



위성항법 배열안테나의 유도탄 동체 후방 배치

GPS Array Antenna Installation On The Rear Missile Body

박범수* · 안우근 · 이장용 · 고덕곤
국방과학연구소

Bumsoo Park* · Woogeun Ahn · Jangyong Lee · Duck kon Ko

Agency for Defense Development, Chungcheongnam-do, 32143, Korea

[요 약]

종래 유도탄의 경우 대부분 유도탄의 전방부에 GPS (Global Positioning System) 안테나가 장착되는 경우가 많아 종말 유도단계에서 수직 낙하하는 유도탄의 경우 GPS 안테나가 전방부에 위치하면 동체에 의한 위성 신호 가림 현상이 생겨 GPS 성능이 떨어진다. 본 논문에서는 위성 신호에 대한 가시영역을 최대로 확보하기 위해 GPS 안테나를 유도탄의 후방 부에 기울임을 주어 배치하였으며 배열안테나의 패치를 기울여 설계하는 것을 제안하였다. 제안된 안테나 배치 형상에 대하여 GPS 신호의 신호 수신 범위를 분석하기 위해 LOS (Line Of Sight) 관점에서 가시영역을 분석하였고 실제 무반향 챔버에서 수신 신호 세기 측정을 통해 위성 신호의 유효 수신영역을 분석하였다. 또한 야외시험과 비행시험을 통해서 위성 신호의 음영지역이 줄어드는 것을 확인함으로써 GPS 안테나가 유도탄의 후방에 배치되었을 때 얻을 수 있는 장점을 확인하였다.

[Abstract]

In this paper we investigate the advantages when the GPS Antenna is installed on the rear missile body. In conventional design the GPS antenna locates on the front part of missile. However it causes degraded GPS positioning performance since the missile body blocks the GPS signals. This paper proposes the GPS array antenna design which locates on the rear part of missile body and has the tilted antenna patches to achieve the maximum area of receiving GPS signals. We simulate LOS region of receiving signals and conducted anechoic chamber test to define the effective signal receiving region. And we conduct field test and flight test to check out the enhancement of signal receiving area.

Key word : Anechoic Chamber Test, Array Antenna, Delusion Of Precision, GPS, Line Of Sight.

<https://doi.org/10.12673/jant.2022.26.1.9>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 4 February 2022; Revised 10 February 2022
Accepted (Publication) 25 February 2022 (28 February 2022)

*Corresponding Author; Bumsoo Park

Tel: +82-02-2209-3671

E-mail: hyla114@naver.com

I. 서 론

무기 체계의 효과를 극대화하기 위해 종종 탄도 유도탄의 궤적은 종말단계에서 지면과 수직의 입사각을 갖는다. 이때 유도탄의 탄착 정확도 성능은 CEP(Circular Error Probability) 로 측정되며 유도 오차와 항법 오차에 의해 결정된다. 항법 오차는 INS(Inertial Navigation System)의 관성항법 정보와 이를 보정해 주는 GPS 위성항법 정보의 정확도에 따라 결정되며 유도 오차에 비해 항법 오차의 크기가 비교적 크므로 보통 종말단계의 위성항법 정보의 정확도가 탄착 정확도에 미치는 영향이 가장 크다. GPS 항법 수신기의 성능 지표는 위치 정확도, 속도 정확도 및 시간 정확도로 판단된다. 이 중 탄도 유도무기에서 CEP 성능에 가장 큰 영향을 주는 것은 위치 정확도 성능이다. 일반적으로 GPS 수신기의 위치 정확도는 수신기와 GPS 위성 간의 거리지표인 의사거리의 품질과 GPS 송신 위성들의 배치 상태에 의해 결정된다. 또한 의사거리의 품질은 UERE (User-Equipment Range Error) 지표로 평가되며 위성들의 배치 상태는 DOP (Delusion of Precision) 지표로 평가할 수 있다[1].

유도탄의 설계에 있어서 위성항법 안테나의 위치는 유도탄의 용도와 종류에 따라 결정되는 경우가 많으며 장착되는 위치에 따라 요구되는 GPS 수신 안테나의 형상 및 특성이 결정될 수 있다[2][3]. GPS 수신 안테나와 위성항법장치 간 케이블 감쇄를 고려하면 GPS 수신 안테나의 위치는 위성항법장치의 근처에 위치하게 되고 최전방의 폭약 부와 후방의 추진체 부분에 전자장비가 위치할 공간을 확보하기가 불리하므로 일반적으로는 폭약 부와 추진기관 사이의 전방부에 위성항법장치와 GPS 수신 안테나가 설치되는 경우가 많다. 하지만 이 경우 비행 종말단계에서 수직으로 낙하하는 유도탄의 경우 일부 GPS 위성 신호가 유도탄 동체에 의해 안테나의 가시영역 밖으로 가려지는 상황이 발생하며 그 결과 DOP 가 저하 되어 탄착 오차의 증가를 유발한다. 또한 종래 유도탄의 GPS 안테나 위치는 주로 단일 패치 안테나를 고려하여 설계되었다[4]. 본 논문에서는 위성항법 안테나의 위치를 유도탄의 후방에 배치하고 항재밍을 위한 배열안테나의 패치 형상을 활용함으로써 비행 종말단계에서 수직 낙하 시 좀 더 넓은 가시영역을 확보하여 DOP 를 개선하는 방안을 제시하였다.

II. 위성항법 안테나의 배치

2-1 위성항법 안테나의 배치

GPS 위성항법은 재밍 신호에 취약하므로 근래의 유도탄은 배열안테나를 활용한 항재밍 위성항법장치를 주로 사용한다 [5][6]. 배열안테나를 활용하면 여러 개의 안테나로부터 수신된 신호를 결합함으로써 재밍 신호를 제거할 수 있으며, 재밍이 없는 상황에서도 여러 개의 안테나로 수신된 신호를 활용

하여 위성 신호의 SNR (Signal to Noise Ratio)을 증가시키거나 위성 신호의 가시영역을 넓힐 수 있다. 본 논문에서는 그림 1 과 같이 유도탄의 후방에 기울기를 가지도록 안테나를 배치하며, 그림 2와 같이 배열안테나의 각 패치가 지면에 대해 기울기를 갖도록 배치하는 설계를 제안하였다. 본 논문에서 분석한 안테나의 형상은 4개의 패치를 갖는 배열안테나에 대해 성능을 분석하였으며 4개의 패치는 지면에 대해 30도의 기울기를 가지도록 배치하였다. 또한 배열안테나의 베이스 플레이트는 후방 기체에 30도의 기울기를 갖도록 장착이 되어 수평 및 수직 비행 모두 충분한 위성신호의 가시영역을 갖도록 하였다.

위성항법 안테나를 유도탄의 전방에 장착하는 경우에 비하여 후방에 장착할 경우는 후방 날개에 의한 위성 신호 가림이 발생할 수도 있으므로 본 논문에서는 가시영역 분석에 그림3 과 같이 후방 날개 형상을 모사하여 적용하였다.

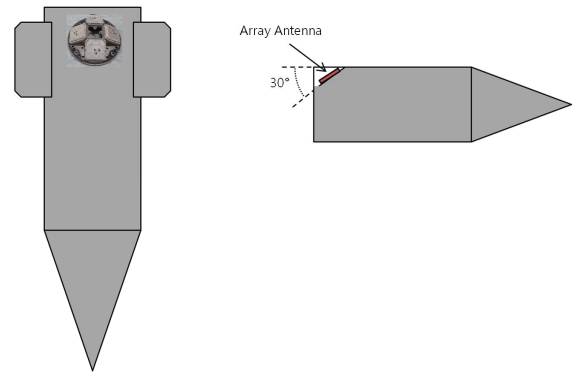


그림 1. GPS 배열안테나 후방 배치 형상
Fig. 1. GPS antenna installation on the rear part

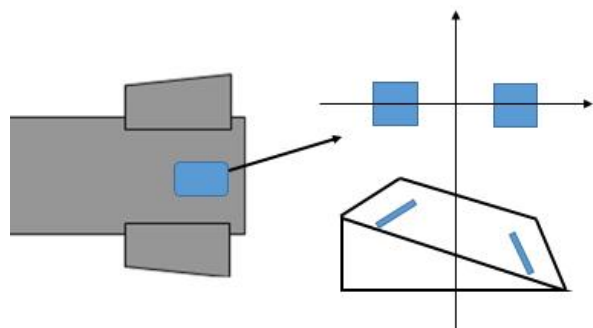


그림 2. 안테나 패치의 기울임 배치
Fig. 2. Tilted antenna patch

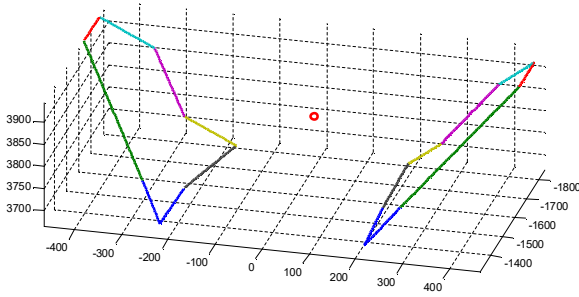


그림 3. 날개의 형상 및 안테나 위치
Fig. 3. Shape of wings and the position of antenna

III. 시뮬레이션 결과

3-1 신호 가림 영역 분석

II 장에서 설명된 안테나의 배치와 유도탄의 동체 및 날개에 형상에 대해 위성신호의 수신 가능 영역을 LOS(Line Of Sight) 관점에서 계산하였으며, 이 가시 영역에 대하여 수신되는 위성 개수와 DOP 분석을 수행하였다.

그림 4는 유도탄의 종말 구간에서 피치가 -90도로 수직 입사하는 경우에 대하여 계산된 위성신호 가시영역을 도시한 것이며, 해당 가시영역에 대하여 특정 시점부터 3일간의 가시 위성 및 DOP 를 그림 5에서 보여준다. 또한 종말단계에서 수직 입사하는 유도탄은 수평 정확도가 중요하므로 HDOP (Horizontal Delusion of Precision) 의 통계치를 그림 6에 표시하였다.

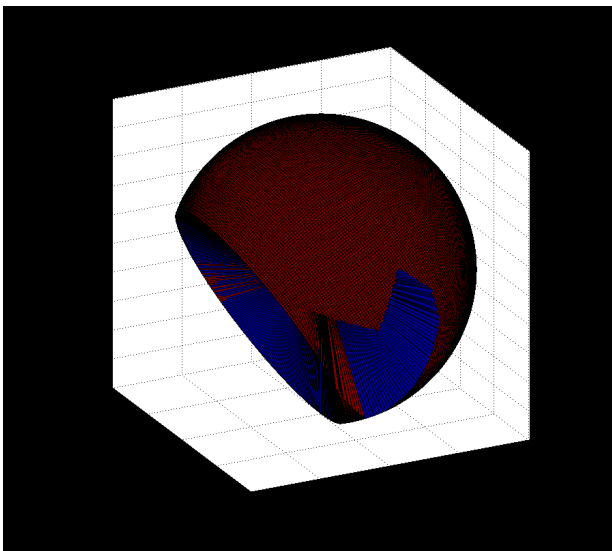


그림 4. 위성신호 가시영역
Fig. 4. LOS region of GPS signal

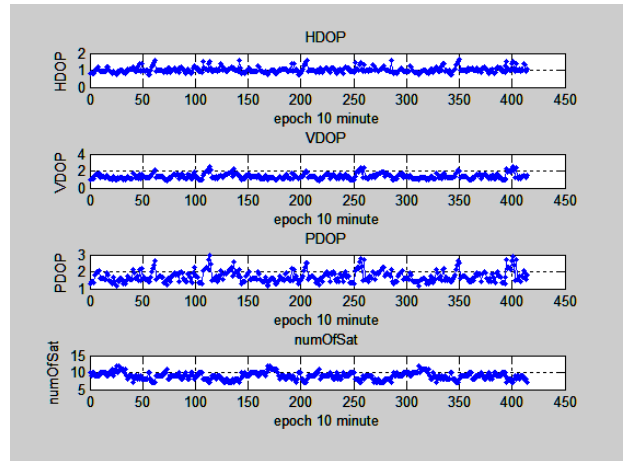


그림 5. 획득 위성 수 및 DOP
Fig. 5. Number of acquired satellites and DOP

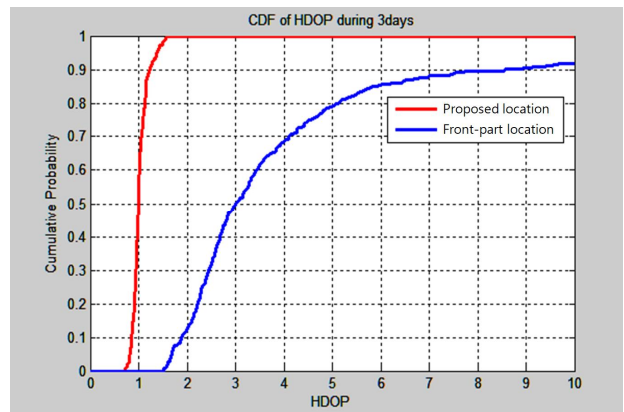


그림 6. HDOP 누적분포함수
Fig. 6. Cumulative distribution function of HDOP

안테나를 전방에 배치하였을 때 유도탄이 수직 입사하는 경우 안테나의 LOS 영역은 반구 형태가 될 것이다. 하지만 제한된 형상의 후방 기울임 배치의 경우 그림 4에서 보는바와 같이 LOS 영역이 늘어나며 그 효과로 인해 그림6과 같이 HDOP 성능이 눈에 띄게 향상될 수 있다.

3-2 안테나 패턴을 고려한 가시 위성 분석

실제 위성의 전파신호는 회절의 특성이 있으므로 신호 감쇠 현상이 LOS 영역으로 완벽히 정의될 수 없다. 또한 안테나 각 패치는 안테나 수신패턴에 의해 실제 가시 구간이 달라질 수 있다. 따라서 본 장에서는 무반향 챔버 시험을 통해 실제의 안테나에서 수신하는 전파의 세기를 측정하여 신호 도달 범위를 계산하였다.

안테나 수신패턴의 측정은 각 패치별로 따로 측정하였으며 각 패치별 수신 전파세기를 더하여 최종 실제 안테나의 수신패턴을 얻는다. 그림 7과 같이 4방향으로 장착된 4개의 패치는 각

각 단독으로 장착되어 전파 수신 시험을 시행하였으며 사용된 주파수는 GPS L1 대역 주파수를 사용하였다.

각 패치별로 측정된 전파세기를 합하여 3D 형태로 표시하면 그림 8과 같은 결과를 얻었으며 제한 기준치(최대 수신 전력 대비 10dB)를 적용하여 유효 가시영역을 도시하면 그림 9와 같이 가시영역을 도시할 수 있다. 전파의 회절 특성을 통하여 그림 4의 단순 LOS 가시영역에 비하여 더 넓은 전파 수신영역을 확보하게 됨을 확인할 수 있다. 특히 유도탄의 종말단계에서 수직입사 자세에서도 상공의 위성 방향에 대하여 가시영역이 충분히 확보될 수 있음을 확인할 수 있다. 또한 날개 형상을 포함한 실제 비행체의 후방 형상을 이용하여 측정하였음에서도 회절 특성에 의하여 날개에 의한 위성 가림 현상이 거의 나타나지 않음을 확인하였다.

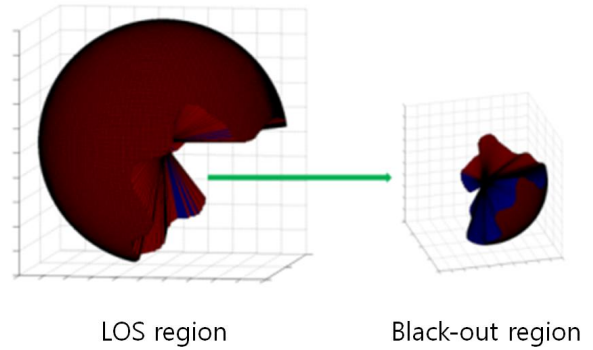


그림 9. 유효 GPS 신호 가시영역
 Fig. 9. Region that receives effective GPS signals

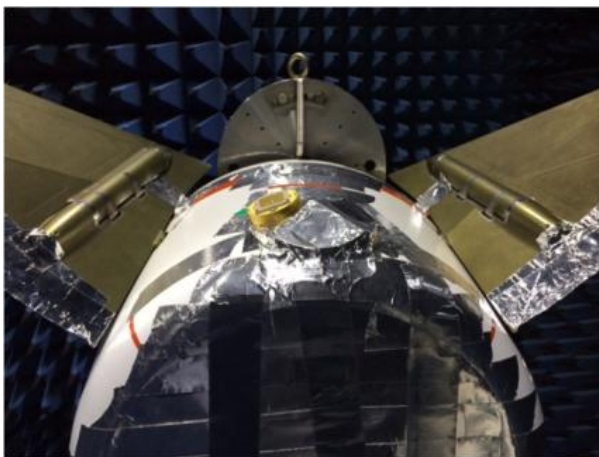


그림 7. 챔버측정을 위한 안테나 후방 장착
 Fig. 7. Antenna installation for anechoic chamber test

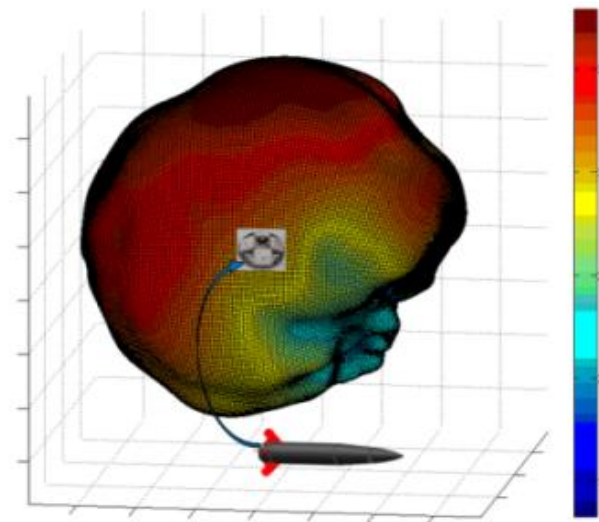


그림 8. 실측 안테나 패턴
 Fig. 8. Measured antenna pattern

IV. 시험 결과

4-1 야외 정적 시험

II장 및 III 장의 분석 결과를 바탕으로 GPS 안테나의 후방 배치에 따른 실제 야외 환경에서 위성의 가시영역 충족 구간을 확인하기 위해 야외시험을 시행하였다. 시험의 목적은 CEP 정확도에 가장 큰 영향을 미치는 종말단계의 90도 수직 낙하 비행 시 후방 배치한 4 소자 항재밍 배열안테나가 안테나 장착 방향의 반대쪽에 위치한 위성들의 신호를 획득 가능함을 확인하기 위한 시험이었다. 피치 -90도로 수직 낙하시에는 4개의 배열안테나 소자 중 지면을 향해 기울어져 있는 소자의 가시영역은 하늘 방향을 향해 기울어져 있는 안테나 소자의 가시영역에 포함되므로 본 시험에서는 시험의 편의를 위해 지면 방향의 안테나 1 소자를 제외한 3개의 안테나 소자를 이용하여 시험하였다. 이를 위해 그림 10에서와 같이 3개의 안테나 소자에 GNSS 수신기를 연결하였고 레퍼런스 위성 신호를 위해 기준안테나를 설치하여 GNSS 수신기를 연결하였다.

그림 11은 시험이 시행된 시간대의 위성 배치를 보여 주며 후방 기체 시험치구는 안테나가 북쪽 방향을 향하도록 위치하여 시험하였다. 그림 10의 안테나 위치를 보면 수신기 #1에 위치한 안테나 소자는 유도탄의 맨 뒤쪽에서 수직 방향 대비 기울임을 30도 정도 가지고 있으며 유도탄의 꼬리 맨 끝부분에 장착됨으로써 유도탄 동체에 의한 신호 감쇠가 적고 회절에 유리한 구조를 띠고 있기 때문에 안테나의 반대쪽에 위치한 위성들의 신호 획득에 유리하였다. 그 결과 그림 12의 27번 위성의 경우 위성의 위치가 남쪽 방향에 위치하고 있지만 수신기 #1의 신호는 안테나가 북쪽을 향하고 있을 때에도 신호를 정상적으로 수신하여 CNR (Carrier to Noise Ratio) 45dB 이상 수준을 유지하는 것을 확인할 수 있다.

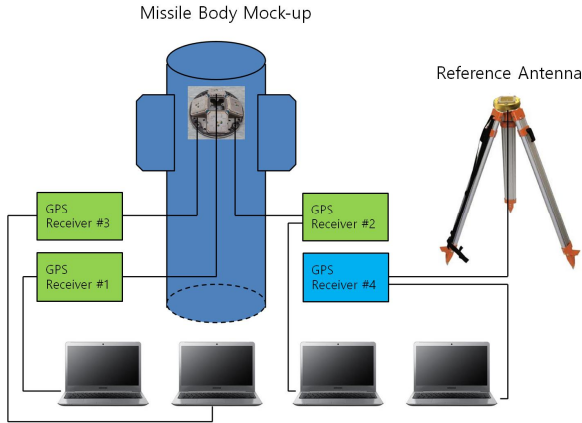


그림 10. 야외 정적 시험 구성
Fig. 10. Configuration of static field test



그림 11. GPS 위성 배치
Fig. 11. Constellation of GPS

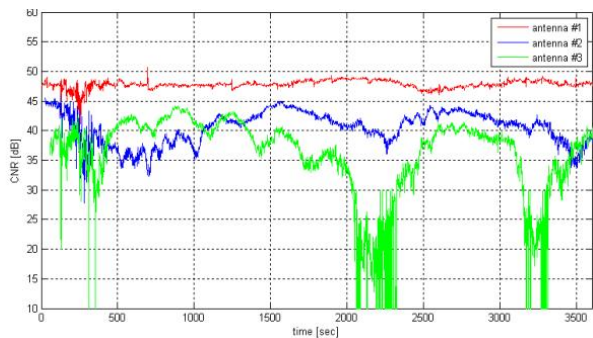
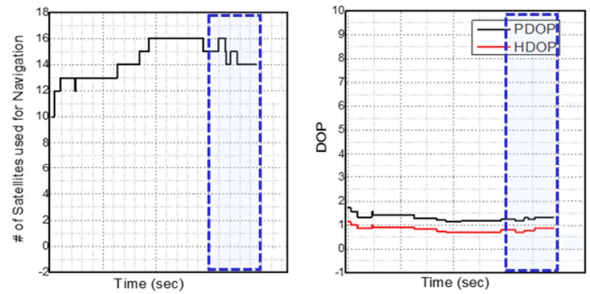


그림 12. 수신 위성 신호 세기
Fig. 12. Received satellite signal power

4-2 비행시험

제안된 형상의 후방 배치 안테나는 실제 비행시험을 통해서 수직 입사하는 유도탄의 종말단계 위성항법 성능 테스트에 사용되었다. 그 결과 그림 13과 같이 수직 낙하영역에서도 위성을

대부분 추적하고 있으며 PDOP (Positional Delusion of Precision) 및 HDOP 이 안정적으로 유지됨을 확인할 수 있었다.



※ Blue square region indicates the diving phase of missile

그림 13. 비행시험 결과
Fig. 13. The results of flight test

V. 결 론

본 논문에서는 종말 비행 단계에서 수직 낙하 비행하는 유도탄에 항재밍 GPS 항법장치를 적용함에 있어서 GPS 위성안테나의 위치가 유도탄 동체의 후방에 위치했을 경우의 항법 성능에 대하여 분석을 수행하였다.

4 소자의 GPS 배열안테나는 패치가 서로 30°의 기울기를 갖도록 설계하여 가시각을 확보하였으며 유도탄의 후방부에 기울임을 갖도록 배치하여 종말 비행 구간에서의 수직 낙하 비행시 위성 확보에 유리하도록 하였다. 이러한 배열안테나 설계 및 안테나 배치에 따른 획득 위성 확보의 개선 여부 확인을 위해 가시영역 분석과 안테나 패턴 측정을 수행하였으며 DOP 분석을 통해 비행 종말단계의 수직 낙하 시 GPS 안테나의 후방 배치가 가용 위성 수의 확보에 이점이 있음을 확인하였다. 또한 지상 야외시험과 실제 비행시험을 통해 수직 낙하 자세의 유도탄에서 후방부에 배치한 GPS 배열안테나가 안테나 장착 방향의 반대쪽에 위치한 위성들의 신호를 정상적으로 획득하는 것을 확인하였다.

References

[1] E. Kaplan and C. Hegarty, Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications, 3rd Ed., Artech House, 2017.
[2] Lee Jong-Min, Woo Jong-Myung, "Design of GPS Receiving Antenna Installed in a Missile's Warhead," The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Volume 17 Issue 9, pp. 900-912, Sep. 2006.
[3] Junyan Wu, Jiaao Yu and Qin Tao, "Design of a Missile-borne Conformal Microstrip Navigation Antenna," International Conference on Electronic Information Technology and

Computer Engineering (EITCE 2018), Shanghai: China, Article Number: 04080, Oct. 2018.

[4] Peerayudh Saratayon, Varavut Pirom, Thanathat Saelim, "Antenna Subsystem for Small Missile," International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Volume 02, Issue 09, Paper ID: IJERTV2IS90447, Sep. 2013.

[5] Y. Zhang, M. G. Amin, and A. R. Lindsey, "Anti-jamming GPS receivers based on bilinear signal distributions," 2001

MILCOM Proceedings Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force, McLean, VA: USA, pp. 1070 – 1074, Oct. 2001.

[6] W. Sun, M.G. Ainin, "Interference suppression for GPS coarse/acquisition signals using antenna array," 2004 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Montreal, Quebec: Canada, pp. iv-929-32 vol.4, May 2004.



박 범 수 (Bumsoo Park)

2007년 8월: 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사)
2009년 8월: 과학기술연합대학원대학교 이동통신 및 디지털 방송학과 (공학석사)
2009년 8월 ~ 2010년 12월: 한국전자통신연구원 연구원
2011년 1월 ~ 2013년 3월: LIG넥스원 연구원
2013년 4월 ~ 현재: 국방과학연구소 선임연구원
※ 관심 분야 : 이동통신, 위성항법시스템



안 우 근 (Woogeun Ahn)

2001년 2월: 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사)
2003년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)
2010년 8월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학박사)
2010년 8월 ~ 2010년 12월: 한국과학기술원 IT융합연구소 연구원
2011년 1월 ~ 현재: 국방과학연구소 선임연구원
※ 관심 분야 : 통신/신호처리, 위성항법시스템, 항재밍장치



이 장 용 (Jang-Yong Lee)

1995년 2월: 전남대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 전남대학교 전자공학과 (공학석사)
2011년 3월 ~ 현재: 충남대학교 전기정보통신공학부 (박사과정)
1997년 2월 ~ 현재: 국방과학연구소 책임연구원
※ 관심 분야 : 위성항법시스템, 광역보정 위성항법시스템, 항재밍장치



고 덕 곤 (Duck kon Ko)

1990년 2월: 한국항공대학교 기계항공공학과 (공학사)
1992년 2월: 한국과학기술원 항공우주공학과 (공학석사)
1997년 2월: 한국과학기술원 항공우주공학과 (공학박사)
1997년 3월 ~ 현재: 국방과학연구소 책임연구원 (미사일연구원장)
※ 관심 분야 : 공력, 유도무기, 위성항법시스템