 움직일 때마다 실험을 반복하고 인접한 기선벡터간 사잇각을 계산하였다. 이를 실제 포가 움직인 편각과 비교하여 GPS 측각 정밀도를 검증하였다. 실시간 측각실험은 후처리 측각실험과 동시에 실시된 실험으로 RTK 측위기법을 이용하였다.

실험에 사용된 GPS 수신기와 안테나 및 데이터 통신 장비들을 표 2에 정리하였다.

3.1 GPS 측지 실험

GPS 측지실험은 포 방열 관련 제반활동 중 측지반의 활동에 관한 것이다. 이 실험의 목적은 GPS를 이

[표 3] MKPO, REF1의 WGS84 좌표 및 정밀도^⑨

측정점 성분	MKPO	REF1
위도(° ' ") (표준편차")	34 49 0.667 (0.0000)	35 15 17.929 (0.001)
경도(° ' ") (표준편차")	126 22 53.064 (0.0001)	126 35 56.155 (0.000)
높이(m) (표준편차m)	64.38 (0.003)	198.85 (0.001)

용하여 포대 및 목표지점의 측지에 GPS의 활용 가능성을 검토하는 것과 실험과정에서 결정된 GPS 기준점을 GPS 측각 실험에 활용코자 함이다.

고정밀 측지에 사용되는 GPS 기준점의 정밀도는 측지 성과의 질을 결정하는 대표적인 것으로 상대측위기법으로 결정된 측정점의 위치오차는 관측시간에 반비례하고, 기선거리에 비례한다. 또한 기선거리가 길수록 많은 관측시간이 요구된다. 따라서 실험시간을 단축하고 정밀도를 높이기 위해 포훈장 내 GPS 기준점을 결정하였다. 실험에서 포대의 위치에 해당하는 REF1의 정밀좌표를 MKPO로부터 표 3과 같이 결정하였다.

좌표결정에 사용된 MKPO-REF1간 기선거리는 약 50km이고, 3시간 동시관측 데이터를 이용하여 후처리하였다.

또한 GPS를 이용한 목표지점의 좌표 결정 실험을 위해 REF1과 실험차량에 GPS 장비를 설치하고 REF1으로부터 약 2km 떨어진 임의의 위치를 선택한 후 5분간 단독측위와 상대측위를 동시에 실시하였다.

이때 1초마다 단독측위로 결정된 위치의 평균을 기준점 좌표(CAR1)로 가정하고 REF1을 측정점으로 가

[표 4] REF1-CAR1 실험결과

측정점	CAR1		REF1	
	a.후처리	b.단독측위	a.후처리	b.RTK
위도(° ' ")	35 15 30.683	35 15 30.885	35 14 43.791	35 14 43.994
Δ위도 a-b (")	-0.2014		-0.2030	
경도(° ' ")	126 36 56.095	126 36 56.090	126 36 8.632	126 36 8.6306
Δ경도 a-b (")	0.0049		0.0014	
높이(m)	178.77	181.44	105.63	108.05
Δ높이 a-b (m)	-2.67		-2.42	

정하여 RTK를 실시하였다. 부정확한 기준점(표 4의 CAR1,b)에서 이미 위치를 정확히 알고 있는 측정점(표 4의 REF1,a)으로 방송된 보정정보에 의해 결정된 측정점의 위치를 모니터링하고 그 결과(표 4의 REF1,b)를 성분별로 표 4에 정리하였다.

마지막으로 후처리 상대측위기법을 통해 CAR1의 정밀좌표를 결정(표 4의 CAR1,a)하고 단독측위로 결정된 결과와 비교하였다. 그 결과 표 4에서 보듯이 RTK 시 부정확한 기준점으로 사용된 CAR1의 성분별 오차가 측정점 REF1에 그대로 전파됨을 알 수 있다. 이 사실은 한 지점 즉, 포대 또는 아군지역의 좌표를 정밀하게 알고 있다면, 목표지점에서의 비교적

짧은 관측과 간단한 성분별 오차 가감을 통해 나머지 지점의 좌표를 미터 이하의 정밀도로 결정할 수 있음을 의미한다.

3.2 GPS 측각 실험

후처리 및 실시간 측각실험을 위해 3.1절에서 결정된 REF1 기준점, 그리고 그림 5와 같이 포탑과 포신에 설치된 두 측정점에서 후처리 상대측위 및 RTK를 실시하였다.

후처리 측각실험에서는 기준점 결정과정과 마찬가지로 후처리 상대측위기법으로 두 측정점의 5분 관측 데이터를 처리하여 기선벡터를 결정하였다. REF1과 포는 기선거리 약 80m에 위치하여 짧은 관측으로 충분히 정밀한 위치측정 결과를 얻을 수 있었다. 마지막으로 포를 움직일 때마다 결정된 인접 기선벡터간 사잇각을 계산하였다.

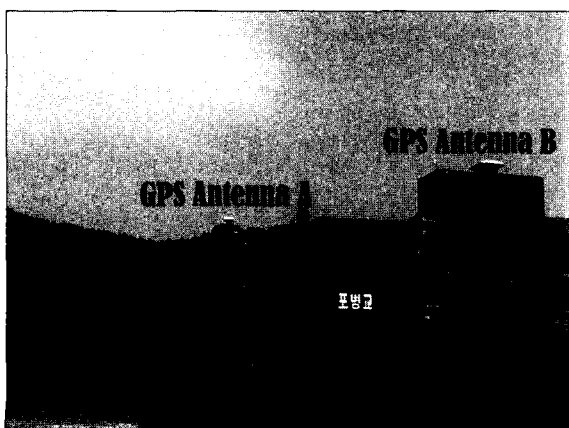
그림 6에서 보듯이 인접한 기선벡터란 다음 차례 조건 시 결정된 기선벡터를 의미하는 것으로 두 벡터가 이루는 각은 이론적으로 편각과 일치한다. 그러나 포탑의 물리적인 회전축을 알 수 없었기 때문에 두 벡터의 교점을 구하여 사잇각을 구하고 실제 편각과

비교(표 5의 d)하였다. 이 과정을 실제 포가 지향하는 여러 방향에 대해 반복하여 수행하였다.

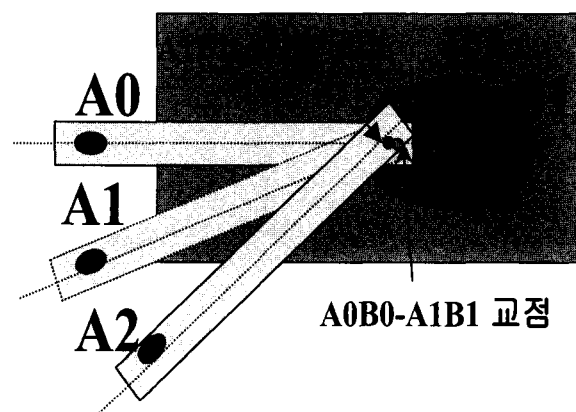
실시간 측각실험은 후처리 측각실험과 동시에 실시되었으며 RTK를 이용하여 30초 이내에 기선벡터를 결정하고 인접 기선벡터간 사잇각을 계산하였다. 이를 실제편각과 비교(표 5의 e)하였다, 또한 표 5의 d와 e를 비교하여 GPS 후처리 측각에 대한 GPS 실시간 측각 정밀도를 검증하였다.

후처리 및 실시간 측각결과와 실제편각간 비교결과를 표 5에 정리하였다. 표 5에서 보듯이 실제 편각에 대한 GPS 실시간 및 후처리 결과는 평균 -0.41 mil, -0.66 mil, 표준편차 1.11 mil, 1.28 mil 수준으로 일치함을 알 수 있다. 그러나 실제상황에서 포탑은 물리적으로 한 회전축을 가질 수 없다. 왜냐하면 포탑자체의 질량분포가 균일하지 않고 기계적인 회전 장치도 불완전하기 때문이다. 뿐만 아니라 목적으로 이루어지는 측각의 주관성도 배제할 수 없는 요소이다.

따라서 GPS 측각 정밀도를 검증하기 위해서는 포탑의 구조적·기계적 오차의 영향을 상대적으로 덜 받는 GPS 후처리 결과를 비교데이터로 사용할 수 있다. 따라서 표 5에 GPS 후처리 결과에 대한 GPS 실



[그림 5] GPS 측각 실험



[그림 6] GPS를 이용한 사잇각 측정원리

[표 5] 후처리/실시간 편각 측정결과

단계	포 지향각 (mil)	a. 실제 편각 (mil)	b. GPS 후처리 사잇각 (mil)	c. GPS 실시간 사잇각 (mil)	d.	d-e
					a-b	
가	3200.00	-	-	-	-	-
나	3350.00	150.00	151.77	151.03	-1.77	-0.74
					-1.03	
다	3050.00	300.00	302.02	301.86	-2.02	-0.16
					-1.86	
라	3250.00	200.00	199.83	199.73	0.17	-0.10
					0.27	
마	3000.00	250.00	249.00	249.01	1.00	0.01
					0.99	
평균	-	-	-	-	-0.66	-0.25
					-0.41	
표준 편차	-	-	-	-	1.28	0.29
					1.11	

시간 결과를 정리하였다. GPS 후처리 결과와 실시간 결과는 평균 -0.25 mil, 표준편차 0.29 mil 수준으로 일치함을 알 수 있다.

4. 토의 및 결론

GPS의 다양한 측위기법을 포대 운용에 필요한 제반 측지 활동과 방열에 적용해 보았다. 이를 위해 GPS를 이용하여 가상의 기준점과 목표지점의 위치를

결정하고, 측각 정밀도를 검증하였으며, 결과를 토대로 현장적용 가능성을 검토하였다.

그 결과 포부대의 위치를 정밀하게 알고 있는 경우 단시간에 간단한 오차 보정을 통해 목표지점의 위치를 미터 이하의 정밀도로 결정할 수 있음을 확인하였다. 또한 후처리 GPS 측각 결과에 대한 실시간 GPS 측각 결과간 비교를 통해 실시간 측각과 후처리 측각이 1 mil 이내에서 일치하는 결과를 산출함을 확인하였다.

그러나 본 연구를 통해 가능성이 검증된 GPS 측위 기술의 포 방열 접목방안을 실용화하기 위해서는 다음의 몇 가지 문제점을 해결하여야 한다.

첫째, GPS장비 설치에 관한 문제로 실제 포 사격 시 발생하는 포신의 충격 및 고열에 GPS의 내구성이 보장되지 않는 것이다. 이 문제는 포신에 설치된 GPS 안테나를 포 방열에는 사용할 수 있지만, 사격 시에는 사용할 수 없다는 것이다. 따라서 포 사격 시 발생하는 충격과 고열에 견딜 수 있는 GPS 안테나가 개발되거나, 포에 GPS 안테나를 직접 설치하지 않고 포 방열을 가능케 하는 대안 또는 대체기구의 개발이 필요하다.

둘째, GPS 측위기법과 고가의 장비사용에 관한 문제로 RTK 기법의 단점과 RTK 적용 수신기의 제한성에 관한 것이다. 이 문제는 RTK의 운용기법과 알고리즘 그리고 고가의 GPS 장비 요구로 나눌 수 있다. 운용상 단점은 보정 정보량이 많아 고주파 통신밴드를 사용하기 때문에 유효통신범위가 좁다는 점이고, 알고리즘상 단점은 기준점과 측정점의 관측환경이 다른 경우 좋은 결과를 얻을 수 없다는 점이다. 즉 좁은 유효통신범위와 기준점과 측정점에서 동일한 관측환경을 유지하여야 하는 조건 때문에 조밀한 간격으로 구성된 GPS 기준망이 필요할 뿐만 아니라 통신망의

안정성도 요구된다.

따라서 포 방열에 GPS 측위기술을 적용하여 실질적인 효과를 얻으려면 앞서 언급한 GPS장비 설치문제에 대한 논의와 검토가 이루어져 해결책 도출이 선행되어야 한다. 뿐만 아니라 포 방열에 적합한 RTK 알고리즘을 자체 개발하여 중·저가의 GPS 수신기에 적용하고, 고주파·고출력의 안정적인 군 자체 통신망과 기존의 GPS 기준망을 활용한다면, 향후 GPS 측위기술을 포 방열 제반활동에 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 여겨진다.

참 고 문 헌

1. RTCM Special Committee No. 104, "RTCM Recommended Standards for Differential GNSS Service", Radio Technical Commission for Maritime Services, 1998
2. Trimble Inc., "4000ssi User Guide", Trimble Navigation Ltd., 1995
3. Talbot, N., "Compact Data Transmission Standard for High- Precision GPS", ION Proceeding, pp.861-871, Sep.1996
4. Trimble Inc., "Trimtalk 450s User Guide", Trimble Navigation Ltd.,1996
5. Wells, D., "Guide to GPS Position -ing", Canadian GPS Associates, 1987
6. 박필호, 박종욱, 조정호, "GPS 위성의 정밀궤도력에 의한 기선결정의 정밀도 향상에 관한 연구", 한국측지학회지 제14권 제2호, 1996년 12월, pp.199~207
7. 박필호, 박종욱, 조정호, 전경수, 조성호, "GPS의 변위 검출 능력에 대한 실험", 한국측지학회지 제17권 제2호, 1999년 6월, pp.161~166
8. 신고봉, "포병 운용능력 발전방향", 국방저널, 2000년 10월호, pp.133~140
9. 임형철, 박필호, 박종욱, 조정호, "한국천문연구원 GPS 상시관측소의 정밀좌표 결정", 한국천문연구원 기술보고서, 2000, No. 00-001-035, p.24