

# 다중 재난 상황에 적합한 COSPAS-SARSAT 탐색구조 비컨 위치추정 기법

김재현\*, 이상욱\*, 신천식\*, 안우근\*\* 정회원

## Beacon Geolocation Scheme of COSPAS-SARSAT System for Heavy Disaster Environment

Jaehyun Kim\*, Sanguk Lee\*, Cheonsig Sin\*, and Woo-Geun Ahn\*\* Regular Members

### 요 약

COSPAS-SARSAT 위원회에서는 2000년 이후부터 새롭게 발사되는 미국, EU, 러시아의 중궤도 항법위성에 탐색구조 탑재체를 탑재하여 중궤도 탐색구조(MEOSAR) 서비스를 제공키로 결정하였다. 비컨에서 송출되는 조난신호는 비컨 상공의 각 위성들에 각기 다른 도달시간과 도플러 주파수를 가지고 도달하며, 이를 바로 중궤도 수신국(MEOLUT)으로 전달한다. 중궤도 수신국에서는 적어도 3~4개의 위성을 동시에 추적하여 조난신호를 전달받고, 조난신호 간 TDOA(Time Difference of Arrival)와 FDOA(Frequency Difference of Arrival)를 이용하여 비컨의 위치를 추정한다.

그러나 비컨은 임의의 시간에 50초 간격으로 조난신호를 송출하므로, 대형 조난상황에서 비컨 신호가 겹치는 현상이 나타날 수 있고, 겹쳐진 비컨 신호들을 COSPAS-SARSAT에서 개발하고 있는 현재 방식으로 모든 비컨 위치를 추정하는 것은 어렵다. 따라서 여기에서는 이를 해결하기 위한 방안으로 CAF MAP 알고리즘을 소개하고, COSPAS-SARSAT 시스템의 성능 요구사항을 만족시킬 수 있도록 MCAF MAP 기법을 제안하고, 그 성능을 나타낸다.

**Key Words** : COSPAS-SARSAT, MEOSAR, GEOLOCATION, MCAF MAP

### ABSTRACT

The COSPAS-SARSAT committee decides MEOSAR (Medium-Earth Orbit for search and rescue) service development for installing 406MHz SAR instruments on their respective MEO navigation satellite system of the United States, EU, and Russia, since 2000. The transmitted beacon signal is separately arrived by satellites with different FOA (Frequency of Arrival) and TOA (Time of Arrival). It is directly transferred to MEOLUT. In MEOLUT, a LUT track at least 3 or 4 satellites simultaneously and estimate location of beacon using time difference of arrival (TDOA) and frequency difference arrival (FDOA).

But the transmitted distress signals may be overlapped each other because the distress beacons transmit signal on mean interval of 50 seconds in arbitrary time. It's difficult that simultaneously estimate location of beacon by current scheme for several overlapped distress signal. So we use cross ambiguity function (CAF) Map algorithm and present Multi-CAF MAP scheme in order to satisfy performance requirement of system. The performance is analyzed for COSAPS-SARSAT MEOSAR.

## I. 서 론

탐색구조 시스템(Search and Rescue, SAR)은 1979년 민간의 주도로 미국, 프랑스, 캐나다, 러시아가 참여하여 위원회를 설립한 후 COSPAS-SARSAT의 이름으로 위성을 포함한

단말, 지상 시스템을 운용하고 있다[1]. 초기에는 저궤도 위성 과 정지궤도 위성을 이용한 서비스 제공을 하였으나, 단말의 증가와 가용성 확대를 위하여 중궤도 위성을 이용한 2세대 탐색구조 시스템 개발을 진행하고 있다. 2세대 탐색구조 시스템에서 위성중계기는 새롭게 발사되는 각 참여국의 중궤도

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었음.

\*한국전자통신연구원 위성무선융합연구부 위성항법연구실(longinus@etri.re.kr), \*\*국방과학연구소 제3기술연구본부(wgahn@add.re.kr)

접수일자 : 2015년 12월 15일, 최종 게재확정일자 : 2015년 12월 24일

항법위성에 실려 서비스를 제공하며, 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 유럽연합의 GALILEO 위성 등이 있다[2].

2세대 탐색구조 시스템에서는 저궤도 위성의 운용 종료와 함께 저궤도 위성의 도플러 효과를 이용한 비컨 위치추정 방식 대신 중궤도 위성(GPS, GLONASS, GALILEO)들 간 TDOA(Time Difference of Arrival)와 FDOA(Frequency Difference of Arrival) 측정치를 이용한 위치추정 방식을 시험하고 있다. 현재 개발되고 있는 중궤도 위성에 대한 비컨 위치추정 방식은 서로다른 중궤도 위성에서 수신한 비컨의 조난신호를 중궤도 수신국(MEOLUT)에서 4개의 안테나를 이용하여 각 위성에 도달한 조난신호의 TOA(Time of Arrival)와 FOA(Frequency of Arrival) 측정치를 독립적으로 산출하고, 이를 이용하여 비컨의 위치를 추정하는 방식이다. 하지만 측정치를 이용한 위치추정 방식은 다중 선박 충돌과 같은 대형 조난 상황에서 비컨 신호가 50초 간격으로 임의의 시점에 송출되므로 특정 순간에 겹치거나 불법 전파 송신원에 의한 통신방해 시 위치 추정이 어려운 단점이 있으며, CW 신호와 같은 지속적으로 송출되는 형태의 재머가 여러 대이거나 서로 근접해 있을 경우 재머의 위치를 위성을 활용하여 기존 방식으로 추정하기는 어려운 상황이다.

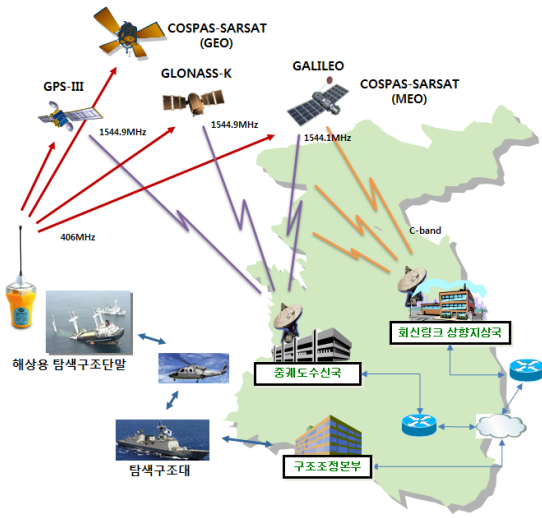


그림 1. 2세대 탐색구조 시스템 개념도

본 논문에서는 이를 해결하기 위하여 동시에 수신되는 조난신호들의 위치를 추정할 수 있는 CAF(Cross Ambiguity Function) MAP 기법을 소개하고, 중궤도 탐색구조 시스템의 성능 요구사항을 만족시킬 수 있도록 수정된 MCAF(Multi-CAF) MAP 기법과 그 성능을 나타낸다 [3][4][5].

## II. 교차모호함수

전파를 이용한 측위(Geolocation) 기법은 주로 같은 송출 신호를 수신한 수신기들 사이의 TDOA와 FDOA를 가지고

수행된다. 만약 두 수신기 사이에 도플러 주파수 차이가 없다면 간단한 교차상관(cross correlation) 연산을 통하여 수신기 간 TDOA를 알 수 있으나, 송신기와 수신기들 간에 상대적인 속도 차이로 인하여 도플러 주파수 차이가 발생할 경우 TDOA와 FDOA를 같이 계산하여야 한다. 이 때 시간 지연과 도플러 주파수 차이를 동시에 검색하는 함수를 교차모호함수(CAF, Cross Ambiguity Function)라 한다. 교차모호함수는 시간 지연과 도플러 주파수를 동시에 검출하는데 유용하지만 많은 계산량과 시간을 필요로 하며, 시간 지연 및 도플러 주파수 값은 송신기와 수신기간의 기하학적 형태(Geometry)에 따라 결정된다.

CAF 함수는 아래와 같이 정의된다[6].

$$CAF(\tau, f) = \int_0^T s_1(t) s_2^*(t + \tau) e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

여기서  $s_1$ 와  $s_2$ 는 continuous-time 신호이고,  $T$ 는 integration time,  $\tau$ 는 시간 지연,  $f$ 는 두 신호간의 주파수 차이이다.

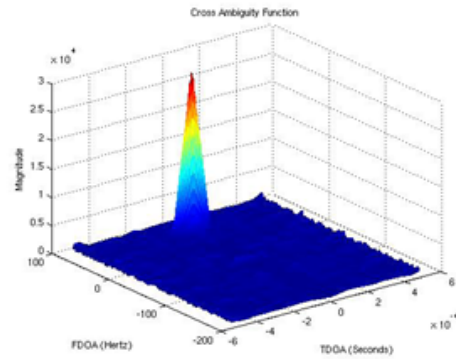


그림 2. 교차모호함수 결과

## III. MCAF MAP 알고리즘

CAF MAP 알고리즘은 조난신호를 수신한 위성들 간의 CAF(Cross Ambiguity Function)을 이용하여 위치를 추정하는 방식으로, 각 위성에서 수신한 신호들 간의 교차상관(Cross Correlation) 결과에 포함된 수신신호간 TDOA(Time Difference of Arrival)와 FDOA(Frequency Difference of Arrival)를 이용하여 비컨의 위치를 추정할 수 있다[7]. 하지만 도플러 차이에 의한 위치추정은 위성들 간 기하학적 구조에 큰 영향을 받기 때문에 목표 시스템 특성에 따라 쉽게 적용하기 어려운 특성을 가진다.

탐색구조 시스템은 조난 상황 발생 시 비컨에서 50초에 한 번씩 조난신호를 송출하고, 중궤도 위성에서 이를 수신하여 지상수신국으로 전달한다. 이 때 CAF MAP 알고리즘을 적용하기 위해서는 도플러 차이가 유의미해지기 충분한 시간동안 위성이 이동하여야 하므로 이동속도가 저궤도 위성에 비하여 느린 중궤도 위성의 경우 비컨 위치추정에 많은

시간을 필요로 한다. 또한 비컨 상공에 존재하는 중궤도 가시위성들 중 2개의 위성을 선택할 때 위성 간 기하학적 구조와 위치 산출 시점에 따라 성능에 큰 차이를 보여 탐색구조 시스템에 적용하기 어려운 단점을 가지고 있다.

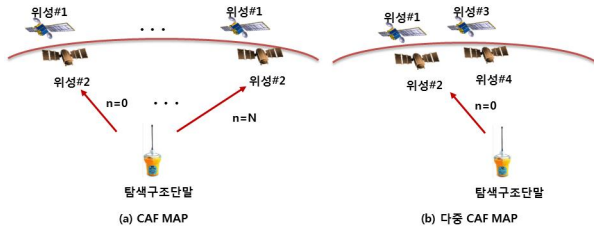


그림 3. MCAF MAP 개념도

따라서 CAF MAP 기법을 탐색구조 시스템에 적용하기 위하여 위의 그림 3과 같이 2개의 위성이 아닌 여러 위성에 대하여 CAF MAP 알고리즘을 반복 수행하는 다중 CAF MAP 기법을 제안하였다. 다중 CAF MAP 기법은 조난신호를 수신한 모든 중궤도 위성에 대하여 수행되며, 위의 그림 3에서 4개의 위성들 중 위성#1, 위성#2 간 CAF MAP을 한번 수행하고(S12), 다시 위성#1, 위성#3 간 CAF MAP을 수행한다(S13). 이를 다른 위성들에도 적용하면 S12, S13, S14, S23, S24, S34 총 6번의 CAF MAP을 수행하게 되며, 아래의 그림 4의 흐름에 따라 실행된다.

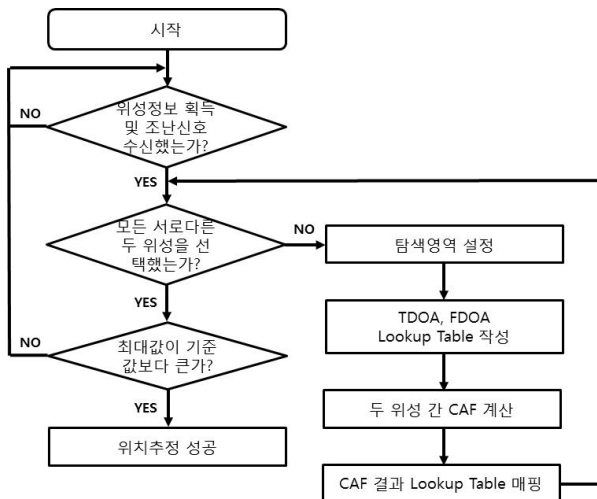


그림 4. MCAF MAP 기법 플로우 차트

조난신호를 수신한 중궤도 위성들 중 2개 위성을 선택하면 원하는 탐색영역을 설정하고, 해당 탐색영역에 대한 위치 정보 (X, Y, Z)를 GIS를 이용하여 ECEF 좌표로 입력받아 각 지점(Grid)에 대한 TDOA, FDOA 값을 계산하여 테이블 (Lookup Table)을 구성한다. 이후 실제 두 신호에 대한 CAF를 수행하여 CAF 결과를 테이블에 매핑함으로써 탐색영역에 대한 결과를 얻을 수 있다. 이를 다른 중궤도 위성에 대하여 반복하면 실제 비컨이 있는 지점의 값이 커져 피크를 확인할 수 있다.

이 때 위의 과정을 하나의 조난신호가 아닌 여러 조난신호에 대하여 반복하면 정확도가 향상되는 것을 볼 수 있다.

#### IV. 위치추정 결과

중궤도 위성에 대한 MCAF MAP 위치추정의 경우 아래의 그림처럼 한번의 수행으로 5km 이내, 4~5회 내에 1km 이하의 정확도를 가진다. 또한 비컨 신호가 중복될 경우에도 정확하게 위치를 추정하는 것을 확인할 수 있다. MCAF MAP의 위치 오차는 한번만 수행할 경우 때때로 1km를 초과하나 누적횟수를 4~5회로 늘릴 경우 1km 이하로 떨어진다.

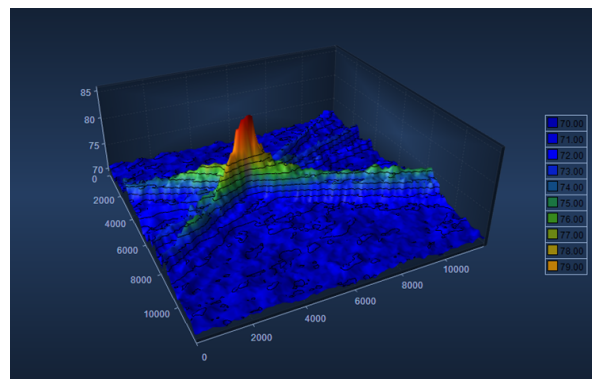


그림 5. GPS 위성의 경우(반복 1회, 오차 2.6km)

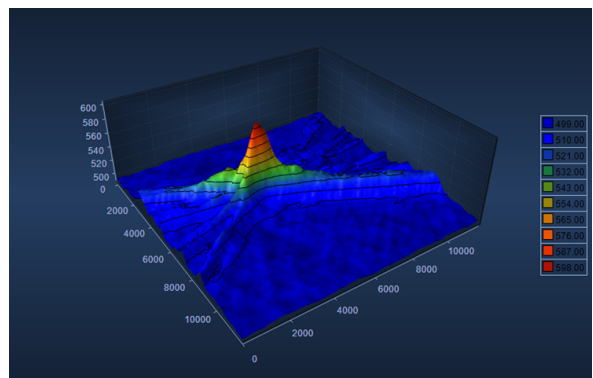


그림 6. GPS 위성의 경우(반복 4회, 오차 0.9km)

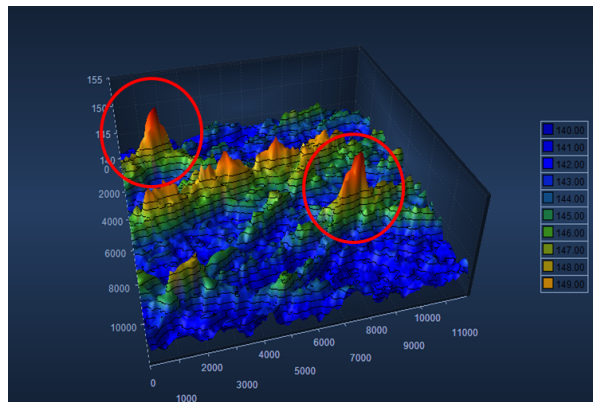


그림 7. 비컨 신호중복의 경우(반복 1회, 오차 1.1km)

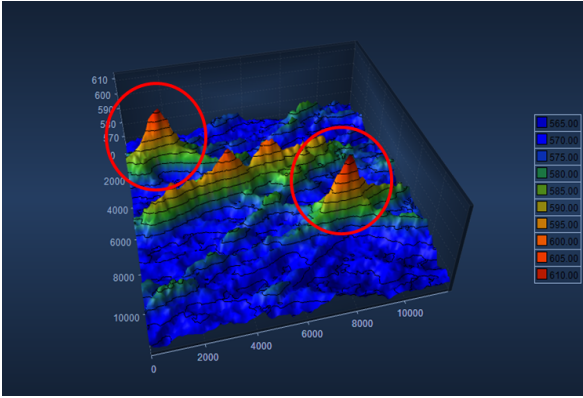


그림 8. 비컨 신호중복의 경우(반복 4회, 오차 1.0km)

### V. 위치추정 성능분석

MCAF MAP 기법은 누적횟수를 늘림에 따라 위치오차가 줄어들고, 일정 횟수 이상이 되면 오차의 변동이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 아래의 그림에서 붉은 선은 중궤도 탐색구조 시스템의 위치추정 요구사항(5분 이내, 1km 이하)을 나타낸 것이다.

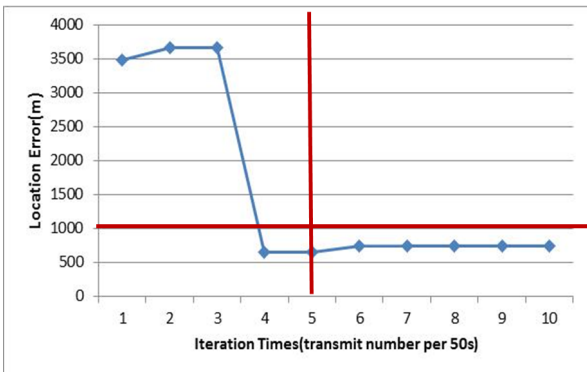


그림 9. 중궤도 위성에서의 누적횟수 효과

또한 가시위성의 조합을 4개 위성에서 하나씩 늘려가며 위치오차를 살펴보면, 처음 GDOP(Geometric Dilution of Precision)가 가장 좋은 4개의 위성을 선택하여도 높은 오차를 가지며 위성을 추가할 경우에 큰 변화가 없다가 갑자기 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이것은 기존 4개의 위성에 필요한 기하학적 구조를 만족시킬 수 있는 위성이 추가된 효과이며, 4개 위성에 8번째로 추가된 위성을 더하여 수행할 경우에도 같은 오차를 보여준다. 이를 3개의 위성에 8번째 위성을 더할 경우에도 특정 조합에서만 같은 오차를 가진다. 따라서 MCAF MAP의 성능은 위성들 간의 기하학적 구조가 최적일 때 가장 좋은 오차를 보이며, 4개의 위성 선택을 위한 알고리즘 개발이 요구된다.

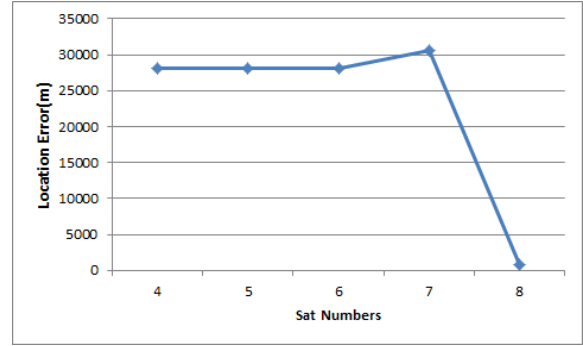


그림 10. 가시위성 조합에 따른 위치오차

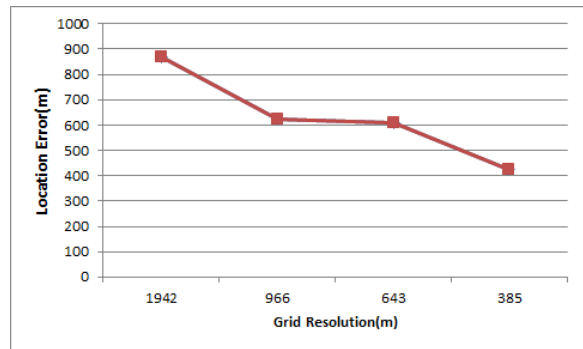


그림 11. Grid 정밀도에 따른 위치오차

여기서 구현된 MCAF MAP 알고리즘의 선택영역에 대한 Grid 정밀도(Resolution)은 연산속도의 문제로 선택영역의 크기에 따라 달라지게 설계하였으며, Grid 정밀도를 높임에 따라 위치오차가 줄어드는 것을 볼 수 있다.

### VI. 결론

COSPAS-SARSAT 시스템에서 시도하고 있는 중궤도 탐색구조 시스템은 기존의 GNSS 항법위성에 탐색구조 탑재체를 실어 높은 파급력을 가질 것으로 예상되며, 406MHz 주파수 대역 특성 상 의도적이거나 비의도적인 간섭 신호의 가능성이 높다. 따라서 본 논문에서 제안된 기법을 활용하여 조난신호의 중복만이 아니라 간섭 신호원에 대한 정확한 위치 파악이 가능할 것으로 기대되며, 이를 무인기에 활용할 경우 민간 및 군에서의 활용도가 높을 것으로 기대된다.

본 연구는 국방위성항법 특화연구센터의 2단계 연구에서 수행되었으며, 내년부터 수행되는 3단계 연구에서는 실제 하드웨어 시작품 구현을 통하여 지상 테스트베드에서의 시험 및 무인기, 차량 등을 통한 실외 테스트를 수행하여 실제 환경에서의 성능 평가를 수행할 예정이다.

또한 하나의 중궤도 수신국에서 비컨의 위치를 바로 추정할 수 있도록 가시위성 4개를 선택하는 최적 위성조합 알고리즘에 대한 연구를 진행 중에 있다.

### 참 고 문 헌

[1] <http://www.cospas-sarsat.org>

[2] COSPAS-SARSAT Document C/S R.012, "COSPAS-SARSAT 406MHz MEOSAR Implementation Plan Issue 1", Oct. 2012.

[3] 김재현, 이상욱, 김재훈, 안우근, "중궤도 탐색구조 시스템에서의 다중 CAF MAP 위치추정 기법" 한국위성정보통신학회 국내학술발표대회 논문집, 제1권 1호, 2015년 6월

[4] 김재현, 이상욱, 안우근, "다중 CAF MAP에서 DOP에 따른 위치추정 성능분석" KGS 2015, 2015년 11월

[5] Jaehyun Kim, Sanguk Lee, and Woo-Geun Ahn, "Multi-CAF MAP Performance Analysis in COSPAS-SARSAT MEOSAR", ISGNSS 2015, Sep. 2015.

[6] S. Stein, "Algorithm for Ambiguity function processing" IEEE transactions vol. 29, No 3, Jun 1981.

[7] Glenn D. Hartwell, "Improved Geo-spatial Resolution using a Modified Approach to the Complex Ambiguity Function (CAF)", Master's Thesis, Naval Postgraduate School, Sep 2005.

[8] <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.619/en>

### 저자

#### 김 재 현(Jaehyun Kim)



- 2005년 2월 : 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 학사졸업
- 2007년 2월 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 석사졸업
- 2007년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원

<관심분야> : 위성항법, 신호처리, 무선측위 및 무선통신

#### 이 상 욱(Sanguk Lee)



- 1988년 2월 : 연세대학교 천문기상학과 학사졸업
- 1991년 2월 : Auburn대학교 항공우주학과 석사졸업
- 1994년 2월 : Auburn대학교 항공우주학과 박사졸업

· 1993년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> : 위성시스템 및 제어, 위성항법, 탐색구조시스템

#### 신 천 식(Cheonsig Sin)

#### 정회원



- 1990년 2월 : 한양대학교 전자공학과 학사졸업
- 2000년 2월 : 충남대학교 전자공학과 석사졸업
- 2005년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 전자컴퓨터 통신공학과 박사과정

· 1990년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 위성항법연구실장  
<관심분야> : 위성통신, 위성항법, 위성궤도 주파수

#### 안 우 근(Woo-Geun Ahn)



- 2001년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부 학사졸업
- 2003년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 석사졸업
- 2010년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 박사졸업

· 2011년 ~ 현재 : 국방과학연구소 항법기술부 선임연구원  
<관심분야> : 위성항법, 재밍대응 신호처리