

유인기 공역내 드론의 통합 운용을 위한 저가형 GPS 수신기 무결성 정보생성 연구

최종보고서

2017 . 06. 17.

주관연구기관 / 세종대학교

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘유인기 공역내 드론의 통합 운용을 위한 저가형 GPS 수신기 무결성 정보 생성 연구’(연구개발
기간 : 2015. 06. ~ 2017. 06.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2017. 06. 17.

주관연구기관명 : 세종대학교 산학협력단 (대표자) 김선재 (인)
협동연구기관명 : (대표자) (인)
참여기관명 : (대표자) (인)

주관연구기관책임자: 박병운
협동연구기관책임자:
참여기관책임자:

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	15CTAP - C097385-01	해당 단계 연구 기간	2016.06.18 - 2017.06.17	단계구분	2 단계 / 2 단계
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	유인기 공역내 드론의 통합 운용을 위한 저가형 GPS 수신기 무결성 정보생성 연구			
	세부과제명				
연구책임자	박병운	해당단계 참여 연구원 수	총: 3 명 내부: 3 명 외부: 0 명	해당단계 연구개발비	정부:50,000 천원 기업: 0 천원 정부 외:0 천원 계: 50,000 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 8 명 내부: 8 명 외부: 0 명	총 연구개발비	정부:100,000 천원 기업: 0 천원 정부 외:0 천원 계:100,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	세종대 학교 항공우주공학과			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
○ SBAS 보강 정보 및 사용자 적용 알고리즘 연구 ○ SBAS 보정정보 송출 서버 개발 ○ SBAS 보강 정보의 RTCM (Radio Technical ommission for Maritime Service) 보정정보 변환 알고리즘 연구 및 개발 ○ 보정정보 위치영역 맵핑 기술 개발 및 적용 가능성 타진 ○ 저가형 수신기 노이즈 및 다중경로 오차량 모델링 ○ 저가형 GPS 수신기 무결성 정보 생성 알고리즘 연구 및 적용 ○ 상용 드론 장착을 통한 성능 테스트 ○ SBAS 보강 정보의 RTCM 보정정보 변환 알고리즘 연구 ○ 저가형 GPS 수신기 무결성 정보 생성 알고리즘 연구 ○ SBAS 위성 차폐 지역에서의 드론 항법 성능 확보 가능성 제시				보고서 면수	

연구의 목적 및 내용	○ SBAS 보강신호를 이용하여 드론에 장착된 저가형 GPS 수신기의 위치 정확도를 향상시키고, 보호수준 등 무결성 정보를 생성할 수 있는 알고리즘을 제시함. ○ SBAS 보강 신호 재송출 서버 및 적용 모듈을 구성함으로써 음영 지역을 해소하고 이를 시험 평가하여 도심 또는 산악 지역 등 현 SBAS 보강 정보 미수신 환경에서도 정상적인 서비스 제공을 목표로 함 ○ GPS 수신기의 기능 및 가시 환경과 무관하게 균질하고 안정적인 항법 성능을 드론에 제공함으로써 공역 내에서의 유무인기 통합 운용 시스템 가능성 제시를 목표로 함.
연구개발성과	○ SBAS와 GBAS, NDGPS 등 상용 드론에 적용 가능한 위성항법 보강 기술 현황 분석을 통해 각 기법별 상호 변환 가능성을 확인하고, 드론의 항법성능(정확성, 무결성) 확보를 위한 방법 및 한계점을 파악함 1) 위성항법 보강기술 현황 분석 - SBAS 보강 메시지 포맷 및 기능 분석 - SBAS 메시지를 이용한 사용자 보정정보 및 무결성 정보 생성 알고리즘 분석 - RTCM 보정정보 메시지 포맷 분석 2) 현 위성항법 보강기술의 상용 드론 적용 한계 제시 - 상용 드론 탑재 GPS 수신기 스펙 분석 및 보정정보 적용 한계 확인 - 국내 주요 지역에서의 SBAS 보정정보 수신 한계 확인 ○ SBAS 메시지 중 보정정보 추출 및 RTCM 메시지 변환을 통한 저가형 GPS 수신기 정확도 향상 알고리즘 연구 1) SBAS 보강 정보의 RTCM 보정정보 변환 알고리즘 연구 및 개발 - SBAS 메시지를 이용한 의사거리 PRC 생성 - 생성된 PRC를 이용하여 저가형 GPS 수신기 측정치 적용 및 위치해산출 - 변환된 RTCM 보정정보와 SBAS 보강정보 적용 결과 비교를 통한 성능 검증 2) 보정정보 위치영역 맵핑 기술 개발 및 적용 가능성 타진 - 보정정보 위치영역 맵핑 기술의 적용 가능성 타진 - 보정정보 위치영역 맵핑과 SBAS 보정정보 적용 결과 비교를 통한 성능 검증

○ SBAS 무결성 정보, 오차 모델링 기법 및 보호수준 산출 알고리즘 적용을 통한 저가형GPS 수신기 무결성 정보 제공연구

1) 저가형 수신기 노이즈 및 다중경로 오차량 모델링

- RTCA에서 제시하는 수신기 노이즈 및 다중경로 오차 모델 분석
- 저가형 GPS 수신기 원시측정치 분석을 통한 오차량과 위성 양각과의 상관관계 추정
- 추정된 상관관계를 바탕으로 RTCA 모델 적용 가능성 타진

2) 저가형 GPS 수신기 무결성 정보 생성 알고리즘 연구 및 적용

- 추정된 저가형 수신기의 오차 모델링 수식 적용을 통한 저가형 GPS 수신기 무결성 정보 생성 알고리즘 제시
- 제시한 무결성 알고리즘을 이용한 Protection Level 산출
- 고가의 항공용 수신기와의 성능 비교를 통한 무결성 알고리즘의 적절성 판정

○ SBAS 신호 음영 지역 서비스를 위한 보정정보 재송출 서버 및 사용자 수신 모듈 개발

1) SBAS 보정정보 재송출 서버 개발

- 실시간 SBAS 보강 정보 송출용 메시지 분석 및 가용 GPS 수신기 파악
- 인터넷 통신망을 이용한 SBAS 보강 정보 재송출 방안 제시
- SBAS 보강 정보 실시간 재송출 서버 개발

○ 수신된 SBAS 보정정보 해석 및 저가 GPS 수신기 입력용 RTCM 보정정보 변환 모듈 개발

1) 재송출 SBAS 보정정보 수신 모듈 개발

- 재송출 SBAS 보정정보 디코딩 모듈 개발

2) 재송출 SBAS 보정정보 적용 사용자 모듈 개발

- SBAS 보정정보의 RTCM 변환 및 실시간 적용 모듈 개발
- 보정정보 투영을 통한 위치영역 실시간 DGPS 모듈 개발
- SBAS 무결성 정보 생성 모듈 개발

○ 위성 양각에 따른 저가 GPS 수신기 오차 모델링을 통한 보호수준 산출 모듈 개발

	○ 개발된 사용자 모듈의 정적 테스트 수행 및 항공용 고가 수신기와의 성능 비교를 통한 적절성 검증 ○ 개발된 사용자 모듈의 상용 드론 장착을 통한 성능 테스트 (open sky 테스트 및 SBAS 차폐 지역 테스트) 1) 상용 드론 장착을 통한 성능 테스트 - GPS 수신기와 보정정보 수신 및 적용 모듈 장착을 통한 실험용 드론 구성 - Open Sky 성능 테스트를 통한 정확성 및 무결성 성능 테스트 수행 - SBAS 보정정보 차폐 지역 실험을 통한 적용 가능성 도출
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	1) 기술적 기대 성과 본 연구에서는 SBAS의 보강정보를 L1 신호가 아닌 별도의 데이터 채널로 전송하고, 수신한 정보를 RTCM의 PRC 정보로 변경하여 저가형 GPS 수신기에 적용하는 기술을 개발한다. SBAS의 보강정보를 별도의 채널로 전송함으로써 기존 SBAS의 고정된 가시성으로 인해 생긴 음영 지역에서도 해당 서비스를 제공할 수 있는 기술로 활용될 수 있다. 이러한 기술은 2019년 시범 서비스로 신호를 송출할 KASS의 예상 음영 지역인 도심과 산악 지역에서의 측위 정확도 향상에도 기술적으로 기여하여 전 국토에 걸쳐 연속적으로 균등한 성능을 보장할 것으로 기대된다. 또한 SBAS 보정정보를 PRC 정보로 변경하는 기술은 SBAS 기능이나 DGPS 기능 자체가 결여되어 있는 초저가형 혹은 구형 수신 모듈에도 SBAS 급의 정확도를 보장할 수 있는 기능이므로, 공간정보, LBS 등 국내 측위 모듈 전반의 성능을 향상시켜주는 기술로 활용될수 있다. 특히 현재 KASS의 구축으로 해양 NDGPS의 역할이 축소되는 가운데 SBAS 메시지를 RTCM으로 변환하여 송출하는 서비스에 대한 검토가 진행되고 있으므로, 본 연구의 결과를 정책 결정에 기술자료로 제시할 수 있다. 2) 사회·경제적 파급효과 국내 항공분야의 대부분의 정책은 FAA에서 결정된 의사 결정에 따르는 것이 일반적이고, 금번 드론 관련 개정안에 따라 국내 드론 산업 시장 역시 위축된 것이 사실이다. 그러나 여전히 드론의 산업화에 대한 요구는 전 세

계적으로 높으므로, 본 연구를 통해 제안된 기술의 효과를 ICAO 등의 국제 기구에서 제시함으로써 전 세계적으로 법 완화에 대한 공감대를 형성한다면, 항공분야에서 대한민국이 국제적으로 영향력있는 지위를 확보할 수 있을 것으로 보인다.

일반적으로 높은 정확도의 위치와 무결성 정보를 함께 제공하는 항공용 GPS 수신기는 수천만원에 호가하는 고가의 장비이나, 본 연구를 통하여 제시하는 기술은 저가형 수신기에도 유사한 기능을 제공할 수 있다. 드론이 택배를 비롯한 다양한 산업에 활용되기 위해서는 유인기 공역 진입을 통해 운용 범위를 넓혀야만 하는데, 이를 위하여 수천만원에 달하는 고가의 장비를 장착할 경우 사업성에 치명타를 입을 수 밖에 없다. 따라서 본 연구에서 제시하는 기능을 현재 드론이 장착하고 있는 저가형 GPS 수신기에 적용한다면, 저비용으로 공역 혼용에 필수적인 보호수준 산출이 가능할 것으로 보이고, 이로 인한 경제적 효과는 매우 클 것으로 보인다. 특히 드론의 활용성은 국내외적으로 큰 이슈가 되고 있으므로, 저가형 GPS 수신기에 해당 모듈을 추가하여 제품화할 경우 가격 경쟁력에서 우위를 점하여 수익 창출을 기대할 수 있다. 그리고 지금까지 GPS 수신기 제조업체의 독점적 가격 산정에 각 수요처가 수동적으로 받아들였으나, 유사한 성능과 기능을 산출할 수 있는 대체 기술을 제시함으로써 고성능 수신기의 대중화에 기여할 가능성도 있다. 뿐만 아니라, 항공 분야에 국한되어 사용되던 무결성과 보호수준은 최근 육상 및 해양 교통에서도 도입되는 추세이므로 그 시장은 점차 확대될 것으로 예상된다.

3) 활용 방안

본 제안 과제를 통해 도출되는 성과물인 SBAS 보정정보 재송출 서버는 현재의 MSAS, 2019년 이후의 KASS의 서비스 음영 지역 해소에 활용될 수 있다. 본 서버의 구축을 통해 주 타겟인 드론은 물론, 기능적 차이 및 응용 분야와 관계없이 모든 GPS 모듈의 성능을 향상시키는데 활용 가능하다. 즉, GPS 모듈만 탑재되어 있다면 스마트폰, 카 내비게이션, 태블릿 PC, 디지털 카메라 등 그 어플리케이션과 관계없이 국내 언제 어디서나 심지어 DGPS 기능이 없는 단말의 경우에도 성능 향상이 가능하다. 단말기 제조사에서 활용하지 않는다 하더라도 국가 또는 LBS 사업자 레벨에서도 해당 기술을 활용함으로써 자사의 서비스 경쟁력을 높일 수 있기 때문에 적극 활용할 것으로 판단되며 사용자의 입장에서 기 보유한 기기의 교체 없이 높은 위치정확도의 서비스를 이용할 수 있기 때문에 활용도가 높을 것으로 예상된다. 특히 최근 도심에서의 치안, 구조 작업에서의 필요성이 급증할 것으로 예상되는바 국민 안전 분야 및 사회 약자를 위한 안전망 구축에도 활용될 것으로 보인다.

핵심어 (5개 이내)	드론	위성항법	무결성	보호수준	저가형 GPS 수신기
----------------	----	------	-----	------	----------------

< SUMMARY >

Purpose & Contents	○ We propose an algorithm that improves the position accuracy of low cost GPS receiver mounted on the drone and generate integrity information such as protection level using the SBAS augmentation signal. ○ We aim to provide the SBAS service by constructing server and client module to eliminate the SBAS shadow areas even in the non-SBAS reinforcement information environment such as urban area or mountain area ○ We aim to present the feasibility to integrate drones in the airspace by providing the homogeneous and stable navigation performance regardless of the GPS receiver performance and SBAS GEO visibility environments.
Results	○ The feasibility to convert between the augmentation techniques such as SBAS, GBAS, and NDGPS has been analyzed and the limitations for each technique has been considered in the point of view to guarantee the navigation performance (accuracy, integrity) 1) Analysis of satellite navigation reinforcement technology – SBAS augmentation message format and function analysis – User correction information and integrity information generation algorithm analysis using SBAS message – RTCM message format analysis 2) Present limitations of current satellite navigation reinforcement technology for the commercial drone application – Analyzes the specification of the GPS receiver for the commercial drone and application limit of the current augmentation message – Limitation of receiving SBAS correction information in urban area. ○ Accuracy improvement algorithm of low-cost GPS receiver by generating correction and converting to RTCM message from SBAS messages 1) RTCM correction conversion algorithm of SBAS reinforcement information – Generate pseudorange PRC using SBAS message – Application of the generated PRC to the low-cost GPS receiver measurement and positioning – Performance verification by comparing the positioning result using converted RTCM correction information with that using SBAS augmentation message 2) Feasibility to use the DGPS-CP algorithm to the drone system ○ Providing integrity information of low-cost GPS receiver by applying SBAS integrity information, error modeling technique and protection level calculation algorithm 1) Low-cost receiver noise and multi-path error modeling – Analysis of receiver noise and multipath error model from RTCA – Possibility to apply RTCA model 2) Research and application of low cost GPS receiver integrity information generation algorithm – Present low-cost GPS receiver integrity information generation algorithm by applying error modeling equation – Protection level calculation using proposed integrity algorithm – Validation of integrity algorithm by comparing performance with expensive aviation receiver ○ Development of augmentation message re-transmission server and client module for the SBAS service in the SBAS signal shadow area 1) Development of SBAS calibration information re-transmission server – Analyze message for the real-time SBAS augmentation message transmission

	– Proposal of re-transmission of SBAS augmentation message based on the internet network – Development of the real-time re-transmission server of SBAS message ○ Analysis of received SBAS compensation information and development of RTCM compensation information conversion module for low cost GPS receiver input 1) Development of the client module for the re-transmitted SBAS message – Development of Decoding Module for re-transmitted SBAS message 2) Development of client module for re-transmitted SBAS message – SBAS to RTCM conversion module – SBAS integrity information generation module ○ Development of a protection level calculation module for the low cost GPS receiver ○ Static test of the developed user module and comparison of performance with the high-cost aviation receiver ○ Dynamic test of the developed user module by commercial drone mounting (open sky test and SBAS shielded area test)				
Expected Contribution	These technologies are expected to contribute to improving the accuracy of positioning in urban and mountain areas, which are shadow areas of KASS. The KASS which will send signals to the pilot service in 2019 can ensure continuous and uniform performance throughout the country by using these technologies. In addition, the converting technique of the SBAS correction to the PRC in RTCM can guarantee the accuracy of the SBAS class to the low-cost or old module which is lacking the SBAS function or the DGPS function itself. by improving the performance of the system. Particularly, since the role of maritime NDGPS is reduced due to the establishment of KASS, the service to convert SBAS message to RTCM is being studied. Therefore, the results of this study can be presented as technical data for policy decision.				
Keywords	Drone	GPS	Integrity	Protection Level	Low-cost GPS Receiver

< Contents >

Chapter 1. Outline of Research and Development	1
1. R & D Objectives	1
2. Necessity of R & D	1
3. R & D Scope	10
Chapter 2. Domestic and Overseas Technology Status	11
1. Domestic Technology Status	11
2. Overseas Technology Status	15
3. Technology Status Summary	17
Chapter 3. Research Contents and Performances	19
1. Fundamental Study for low-cost GPS receiver to use the SBAS correction and integrity information	19
2. Development of the SBAS message re-transmission server and client module to use the SBAS correction and integrity information	37
Chapter 4. Goal Achievement and Contributions	45
1. Goal Achievement	45
2. Contributions	59
Chapter 5. Plans to Utilize the R&D Results	60
1. Available Applications using Research Achievements	60
2. Research Complementary Plans for Use	63
Chapter 6. Overseas Scientific and Technical Knowledge	66
1. SBAS Message Contents and format	66
2. RTCM Message Contents and format	70
Chapter 7. Security of the R&D achievement	73
Chapter 8. Status of Research Facilities and Equipment Registered in the National Science and Technology Comprehensive System	74
Chapter 9. Implementation of Safety Measures in Laboratories by Performing R & D Tasks	75
1. Planning for Laboratory Safety Measures	75
2. Completion of regular safety training in laboratory	76
Chapter 10. R&D Results	77
Chapter 11. Miscellaneous	78
Chapter 12. References	79

<제목 차례>

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
1. 연구개발 목적	1
2. 연구개발의 필요성	1
3. 연구개발 범위	10
제 2 장 국내외 기술 개발 현황	11
1. 국내 기술 개발 현황	11
2. 국외 기술 개발 현황	15
3. 종합 결론	17
제 3 장 연구 수행 내용 및 성과	19
1. 저가형 GPS 수신기 SBAS 보정정보 및 무결성 정보 활용을 위한 기초 연구	19
2. 저가형 GPS 수신기 SBAS 보정정보 및 무결성 정보 활용을 위한 SBAS 보정정보 재송출 서버 및 사용자 모듈 개발	37
제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	45
1. 목표 달성도	45
2. 관련 분야 기여도	59
제 5 장 연구개발성과의 활용계획	60
1. 연구 성과 활용 분야	60
2. 실용화를 위한 연구 보완 계획	63
제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	66
1. SBAS 보강정보 형식 및 내용	66
2. RTCM 보정정보 형식 및 내용	70
제 7 장 연구개발성과의 보안등급	73
제 8 장 국가과학기술종합시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	74
제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	75
1. 연구실 안전 조치 이행 계획	75
2. 연구실 정기 안전교육 이수	76
제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구 실적	77
제 11 장 기타 사항	78
제 12 장 참고 문헌	79

〈표 차례〉

표 1 GPS 모듈 비교	6
표 2 연구개발 단계	9
표 3 국내 유사 연구 동향	11
표 4 국내외 특허 동향	14
표 5 상용 드론 항법모듈 비교	19
표 6 MT25 VCO 메시지 형식	22
표 7 MT25 VC1 메시지 형식	22
표 8 MT18 메시지 형식	26
표 9 MT26 메시지 형식	26
표 10 평균 기상 변수	27
표 11 기상 변수의 계절 변화량	27
표 12 SBAS전리층 모델에 사용되는 기상 상수	28
표 13 UDREI에 따른 UDRE 및 값	32
표 14 MT7 보정정보 갱신지연에 따른 정확도 저하 값 [19]	33
표 15 GIVEI값에 따른 GIVE, 값	35
표 16 SBAS 메시지의 RTCM 보정정보 포맷으로의 변환 방안	39
표 17 한반도 내부에서의 Inmarsat 4-F1 위성 신호 획득 가능 범위	40
표 18 고도에 따른 GPS 단독측위 및 SBAS(Inmarsat 4-F1) 보강항법 수행 가능시간 비율	40
표 19 MSAS Message type과 Schedule	45
표 20 RTCM DGPS MT1 Format	46
표 21 ublox LEA-6 series 주요 스펙	46
표 22 지원 가능한 SBAS 메시지	47
표 23 RTCA 표준 잡음 모델링 적용시 3σ 이내 이중차분 잔차 분포 확률(%)	51
표 24 제안한 잡음 모델링 적용시 3σ 이내 이중차분 잔차 분포 확률(%)	52
표 25 SBAS 보정정보 종류	66
표 26 MT10 정확도 저하인자 메시지 형식	67
표 27 보정정보 별 시간초과 및 최대 갱신주기	69
표 28 MT7 정확도 저하 메시지	69
표 29 RTCM 보정정보 메시지 타입	70

〈그림 차례〉

그림 1	아마존 Prime Air 무인 드론 택배 서비스	2
그림 2	무인기 공역 운용 계획 (출처: DoD UAS Airspace Integration Plan)	2
그림 3	플로리다 인근 공항에서 드론과 여객기의 근접비행 사건	3
그림 4	Protection Level와 Aler Limit	5
그림 5	ABIA (Avionics Based Integrity Augmentation) 모듈(좌)과 ABIA / SAA (Sense-And-Avoid) 결합 개념도(우) (출처 : Roberto Sabatini, "Assessing GPS Integrity Augmentation Techniques in UAV Sense-and-Avoid Architectures")	5
그림 6	상용화된 대표적인 드론 (좌: AR Drone 2.0, 우: 3DR x8+)	6
그림 7	대한민국 SBAS 시스템 KASS 개념도 (출처:항공우주연구원)	7
그림 8	고층건물로 인한 도심지 내 SBAS 사용 불가 상황	6
그림 9	강남 테헤란로 주변 SBAS 가시성 분석(왼쪽: 지표, 오른쪽 : 지상 30m)	8
그림 10	드론을 활용한 분리 거리 산출용 수신기 구성(기존 연구)	12
그림 11	DGPS 알고리즘 (좌: 거리 영역 DGPS, 우: 위치영역 DGPS)	13
그림 12	2013년부터 2018년까지 상업용 드론 시장 규모	15
그림 13	타이탄 에어로 스페이스 주력 드론 ‘솔라라’ 시리즈	15
그림 14	FAA 무인 항공시스템 시범 지역	16
그림 15	무인항공기 시장규모 발전 전망	17
그림 16	PRC 수신 시점과 시간초과	20
그림 17	의사거리 보정정보 계산 순서도	21
그림 18	VC 값에 따른 Slow Correction 값의 변화	23
그림 19	위성 궤도 및 시계오차 보정정보 계산 순서도	24
그림 20	IPP	24
그림 21	SBAS Band Number 및 IGP	25
그림 22	IGP 4개를 이용한 전리층 수직 지연 값 계산을 위한 수치보간법	26
그림 23	Local DGPS-CP 정확도 향상(좌: 수평, 우: 수직) (Yoon, 2016)	29
그림 24	SBAS 정확도 향상 (좌 : 수평, 우: 수직)	30
그림 25	SBAS 와 DGPS-CP	30
그림 26	항공용 보호수준 및 사용자 수직 위치오차	31
그림 27	항공용 보호수준과 비 항공용 보호수준의 비교 및 사용자 수직 위치오차	32
그림 28	항공기 정밀접근 수행 시 수평/수직 보호수준 산출 순서도	37
그림 29	SBAS 보정정보 재송출 시스템	38
그림 30	SBAS 재송출 UDP 서버 흐름도	38
그림 31	한반도 전체를 포함하는 각 지점 정의	39
그림 32	포스코사거리 인근지역에서의 고도별 SBAS 보강항법 수행 가능시간 비율	41
그림 33	실험 구상도	41
그림 34	저가형 GPS 수신기(Ublox)에서의 시스템 수행 순서도	42
그림 35	실시간 소프트웨어 개념도	43
그림 36	MSAS 정지궤도위성 (PRN 137) 그라운드 트랙	44
그림 37	실험 장소 (SBAS 신호 차폐 지역)	44
그림 38	SBAS 신호 차폐 확인 실험 당시 Skyplot	44
그림 39	U-blox LEA-6 수신기 SBAS 제공정보	47
그림 40	24시간 데이터 처리 결과	49
그림 41	측정치 오차 모델링 방법(Kim, 2014)	50
그림 42	RTCA 표준 잡음 모델링 적용시 오차 분포	51
그림 43	제한한 잡음 모델링 적용시 오차 분포	52
그림 44	수평/수직 보호수준 및 위치오차 포함 여부 비교	53

그림 45 DGPS 모듈 흐름도	54
그림 46 사용자 모듈 흐름도	54
그림 47 Position Error	55
그림 48 Protection Level	55
그림 49 U-blox 6 수신기가 지원하는 RTCM 2.3 메시지 목록	56
그림 50 실시간 드론 적용 결과(좌: 수평, 우:수직)	57
그림 51 stand-alone 및 SBAS2RTCM 위치 오차	57
그림 52 보호수준 산출	58
그림 53 보호수준 산출 결과(좌:수평, 우:수직)	58
그림 54 NASA의 UTM 시스템 개념도	60
그림 55 UTM 시스템의 기능 및 역할	61
그림 56 DGPS-CP와 SBAS-CP 정확도 비교	62
그림 57 Android SBAS 보정정보 적용 위치 결과	62
그림 58 V&V 시험 절차	63
그림 59 GS 시험 인증 절차	64
그림 60 동적 시험 성능 검증 구성도	65
그림 61 SBAS 메시지 연결구조	68
그림 62 RTCM 메시지 헤더	71
그림 63 RTCM Message Type 1 구조(word 3~7)	71
그림 64 RTCM Message Type 3 구조(word 3~6)	72
그림 65 안전 점검 실시 빈도(좌) 및 안전점검표(우)	75
그림 66 온라인 연구실 안전 교육 과정	75
그림 67 안전교육 이수증명서	76

제 1 장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

오늘날 산업 분야에서 드론의 활용 가능성이 높아지고 다양화됨에 따라 기존 유인기 공역에서 드론을 비롯한 무인기 혼용을 위한 법 개정 요구 역시 커지고 있다. 그러나 지난 2월 15일 미국 FAA(Federal Aviation Administration)가 발표한 소형무인항공기와 관련된 새로운 규정은 유인기 영역에서 혼용이 가능한 무인기의 조건을 엄격하게 규제하였다. 특히 조종사의 가시성(VLOS, Visual Line-Of-Sight) 조건을 만족하는 드론은 그 운용 범위가 매우 제한적이므로 택배 등 다양한 산업 활용이 사실상 불가능해졌다. 산업계가 요구하는 수준의 드론 운용을 위해서는 현재 유인기와 같이 엄격한 수준의 항공기간 분리(Separation) 거리, 감지 및 회피(Sense & Avoidance) 등이 적용되어야 하는데, 이를 위해서는 정확도 향상과 무결성 정보 획득이 필수적이다. 현재 상용화된 드론에 사용되는 GPS 수신기들은 대부분 SBAS(Satellite-Based Augmentation System)에 의해서 위치 정확도 향상은 가능하나 무결성 정보 생성기능은 생략되는 저가형 수신기이므로 항공용으로 적합하지 않은 수신기를 사용하고 있다. 뿐만 아니라, SBAS 보강 정보를 전송하는 위성은 대부분 정지궤도 위성이고 고도각이 약 40도 수준에 불과하므로, 도심이나 산악지역에서는 수신에 불가하여 정확도 향상과 무결성 정보 생성이 거의 불가능하다.

따라서 본 연구에서는 SBAS 보강 정보를 별도의 채널로 전송하고 이를 저가형 GPS 수신기에 적용할 수 있는 기술을 연구함으로써, 드론의 운용 시간과 위치, 용도에 관계없이 높은 정확도의 위치 정보와 무결성 정보를 획득할 수 있는 기초 기술을 제시하도록 한다. 이를 통해 비가시 조건에서도 드론의 위치 정보를 신뢰하고 유인기와 동등한 수준의 안전한 환경을 제공함으로써, 모든 무인기가 모든 공역에서 유인기와 통합 운용되기 위한 기반 기술 확보에 핵심적인 역할을 할 수 있다.

2. 연구개발의 필요성

가. 연구개발과제의 설명

레저, 엔터테인먼트, 기술연구 용으로 주로 활용되던 드론의 민간분야 활용 범위가 점차 확대되고 있다. 아마존, 도미노 피자, 구글 등은 드론을 이용한 택배 서비스 시연을 통해 물류 분야에서 즉시 적용 가능함을 제시하고 있고, 의료, 재난 감시 등 다양한 분야에서의 활용 가능성도 점쳐지고 있다. 이와 같이 각 산업 분야에서 드론의 활용 가능성이 높아지고 다양화됨에 따라 기존 유인기 공역에서 드론을 비롯한 무인기 혼용을 위한 법 개정 요구 역시 커지고 있다.

그러나 지난 2월 15일 미국 FAA(Federal Aviation Administration)가 발표한 소형 무인항공기와 관련된 새로운 규정은 드론 사용에 대한 산업계의 기대를 꺾고 말았다. FAA는 무게 25kg 이하, 최대 항속 100 mph, 최대 고도 500 피트, VLOS(Visual line-of-sight)를 유지하는 무인기에 한하여 유인기 공역에서의 운용을 허락하고 있는데, 미국 아마존 사의 무인 드론 택배 서비스인 Prime Air의 경우 FAA가 제시하는 대부분의 조건을 만족하지만 가시비행(Line-of-sight) 상태를 유지해야한다는 규정을 만족하지 못해 현재 그 서비스가 불투명해진 상태가 되었다. 무인 드론 택배 서비스의 경우 80km 범위까지 드론 운용을 목적으로 하였기 때문에, 가시거리 내에서 운용만으로는 그 사업성이 보장받을 수 없기 때문이다.



그림 1 아마존 Prime Air 무인 드론 택배 서비스

미국은 현재 국가 공역에서 무인기 운용을 위해 Line-of-Sight Operations(가시 거리 내 운용), Terminal Area Operations(C, D 등급 공역 등 터미널 주변 공역에서 운용), Lateral & Vertical Transmitt Operations(A, C, D, E 등급에서 3차원적 분리운용), Dynamic Operations(모든 공역에서 GBAS, SBAS를 활용한 유무인기 통합 운용)의 4단계 접근 전략을 수립하여 체계적인 항공교통관리 정책을 준비 중인데, 이번 발표는 가장 기초적인 수준의 운용 단계를 제시한 것이라고 할 수 있다.

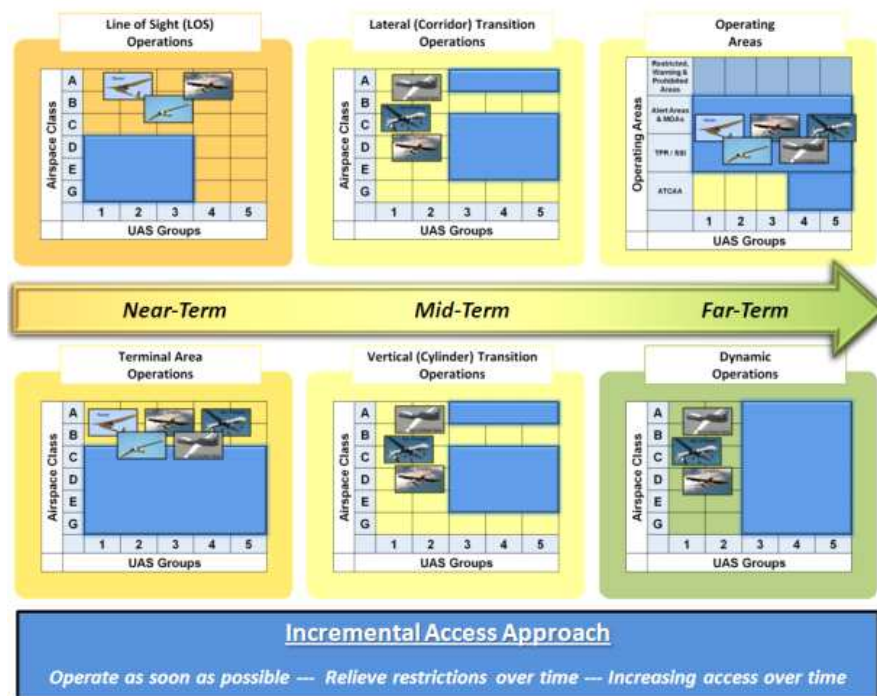


그림 2. 무인기 공역 운용 계획 (출처: DoD UAS Airspace Integration Plan)

드론과 같은 무인기를 궁극적으로 Dynamic Operation에 사용하기 위해서는 현재의 유인기와 같이 엄격한 수준의 항공기 간의 분리 거리(Separation Range), 감지 및 회피(Sense & Avoidance) 등이 적용되어야 하는데, 현재 레이저, 토이, 방송 촬영 등을 위해 사용되는 드론에 장착된 저가형 GPS 수신기로는 이에 필요한 GPS 위치정확도 및 무결성 정보를 제공할 수 없는 기술적인 한계가 바로 FAA의 제한적인 법 개정의 배경이라고 할 수 있다.

이러한 법 개정으로 인하여 대규모 사업을 준비하였던 글로벌 기업에는 드론 사용과 유인기 위협에 제제가 가해졌으나, 개인 사용자에게 대한 실효성은 의문시되고 있다. 2014년 3월 플로리

다에서는 공항과 5마일 떨어진 인근 지역에서 착륙비행 중이던 미국의 제트 여객선이 2,300피트 상공에서 비행 중이던 드론과 충돌할 발생할 뻔했던 사건이 발생했다(그림 3). FAA의 규정
에 500피트의 고도제한과 회피 알고리즘의 탑재, 공역 클래스 운용을 위한 ATC(Air Traffic
Center) 허가가 요구되었음에도 불구하고, 해당 사건에 활용된 일반 취미용 드론의 경우 상기
의 조건을 전혀 충족하지 않고 비행 중이었다. 향후 드론 시장의 성장에 따라 이와 같은 해프
닝 수준이 아닌 일반 드론과 항공기의 충돌로 인한 사고로 이어질 가능성은 더욱 빈번할 것으
로 예상되는 바 이에 대한 대비책이 필요하다. 그러므로 드론의 민간 분야활용을 위해서는 드
론에 장착된 저가형 GPS 수신기의 위치 정확도 향상뿐 아니라, 고장 검출(Fault Detection), 보
호수준(Protection Level) 산출과 같은 무결성(Integrity) 보강이 필요하고, 이를 위해 GPS 보강
시스템인 DGPS(Differential GPS) 기술의 적용이 필수적이다.



그림 3 플로리다 인근 공항에서 드론과 여객기의 근접비행 사건

이러한 추세에 따라 일부 연구 기관에서는 LADGPS(Local Area DGPS), WADGPS(Wide Area DGPS) 등을 활용한 분리 거리 설정, 무결성 성능 산출 등의 유무인기 통합 운용을 위한 연구를 진행하고 있는데, 기존 유인기에 사용되던 중고가의 수신기를 대상으로 raw Measurement까지 출력하여 적용하는 등 실제 운용과는 다소 거리가 있는 연구들을 수행 중이다. 일반적으로 드론에 장착되는 대표적인 저가수신기인 Ublox LEA-6H 역시 LADGPS 보정 정보 표준 중 하나인 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Services)을 지원하고 SBAS(Satellite Based Augmentation System) 기반의 WADGPS 데이터 수신에 가능하므로 위치 정확도의 향상은 가능하지만, 항공 분야 표준인 GBAS(Ground Based Augmentation System)의 RTCA(Radio Technical Commission for Aeronautics) 포맷을 지원하지 않고 SBAS 정보 수신으로 획득 가능한 무결성 정보 생성 기능은 생략되어 있다.

뿐만 아니라, 시스템 구성의 편의성과 전 공역에서의 사용 가능성으로 대부분의 드론에서 적용하고 있는 SBAS의 경우 정지궤도위성을 활용하여 그 양각이 약 42도에 지나지 않으므로, 해당 방향이 차폐된 지역에서의 드론 운용시 취득한 위치 정보의 정확성과 신뢰성을 확보할 수 없다. 특히 산악과 도심 환경이 많은 우리나라의 지형적 여건을 고려할 때, 드론의 운용 지역에 따라 임무 수행 여부가 결정될 여지가 많으므로 안정적인 서비스 활용에 제약이 따른다.

따라서 본 연구는 드론에 실제로 탑재되는 저가형 GPS 수신기를 대상으로, 보호수준을 비롯하여 유인기 공역 내 통합 운용에 필수적인 무결성 정보를 제공하기 위한 알고리즘 제안과 시스템 개발을 그 목적으로 한다. 또한 SBAS 보강 정보 미수신지역에서도 별도의 데이터 채널로 해당 보강 정보를 획득하고 적용함으로써, 도심과 산악을 포함한 전 지역에서 높은 정확도와 신뢰성을 보장할 수 있는 위치 정보를 제공하여 안정적인 드론 서비스를 지원할 수 있는 시

시스템을 개발하도록 한다.

본 연구에서 제안하는 알고리즘과 시스템을 적용할 경우, GPS 수신기 사용 측면에서의 직접적인 기술적, 경제적 효과와 SBAS 인프라 활용 차원의 간접적인 경제적 효과를 기대할 수 있다. 일반적으로 무결성 정보 제공은 고가의 항공용 GPS 수신기에 국한되어 있으므로, 현존의 기술로는 드론을 비롯한 항공기를 사용하기 위해서 해당 장비를 필수적으로 구축해야 하였다. 그러나 본 연구에서 제시하는 알고리즘과 시스템을 통하여 저가형 GPS 수신기에도 적절한 무결성 정보를 제공한다면, 일부 GPS 수신기 업체에 대한 심각한 기술 종속을 극복하고, 보편적으로 사용되는 수신기에 사용자가 직접 항공용 기능을 추가하는 기술로 활용 가능하다. 일반적으로 항공용 GPS 수신 장비의 가격이 수백~수천만원 수준인데 반하여 현재 드론에 사용되는 GPS 수신기의 가격이 십여 만원인 것을 고려할 때 해당 기술을 통한 경제적 효과도 매우 클 것으로 기대된다. 뿐만 아니라, 현재 국토교통부 주관으로 구축 예정인 대한민국 SBAS 시스템 KASS (Korea Augmentation Satellite System)가 정식 운용시 신호 차폐 지역에 대해서도 서비스 제공 및 적용이 가능하므로 인프라의 활용성 측면에서의 간접적인 경제적 효과 역시 기대된다.

나. 연구개발의 중요성

무결성이란 항행 시스템에 이상이 발생하였을 때 이것을 정해진 시간 내에 사용자에게 경보해줄 수 있는 능력을 의미한다. 만약 무결성 감시 시스템이 제대로 작동을 하지 못해서 일정 크기 이상의 고장이 발생하였는데도 고장을 감지해 내지 못한 경우 무결성 위험이 발생하였다고 한다. 이 경우 실제 위치와 계산된 위치의 차이가 클 수 있으므로 매우 위험한 상황에 처할 수 있게 된다.

무결성 감시 분야는 Anomaly detection과 Error detection의 두 가지로 나뉜다. Anomaly Detection은 수신한 위성신호에 고장이 포함된 경우 어느 위성의 신호에 고장이 포함되어있는지 찾는 역할을 수행하고, 대표적인 기능인 RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring)이 대부분의 수신기에 포함되어 있다. 이와 같이 고장이 포함된 측정치가 제거되고 위치가 결정된 후에도, 정상 신호에는 여러 가지 오차 성분이 포함되어 있으므로 추정된 위치는 항공기의 실제 위치와 다소 차이가 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 측정된 신호의 잡음의 수준과 위성의 기하학적 배치 등을 고려하여 계산된 위치와 실제 위치와의 관계를 추정하여 계산된 위치를 실제 위치로 받아들여도 안전한 운행에 지장이 없는지를 판단하는 데 이를 Error detection이라고 한다.

Error detection을 위하여 측정된 신호의 noise 수준과 위성의 기하학적 배치를 이용하여 자신의 실제 위치가 계산된 위치로부터 몇 m안에 포함되는지를 추정하는데, 이 범위를 보호수준 (Protection level)이라고 한다. 항공기의 실제 위치가 보호수준 안에 있다고 가정하고 보호수준이 항행 요구조건인 경보제한(Alert Limit)보다 크게 되는 경우에는 자신의 위치가 위험 지역에 들어갈 수 있으므로 정상 운항이 불가능하다. 따라서 보호수준은 최대한 작게 추정될수록 좋으며, 실제 측정치의 오차수준을 정확히 모델링하여야 하므로, 고가의 항공용 장비에서만 그 정보를 제공한다.

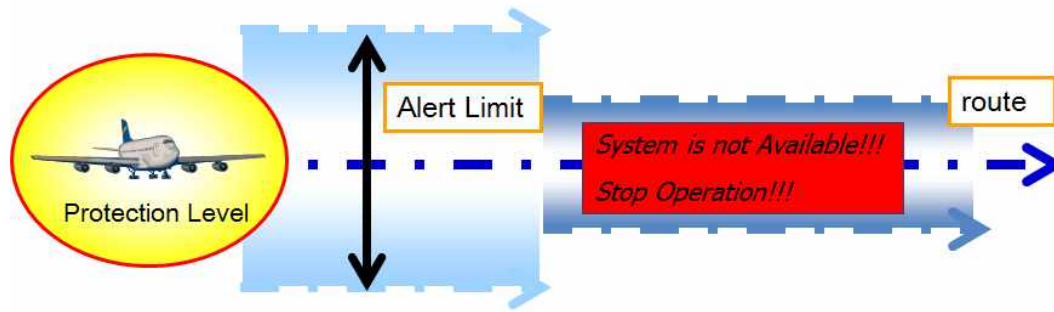


그림 4 Protection Level와 Aler Limit

이와 같은 보호수준과 경보제한은 En-route, NPA(Non-Precision Approach), APV(Approach Procedure with Vertical guidance) 등과 같은 항행 절차를 만족할 수 있는지 여부를 판단할 때 사용한다. 이상의 항행 절차는 기본적으로 시계 비행이 아닌 계기 비행을 가정하므로, Non LOS 조건의 무인기에도 동일하게 적용 가능하다. 즉, 항행 절차에 사용되는 보호수준과 경보 제한 비교를 통해 비가시 환경의 무인기에서 제공하는 위치의 이상 여부를 결정하고, 정상으로 판정된 무인기의 위치와 속도 정보를 바탕으로 무인기간 분리와 감지 및 회피 기법 적용이 가능하다.(R.Sabatini)

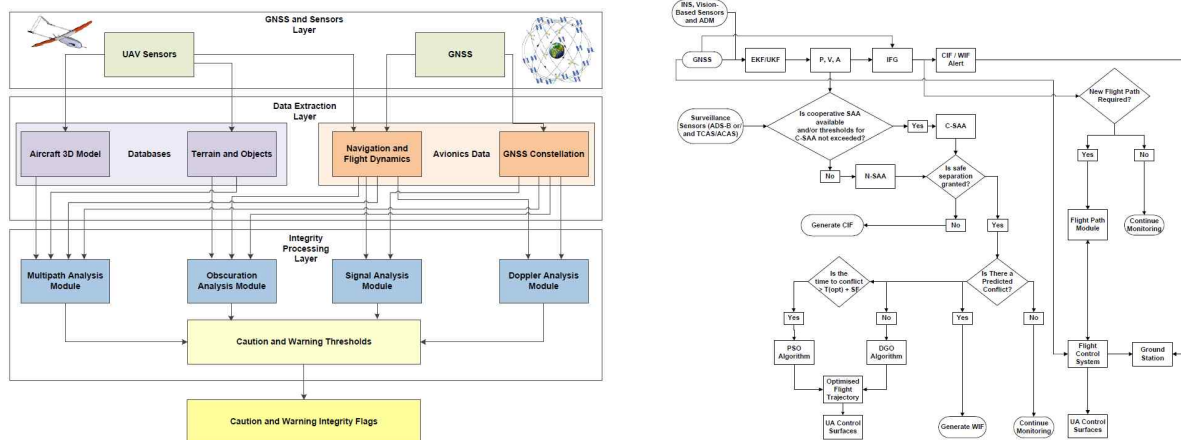


그림 5 ABIA (Avionics Based Integrity Augmentation) 모듈(좌)과 ABIA / SAA (Sense-And-Avoid) 결합 개념도 (우)

(출처 : Roberto Sabatini, "Assessing GPS Integrity Augmentation Techniques in UAV Sense-and-Avoid Architectures")

따라서 비가시 환경의 무인기가 모든 공역에서 유인기와 함께 운용되기 위해서는 유인기와 동일한 수준의 분리와 감지/회피 기술이 적용되어야 하고, 이를 위해서 무인기의 GPS 수신기에 보호수준 산출 제공 기능이 포함되어야 하지만, 드론의 경우 저가의 범용 수신기가 적용되는 것이 일반적이다.

레이저, 군사, 촬영 등의 목적으로 상용화되어 일반적으로 판매되고 있는 2대의 드론으로 프랑스 Parrot사의 AR Drone과 3DRobotics 사의 x8+이 대표적이다. AR Drone의 경우 GPS 항법 장치로 Telit사의 JN3 GPS 모듈을 사용하고, x8+은 u-blox사의 LEA-6H GPS 모듈을 주 항법 장치로 이용하고 있다.



그림 6 상용화된 대표적인 드론 (좌: AR Drone 2.0, 우: 3DR x8+)

이 두 가지의 항법 모듈은 Multi-GPS 신호와 SBAS 신호 수신을 지원한다는 측면에서 공통점을 가지지만, 아래 표에 정리하여 제시한 바와 같이 Range와 Integrity 의 SBAS 기능들 중 지원 가능한 기능이 상이하고, u-blox LEA-6H의 모듈만이 SBAS 이외의 보정정보 적용이 가능하다.

표 1 GPS 모듈 비교

Module	JN6 GPS Module	LEA-6H GPS Module
Manufacturer	Telit Wireless	U-blox
Image		 LEA-6: 17.0 x 22.4 x 2.4 mm
GPS Signals	GPS/GLONASS/Galileo/SBAS	GPS/Galileo/SBAS
Input	Not Available	RTCM v2(DGPS)
SBAS Mode	Only Range	Range / Integrity

기능적으로는 항공용 항법 Integrity 정보를 제공한다고 명시되어 있는 u-blox의 LEA-6 GPS 모듈 역시 u-blox 자체 포맷인 UBX 내에 보정정보 성분별 값과 Integrity 가용 여부만 제시할 뿐 보호수준 산출 등에 필수적인 값은 제공하지 않는다.

종합하면, 비가시환경에서도 유무인기 혼합 운용을 하기 위해서는 모든 무인기에 유인기와 동일한 수준의 분리 거리가 적용되고 신뢰할 수 있는 감지 및 회피 기술이 필요한데, 이를 위해 GPS 항법 장치의 신뢰성 있는 위치 제공이 필수적이다. GPS 항법 장치가 제공하는 위치 정보의 신뢰성은 보호수준으로 표현되는데 현재 시판되는 드론에 장착된 수신기로는 산출이 불가능하므로, 유인기 공역 혼용 운용에서 현재의 장비와 기술로는 FAA의 개정안에서 제시한 바와 같이 LOS 환경 적용이 불가능하다.

특히 대부분의 드론이 포함하고 있는 SBAS 기능은 항법 신호를 통해 서비스가 제공되어 그 이용에 제한이 없으므로, 항공 외에 해양, 교통, 정보통신, 물류, 응급구조 등 모든 분야에서 광범위하게 활용이 가능하다. 국내에서도 그 중요성을 인정받아 2019년 공개 서비스와 2021년 항공용 상용 서비스를 목표로 구축 사업이 진행 중인데, 드론에의 적용 여부에 따라 미래 SBAS 활용 범위에 큰 차이가 있을 것으로 보인다. 앞서 언급한 바와 같이 현재 대부분의 드론이 Integrity 기능이 결여된 위성항법 수신기를 사용하고 있다는 문제 외에도, 미래 드론 산업에서의 SBAS 활용을 가로막는 요인 중 하나는 바로 SBAS 위성의 가시성이다.



그림 7. 대한민국 SBAS 시스템 KASS 개념도
(출처:항공우주연구원)

SBAS의 경우 정지궤도 위성이기 때문에 한반도 내에서는 항상 동일한 시선각 즉, 일정 고도와 방위각에서만 수신 가능하다. 현재 일본에서 운용중인 SBAS, 즉 MSAS의 경우 위성 2기 모두 서울 기준으로 양각 42~44도, 방위각 151~159도에서 신호 획득이 가능하고, 정지궤도 위성인 Inmarsat을 임차할 예정인 KASS 신호 역시 비슷할 것으로 전망된다. 따라서 정지궤도 위성의 시선 방향으로 시야를 확보해야만 보강 신호 획득과 처리가 가능한데, 아래 그림과 같이 고층 건물이 밀집한 도심지 내에서는 위성 신호의 수신이 불가능한 상황도 발생할 수 있다.

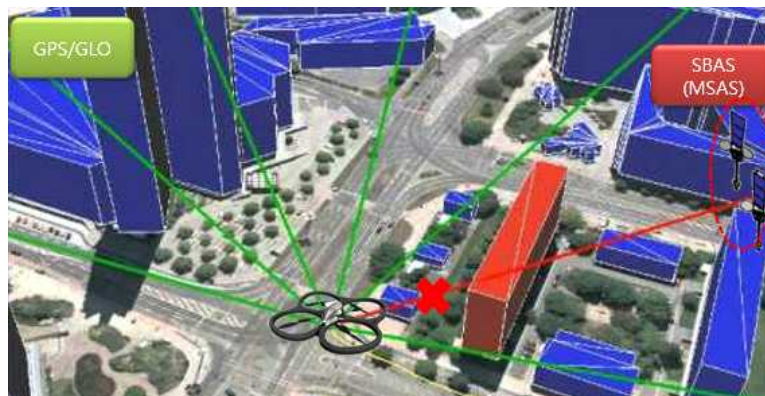


그림 8 고층건물로 인한 도심지 내 SBAS 사용 불가 상황

국토부 v-월드에서 제공하는 건물 데이터를 이용하여 강남 테헤란로 주변 일대에서 MSAS 차폐 유무를 분석한 결과는 다음 그림과 같다. 왼쪽은 지표를 기준으로 분석한 결과로 강남 전체에 대해서 약 18%, 테헤란로 기준으로 47.54% 지점에서 MSAS 데이터 수신이 불가능하다. 오른쪽 그림과 같이 약 30m 고도를 상승 시켰을 경우에도 테헤란로 상 약 33.81% 지점에서는 SBAS 보강신호 수신 환경이 전혀 개선되지 않는 등 가시성 개선에 큰 도움이 되지 않는 것을 확인할 수 있는데, 이는 도심에서의 SBAS 기반으로 드론 운용시 상당한 제약이 있음을 의미한다. 이와 같이 드론을 이용한 서비스를 할 경우 현재의 기술로는 SBAS 위성의 신호 수신 없이는 위치 정확도 향상과 결정된 위치의 무결성을 제공할 수 없기 때문에 별도의 채널로 보강 정보를 전달해줄 필요가 있다.

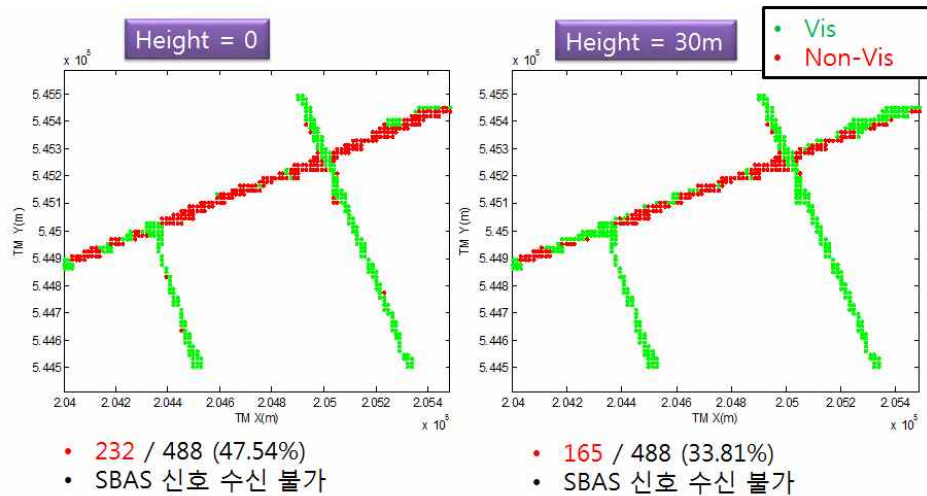


그림 9 강남 테헤란로 주변 SBAS 가시성 분석(왼쪽: 지표, 오른쪽: 지상 30m)

드론과 SBAS는 높은 수준의 기술과 복잡한 장비를 이용하는 항공용 시스템을 손쉽게 보편화하여 다양한 산업 분야로 과급시키는 면에서 공통점을 갖고 있고, 그에 따른 시너지도 클 것으로 예상된다. 비록 이번 FAA의 법 제정에서 배제되기는 하였으나, 산업계가 이러한 시너지와 잠재력을 주목하는 한 드론의 운용 범위를 유인기 영역까지로의 확장 요구는 지속될 것으로 보인다. 그러나 앞서 살펴본 바와 같이 현재의 대중화된 드론에 포함된 GPS 수신기로는 해당 드론뿐 아니라 유인기의 안전을 보장할 수 없다. 국가적인 관점에서 보았을 때, 산업화에 따른 국가 경제 발전과 안전은 그 경중을 논하기 매우 어려운 중요한 가치이므로, 국가 차원에서의 이를 극복할 수 있는 기술과 대안을 찾는 것이 필요하다. 또한 국토교통부 주관으로 약 1300억 원의 예산이 투입되는 국가 사업인 KASS 사업의 최종 목표는 결국 그 활용도를 높이는데 있으므로, KASS 보강 정보의 전달이 불가한 도심과 산악 지역에서도 서비스를 제공할 수 있는 시스템을 준비하는 것 역시 구축사업과 함께 국가 차원에서 병행되어야 하는 연구라고 할 수 있다.

다. 연구개발 단계

본 연구는 현 드론의 유인기 영역 혼용에 필요한 무결성 정보 제공을 위하여 새로운 아이디어를 도출하고 이를 시뮬레이션과 실험실 수준의 성능 평가를 통해 증명하는 것을 최종 목표로 하므로 TRL 2 ~ TRL 4에 해당하는 연구라고 할 수 있다.

표 2 연구개발 단계

구분		표기	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☒	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	TRL 6	유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

보호수준 결정에 필요한 저가형 수신기의 측정치 오차 모델링과 위치영역 오차의 보정 등 새로운 알고리즘 제시 및 적용, 소프트웨어의 개발 등 공법·기법 유형과 소프트웨어 유형 등이 복합적으로 포함되어 있기는 하지만, 현재의 시스템을 개선하는 것이 가장 큰 목적이므로 시스템 유형이라고 할 수 있다.

TRL 2에서 정의된 바와 같이 가능성이 확인되지 않은 ‘저가형 수신기의 보호수준 산출’ 알고리즘을 제안하고, TRL 3에서 정의된 바와 같이 matlab으로 이를 검증한다. ‘보정정보의 포맷 간 변환 알고리즘’은 국제 표준회의 또는 정책 보고서 등에 개념적으로 제시하고 있으므로 matlab을 이용한 TRL 3 단계를 통해 개념 및 문헌 연구 수준을 넘어 기술적 구현을 위한 실험적 연구를 수행한다. TRL 3 단계를 통해 검증된 요소 기술들과 SBAS 보강정보 재전송 및 드론 적용 기술은 TRL 4 단계를 통하여 시험하도록 한다. 실험실 환경에서의 시험 장치 구성을 위하여 상용 드론과 해당 드론에 설치된 GPS 수신기를 구매하고, 강남 테헤란로와 같이 SBAS 신호가 차폐되는 지역을 세종대 인근에서 확보한 후, 해당 지점에서 반복시험을 수행함으로써 제시한 알고리즘의 적절성 및 효과를 분석한다.

라. 타산업 연계 및 국제협력 가능성

드론과 SBAS는 높은 수준의 기술과 복잡한 장비를 이용하는 항공용 시스템을 손쉽게 보편화하여 다양한 산업 분야로 파급시키는 면에서 공통점을 갖고 있고, 그에 따른 시너지도 클 것으로 예상된다. 농업 및 산림 분야는 이미 일찍이 드론을 적용하여 사용하고 있고, 호버링 운영과 여러 영상, 통신 장비를 충분히 탑재할 수 있는 장점으로 인해 시설 모니터링, 통신 허브의 역할을 수행하는 드론 역시 시장의 비율을 점차 높여 갈 것으로 기대된다. 최근 이슈화된 ‘택배 배송’은 단기적으로 가장 손쉽게 적용되고 그 시장성 역시 클 것으로 기대되는 바, 본격적인 드론 시장을 주도할 것으로 예측되고 있다.

이러한 산업계의 요구에도 불구하고 이번 FAA의 법 제정으로 인해 항공용에서 필수적인 보호수준 산출에 대한 요구가 전 세계적으로 점차 높아질 것으로 기대된다. 일반적으로 정확도 향상에만 사용되었던 SBAS 보강신호를 드론용 GPS 수신기의 무결성 및 보호수준 산출에 적용한다면 전 세계 및 산업계의 관심을 불러일으킬 수 있으므로 다양한 협력 가능성이 예상된다.

특히 미국의 스탠포드 대학과 국내의 카이스트 대학이 협력하여 GBAS(Ground Based Augmentation System)를 통해 드론에 장착된 GPS 수신기의 무결성 정보 생성 연구를 지속적으로 진행하고 있으므로 본 연구와의 연계 및 협력 가능성이 높다고 판단된다.

3. 연구개발 범위

가. 저가형 GPS 수신기 SBAS 보정정보 및 무결성 정보 활용을 위한 기초 연구

- 상용 드론에 적용 가능한 위성항법 보강 기술 현황 분석
- SBAS 보강 정보를 활용한 저가형 GPS 수신기 정확도 향상 알고리즘 연구
 - SBAS 보강 정보의 RTCM 보정정보 변환 알고리즘 연구 및 개발
 - 보정정보 위치영역 맵핑 기술 개발 및 적용 가능성 타진
- SBAS 보강 정보를 활용한 저가형 GPS 수신기 무결성 정보 제공 연구
 - 저가형 수신기 노이즈 및 다중경로 오차량 모델링
 - 저가형 GPS 수신기 무결성 정보 생성 알고리즘 연구 및 적용
 - 제시한 무결성 알고리즘을 이용한 Protection Level 산출

나. 저가형 GPS 수신기 SBAS 보정정보 및 무결성 정보 활용을 위한 기초 연구

- SBAS 보정정보 재송출 서버 및 사용자 모듈 개발
 - SBAS 보정정보 재송출 서버 개발
 - 재송출 SBAS 보정정보 수신 모듈 개발
 - 재송출 SBAS 보정정보 적용 사용자 모듈 개발
- 상용 드론 장착을 통한 성능 테스트
 - GPS 수신기와 보정정보 수신 및 적용 모듈 장착을 통한 실험용 드론 구성
 - Open Sky / SBAS 차폐지역 실험을 통한 정확성 및 무결성 성능 테스트 수행

제 2 장 국내외 기술 개발 현황

1. 국내 기술 개발 현황

가. 국내 연구 동향 분석

본 과제와 관련하여 www.ntis.go.kr에서 검색한 결과 중소기업청의 ‘DGPS 지상기준국 및 1m급 실시간 이동측위 단말기 개발’과 ‘민간 무인항공기 실용화를 위한 기반 조성 연구’두 건의 과제가 유사한 과제인 것으로 확인되었다.

(단위 : 억원)

표 3 국내 유사 연구 동향

부처명	사업명	과제명	예산	비 고
중소기업청	이전기술개발사업	DGPS 지상기준국 및 1m급 실시간 이동측위 단말기 개발	1.3	-
국토교통부	국토교통기술연구 개발	민간 무인항공기 실용화를 위한 기반 조성 연구	42.5	

(1) DGPS 지상기준국 및 1m급 실시간 이동측위 단말기 개발

본 유사 과제는 1m 급 정확도 수준을 갖는 이동측위용 단말기를 개발하기 위한 연구로 소형 DGPS 기준국과 25Ghz 대역의 간이무선을 이용한 지상국시스템을 개발하는 연구이다. 주요 목표로는 단말기를 소형 경량화 하고 저소비전력으로 장기간 활용이 가능한 저가의 DGPS 단말기를 개발하는 것이다. 해당 과제에서는 1m 급 DGPS를 위한 별도의 기준국과 수신국을 구성하는 것을 목표로 하고 있다. 해당 과제에서는 지상의 사용자만 고려하여 지표에서 생성한 보정 정보를 별도의 가공 없이 사용자에게 적용하므로, 과업 범위에 포함되지 않은 항공용 드론의 경우 지표와 상이한 대류층 오차를 보정할 수 없어 적용이 불가능하다. 또한 해당 과제에서는 원시데이터 출력이 가능한 수신기를 이용하여 연구개발과제를 추진한 반면, 본 제안 과제에서는 실제 드론에서 사용되고 있는 저가용 GPS 수신기에의 적용을 목표로 한다는 점과 정확성 외에도 무결성에 대한 연구도 병행한다는 면에서도 차별화된다. 이와 같이 본 과제는 최종 응용 분야와 알고리즘을 적용하고자 하는 GPS 단말기에서 기존 과제와 큰 차이가 있고, 항공 항법에 필수적인 무결성에 대한 연구가 수행된다는 점에서 차별화된다.

(2) 민간 무인항공기 실용화를 위한 기반 조성 연구

본 유사 과제는 민간 무인항공기 실용화를 위한 기반 조성을 위해 국제 인증기준, 운항기준 등에 대한 국내 기준안을 수립하고 핵심기술 및 운용기술에 대한 연구를 진행하여 국가 공역 내에서의 유무인항공기 혼합운용을 위한 방향성을 제시하기 위한 과제로 2013년부터 진행되고 있다. 진행되고 있는 세부 연구들은 아래와 같다.

- 국외 민간 무인기 공역통합을 위한 핵심기술 조사
- 국내외 무인기 혼합 운용 및 운항기술기준 관련 자료 조사
- 국내외 민간 무인항공기 인증제도, 기술기준, 인증절차 연구동향 조사
- 무인기 운용인프라 기술자료 조사 및 분석
- 고위험 기술요소 획득방안 검토
- 국내외 무인기 관련 사생활 보호 관련 자료조사

- 국제 수준의 인증기술기준과 운항기술기준 수립
- Sense and Avoid, 통신/통제(C2) 등 핵심기술 선행 연구
- 위 선행 연구에 대한 식별, 운용인프라 구축 및 운용기법 방안 연구
- 시범 항공기를 통한 인증 시뮬레이션
- 관련 제도 기안

위의 연구 방향성 및 연구 목표 결과물을 검토해볼 때, 위 유사과제의 핵심 연구 사항은 국내외 무인기 혼합 운용 연구 현황 조사 및 운용 인프라에 대한 제도 수립, 운용기법 수립이라 볼 수 있다. 상기 연구의 경우, 새로운 기준 제정을 도출하기 위하여 드론의 비행 특성을 반영한 실험을 수행하고 이를 통해 데이터를 취득하여, 기존 유인기에 적용했던 것과 동일한 방식으로 접근하고 있다. 이를 위해 GPS raw Measurement까지 출력이 가능한 중고가의 GPS 수신기를 이용하여 연구를 수행하고 있으므로 현재의 드론보다는 미래의 드론의 혼합 운용을 고려한 연구로 판단된다.

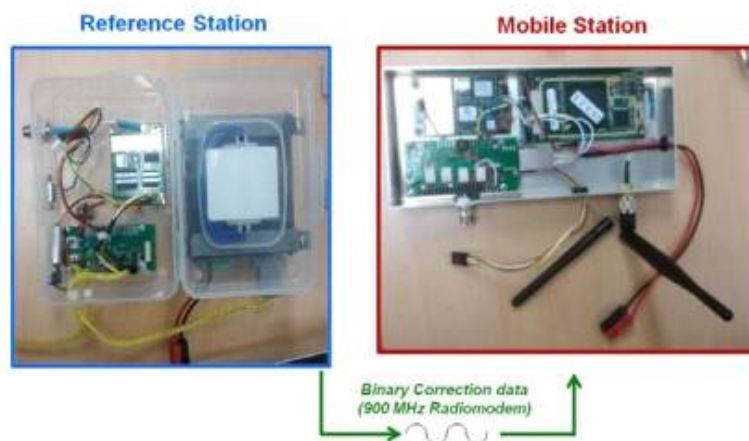


그림 10 드론을 활용한 분리 거리 산출용 수신기 구성(기존 연구)

해당 유사과제에서는 무인기 혼합 운용 인증의 제도적 마련을 그 목적으로 하는 반면, 제안하는 연구과제에서는 드론에서 사용되는 저가형 GPS 수신기의 무결성 정보 생성 알고리즘을 개발해 유무인기 혼합 운용에 대한 제도 수립에 직접적인 기준이 될 수 있는 정량적인 수치인 보호수준을 산출하는 방법을 제시하도록 한다. 유사 연구 과제에서도 보호수준 및 분리간격 산출과 관련된 연구가 진행되기도 하였으나, 원시데이터 추출이 가능한 고가의 GPS 수신기를 사용하는 반면, 본 연구과제에서는 저가형 GPS 수신기를 사용하는 무인기에서 활용할 수 있는 솔루션을 제시함으로써 유사과제와 직접적인 차별화 방안을 둔다.

특히 저가형 GPS 수신기에서는 기존 항공분야에서 적용하는 RTCA 포맷의 COM 포트 입력이나 SBAS 보정정보를 이용한 무결성 정보는 지원하지 않고 본 연구는 이러한 문제의 해결을 그 목적으로 하므로, 기존 연구와 알고리즘의 적용 대상과 접근 방법에서 큰 차이가 있다고 판단된다.

나. 관련분야의 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 분석

드론의 무결성과 관련된 연구로는 최근 KAIST의 ‘High Integrity GNSS Navigation and Safe Separation Distance to Support Local-Area UAV Networks’이 대표적이다. 해당 연구의 동기는 본 연구의 필요성과 동일하나, 해당 연구는 SBAS가 아닌 Local Area DGPS를 대상으로 한다는 점과 고가형 수신기에서 제공한 raw Measurement를 사용하여 수행되었다. 본 연구는 SBAS 보정정보를 사용한다는 점과 현재 드론에 탑재되어 있는 저가형 수신기에 적용하는

기술을 연구한다는 점에서 차별화된다.

드론을 위한 연구는 아니지만 저가형 수신기 성능 향상과 관련된 연구도 수행된 바 있다. 거리 기반의 DGPS 보정정보를 위치영역으로 투영함으로써, DGPS가 불가능한 저가형 수신기의 위치 정확도를 향상시키는 DGPS-CP(Correction Projection) 기법으로 국내외 논문에서 소개되었다. 해당 연구에 따르면 측정치 기반의 DGPS 방식을 위치영역 DGPS 방식에 투영시켜 결과적으로 위치 영역의 DGPS 방식의 간단한 알고리즘으로 1m 수준의 위치정확도로 그 결과가 향상되었다.

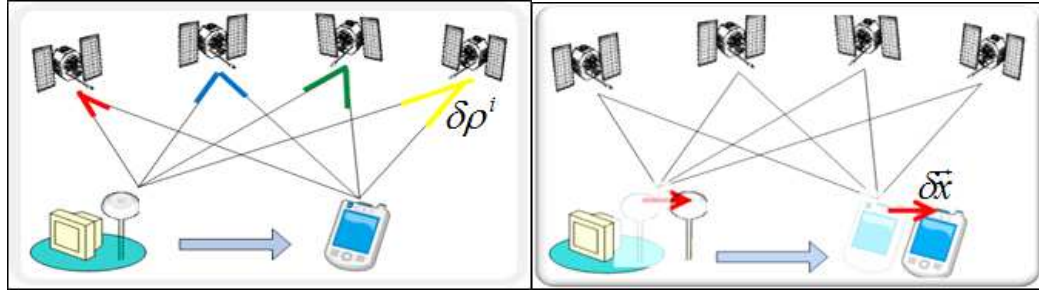


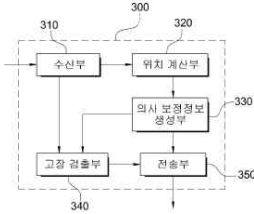
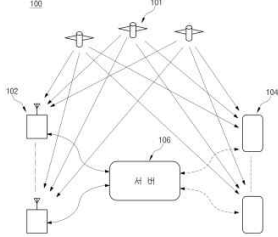
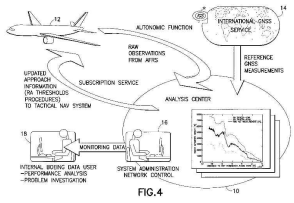
그림 11. DGPS 알고리즘 (좌: 거리 영역 DGPS, 우: 위치영역 DGPS)

하지만 이 결과는 지상에서 실험한 결과이기 때문에 드론과 같이 지상에서 떨어진 공역에서 운용될 때에는 GPS 오차중 대류층 오차의 영향이 바뀌므로 이에 대한 알고리즘 변경 및 검증이 필요하다. 또한 이전 연구 결과는 무결성을 고려하지 않은 위치 정확도에 대한 연구이기 때문에 공역에서 활용을 위한 무결성 정보 생성이 추가 되어야 한다는 점에서 기존 연구와 차별성이 있다.

다. 국내외 관련 기술 특허 동향

‘위성항법’, ‘무결성’의 핵심어로 검색한 특허 검색 결과, 국내외 관련 기술의 특허는 다음 표에 정리된 3건이 대표적이었다. 가시성 또는 정확성과 관련된 특허 수는 매우 많은 반면, 무결성과 관련된 기술이 특허로 등록된 사례는 극히 적는데, 이는 항공 분야에 특화되어 사용되고 있는 무결성 기술에 대한 산업계의 관심이 아직 적기 때문인 것으로 파악된다.

표 4 국내외 특허 동향

순번	출원/ 등록 번호	발명의 명칭	발명인	대표도면	주요범위	특허 회피 방안
1	10-20 11-00 94870	운송수단용 위성항법시스 템의 수신기 고장 검출 장치 및 그 방법	이영재, 허문범		주변 운송수단의 수신장치로부터 복수의 의사 보정정보를 수신하는 수신부 및 운송수단용 위성항법시스템의 수신기 고장 검출 장치	GBAS 중심으로 발명된 특허 이므로 목적면에서 본 연구의 무결성 정보를 활용하는 부분과 차이가 있음
2	10-20 14-01 37880	인터넷망을 이용한 디지털에스 정밀측위 시스템	주식회 사 아이티 에스브 릿지		DGPS기준국과 인터넷망으로 연결되어 위성항법장치로부 터 수신된 GPS 수신값을 실측된 위치값과 비교하여 보정값을 생성 및 교정하여 정밀위치값을 산출하는 서버	인터넷을 이용해 기준국의 보정정보를 수신하는 방식으로, 드론의 무결성 정보 생성 부분이 포함되지 않음
3	US 849469 3	Vertical required navigation performance containment with radio altitude	Timoth y Allen Murphy		전파 고도 정보와 GPS 측정치를 이용하여 항공기 수직방향 위치 분산을 결정하는 방법	아이디어 면에서 유사점이 있으나 본 연구에서는 라디오를 이용한 고도정보를 무결성 정보 생성에 사용하지 않음

라. 국내 시장 동향

우리나라의 경우 2000년대 초부터 무인기 개발을 시작하여 세계 7위 정도로 무인 항공기 기술에서는 앞서 있다. 특히 세계 두 번째로 수직이착륙의 핵심 부품인 틸트로터(Tilt rotor) 개발에 성공하는 등 빠르게 성장 중이다. 하지만 우리나라의 무인기 기술 개발은 군사용도가 주목적으로 2013~2017년 국방중기계획에 따르면 전투력 강화를 위한 소형정찰용 UAV를 확충하려는 계획이 있으나, 군사용도 외에 무인 항공기를 이용한 비료와 농약살포, 산림 및 해상 측량, 사진촬영 등 일부 목적으로 사용하는 때에만 드론을 허용하고 있다. 또한 기획부와 미래부가 민간 무인 항공기 실용화 기술개발사업(2013~2022)을 진행 중이나, 역시 용도는 해양감시와 촬영, 농약살포, 환자수송 등 국가의 안전관리 체계 구축 및 사고예방에 초점을 맞추고 있다. 따라서 국내에서 상업용 드론 활성화를 본격 추진하기 위해서는 제도적 정비が必要하며, 해외 사례와 마찬가지로 비행 안전성 및 사생활 보호 이슈에 대한 논의가 필요할 것으로 전망된다.

2. 국외 기술 개발 현황

가. 국외 시장 및 산업 동향

현재 상업용 드론은 넓은 지역을 관측하고 조사하는 다양한 산업 분야에서 활용되고 있고, 특히 농업 및 산림 분야는 이미 일찍이 드론을 적용하여 사용하고 있다. 최근 FAA의 법 개정으로 상업용 드론의 활용은 현재 제한적으로 허용되고 있지만, 드론을 사용하는 실제적인 사용자수는 아래 그림과 같이 지속적으로 성장해오고 있다. 미국의 투자회사 Bowery Capital에 따르면 2013년부터 2018년까지 드론 시장의 연평균 성장률은 약 14.0%에 달할 것으로 예상하고 있다.

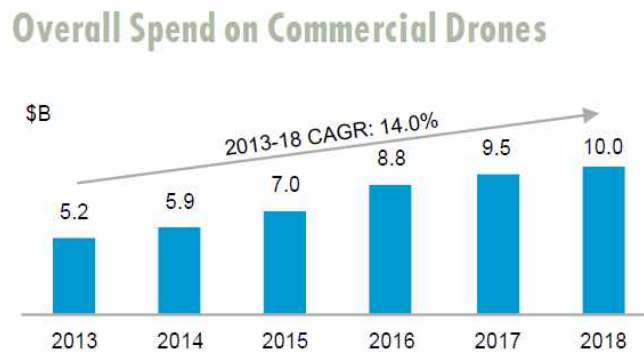


그림 12 2013년부터 2018년까지 상업용 드론 시장 규모

아마존, 구글, 보잉 등을 중심으로 상업용 드론 시장의 주도권 쟁탈전이 점차 치열해지고 있는데, 대표적인 경쟁 사례로는 2014년 4월 ‘타이탄 에어로스페이스(Titan Aerospace)’ 입찰에 구글과 페이스북이 경쟁한 건이 있다. 세계적인 IT기업으로 활동 중인 두 업체는 무인 항공기 시장에 본격적으로 진입하기 위한 교두보로 타이탄 에어로스페이스 사를 인수하려 했고, 페이스북이 6,000만 달러의 인수액을 제시했지만 경쟁 결과는 타이탄 에어로스페이스가 구글에 인수되는 것으로 마무리 되었다. 총 직원 수 20명 규모의 창업한지 2년 밖에 되지 않은 타이탄 에어로스페이스가 거액의 인수가를 받게 된 이유는 주력 상품인 솔라라(Solara) 시리즈에 있다. 이 무인항공기는 다음 그림처럼 2만m 상공에서 태양광 발전을 통해 수년간 위성처럼 활동할 수 있다는 장점으로 인해 인터넷이 불가능한 지역에 무선인터넷 환경을 제공하고자 하던 두 회사의 뜨거운 경쟁의 대상이 되었다. 물론 경쟁에 실패한 페이스북사는 영국의 무인항공기 업체 ‘어센타(Ascenta)’를 2,000만 달러에 인수했다.



<자료>: Titan Aerospace

그림 13 타이탄 에어로 스페이스 주력 드론 ‘솔라라’ 시리즈

거대 기업의 경쟁 이외에 세계적으로 관심을 끄는 기술로 드론 시장을 선도하는 기업들도 많이 설립되고 있다. 대표적인 기업은 헬렌 그라이너가 설립한 CyPhy Works사 이다. 청소 로봇 ‘룸바(Roomba)’의 개발자로 유명했던 헬렌 그라이너는 작년 샌프란시스코에서 개최된 ‘DEMO Enterprise’ 컨퍼런스 행사에서 개발 중인 드론을 소개하며 지상과 미세섬유(Micofilament)를

연결해 장시간 운용이 가능한 드론 시장 진입을 홍보하였다. CyPhy Works사가 개발 중인 EASE(Extreme Access System for Entry)와 PARC(Persistent Aerial Reconnaissance and Communications)는 장시간 호버링 운영과 여러 영상, 통신 장비를 충분히 탑재할 수 있는 장점으로 인해 시설 모니터링, 통신 허브의 역할을 수행하는 드론 시장을 선도할 것으로 기대된다.

본격적인 드론 시장의 주도는 ‘택배 배송’으로 예측되고 있다. 최근 이슈화되고 있는 아마존(Amazon)사의 드론 택배 시스템 ‘프라임 에어(Prime Air)’는 항공우주분야에서 활용되어오던 드론이 다른 시장에서 충분히 경쟁력이 있음을 시사해 전 세계의 물류 기업들의 관심을 끌고 있다. 물론 아직 상업용 드론에 대한 FAA의 규제 및 실제 기술 구현에 시간이 걸릴 것으로 예상되지만 일부 신흥국에서의 수송시험사업, 도로가 정비되어 있지 않은 지역에서의 실증실험 등을 통해 그 시기와 상황이 급변할 수 있을 것으로 보인다. 미국 FAA에서도 다음 그림과 같은 무인 항공기 시스템 시험지역을 선정하여 드론을 이용한 서비스 분야의 활용 가능성을 제공하고 있다.



<자료>: FAA

그림 14 FAA 무인 항공시스템 시험 지역

물론 개인정보보호 이슈, 안전성 문제 등 해결해야 될 과제들이 남아있지만, 관련 기술의 발전과 진입 장벽의 완화로 민간기업의 무인기 시장 투자 규모는 크게 늘어날 것으로 보인다. 한 사례로 CyPhy Work사의 그라이너는 청소 로봇에서 무인 항공기 전향 이유에 대해 지상 10피트(3m)이상의 공간은 미개척 땅이라 표현하며 시장 확대의 가능성을 예상했다. 특히 구글, 아마존과 같은 거대 기업 및 신흥 스타트업들이 기술 개발을 가속하고 있어 이러한 전망은 본격화 될 것으로 기대된다.

방위산업 전문 시장분석 업체인 텔그룹(Teal Group)은 세계 무인기 시장의 총투자 금액이 다음 그림과 같이 향후 10년간 890억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다. 또한 전 세계 드론 시장의 규모는 2013년 약 50억 달러이고, 90% 이상이 군사용 시장이었지만, 향후 2020년까지 연평균 8%이상 성장하여 114억 달러 규모로 증가하고 민간 상용 시장이 조성될 것으로 전망했다. 또한 2010년 기준으로 51개 국가에서 158종의 무인 항공기를 개발, 운용 중이며 이 중 미국이 가장 많은 예산을 투입하여 개발하고 있는 것으로 조사했다. 유럽 국가 외에 중국, 싱가포르 등 아시아 국가들도 드론 개발에 적극적이며, 특히 중국은 매우 높은 고도에서 비행하는 무인기와 무인전투기를 자체적으로 개발 중이다.



그림 15 무인항공기 시장규모 발전 전망

3. 종합 결론

최근 저가형 GPS 수신기를 탑재한 드론 활용에 대한 각 산업계의 수요가 꾸준히 증가하고 있는 가운데, FAA의 제한적 운용 결정에 따라 기존 출시된 드론을 유인기 영역에서 운용하게 할 수 있는 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 연구과제의 제안자는 U-blox 등 저가형 GPS 수신 모듈의 성능을 분석한 경험이 풍부하고, DGPS 기능이 불포함된 수신 모듈에 위치 영역 투영 기술을 활용하여 정확도를 DGPS 수준으로 향상시킨 기술을 확보하고 있다.(국내 특허 2건 등록, 해외 특허 1건 출원, SCIE 논문 1건, 기타 논문 다수) 기술에 대한 수요 증가와 제안자의 확보 기술을 바탕으로 저가형 수신기에 적합한 정확도 향상 및 무결성 정보 획득 기술을 제안하고 시스템을 개발하면 현재 시장의 수요를 충족할 수 있는 활용성 높은 기술이 창출될 수 있을 것으로 기대된다.

다만, 학교 수준의 기술 및 시스템은 완성도가 결여되어 일부 산업체에 아이디어 제공으로 그칠 가능성이 있으므로, 외부의 전문 개발 인력을 과제에 투입하여 실제 시스템에 바로 적용할 수 있는 완성도 높은 결과물을 창출하도록 한다. 또한 저가형 GPS 수신기 무결성 정보 제공은 과거 그 연구사례가 극히 드물기 때문에, 십 여년간 무결성 연구를 수행한 경험이 있는 자문위원들의 자문을 통해 결함이 없는 알고리즘을 제안하도록 한다.

최근 FAA 법의 공표로 현재 드론에 탑재된 GPS 수신기만으로는 산업활용이 제한적이다라는 공감대가 형성되었으므로, 보호수준 산출 기능 추가에 대한 수요가 높아질 수 있고, 그에 따라 저가형 수신기에 해당 기능이 추가될 가능성도 있다. 물론, 수신기 업체의 가격 차별화 정책에 따라 온전히 적용되기는 어려우나, 본 연구 기간 동안 정확한 수신기 오차 모델링 및 적절한 보호수준 산출 알고리즘을 적용한다면 해당 수신기 출력으로 제공하는 값과 동일한 값을 산출할 수 있으므로 여전히 가격 경쟁력의 우위가 가능하다고 판단된다. 또한 도심과 산악 지역이 많은 SBAS 가시환경은 국내에 특화된 환경이므로, 글로벌 기업이 이를 반영할 가능성은 높지 않다고 판단되는 바, 이에 대한 기능을 강조하여 경쟁력을 높이도록 한다.

마지막으로 학교에서 제안한 기술을 특허로 출원하여 그 기술을 보호받음으로써, 수신기업체의 고사양 수신기 가격 하락을 유도하고, 가격 하락 유도가 여의치 않더라도 사용자 주도의 성능 개선을 통해 비용절감 효과를 유도하도록 한다.

외부요인	내부요인	Strength(강점)	Weakness(약점)
		- 저가형 수신기 성능 분석 경험 - 저가형 수신기용 위치영역 투영을 통한 DGPS 처리 기술 및 경험 보유 - 다양한 보정정보 처리 기술 보유 - 측정치 잡음 모델링 경험 보유	- 개발 인력 부족 - 저가형 수신기 보호수준 산출 경험 부족 - GPS 수신기의 드론 적용 경험 부족
Opportunity(기회)		SO 전략	WO 전략
- 드론의 유인기 영역 운용에 대한 요구 증가 - 드론의 대부분은 저가형 GPS 수신기 탑재 사용 - 무결성에 대한 정보 미제공시 유인기 영역 사용 불가 - 한국 지역은 벌당숲과 산악지역 비율이 높고 해당 지역에서의 드론 활용 가능성이 높음		- 기 보유한 저가형 수신기 성능 분석 경험과 위치영역 투영을 통한 DGPS 처리 기술 적용을 통해 현재 시판 중인 드론의 정확성 향상 및 보호수준 생성 지원 - 기 보유한 다양한 보정정보 처리기술을 바탕으로 간 저가형 GPS 수신기에 적절한 보정정보로의 원활한 변환 수행	- 전문 개발 인력을 연구 과제에 투입 예정 - 고가형 GPS 수신기 보호수준 경험이 많은 자문위원들의 자문을 통해 저가형 수신기 보호수준 산출 가능성 타진 - 지상 테스트 및 비교군 테스트를 통하여 드론의 특수성 분석
Threat (위협)		ST 전략	WT 전략
FAA 법 개정으로 인한 시장의 요구가 반영되어 보호수준 산출 기능이 추가된 저가형 GPS 수신기 출시 가능성		- 수신기 업체의 가격차별화 정책으로 시장 요구가 파격적으로 반영될 가능성은 크지 않으나, 본 과제에서 적절한 알고리즘을 통해 제공하는 값이 제품화된 수신기의 값과 동일하다면 가격 경쟁력의 우위 선점 가능 - 벌당 숲과 산악 지형들 국내에 특화된 환경은 글로벌화된 수신기 업체가 지원할 가능성이 희박하므로 틈새 시장을 활용	- 사용자 주도의 정확도 성능 향상과 무결성 기능 추가에 관한 특허 출원으로 기술 확보 - 특허 출원 등 기술력 확보를 통해 고사양 수신기 가격 하락을 유도 - 수신기 가격 하락 유도 전략이 반영되지 않을 경우 사용자 주도의 성능 향상으로 경쟁력 확보

제 3 장 연구 수행 내용 및 성과

1. 저가형 GPS 수신기 SBAS 보정정보 및 무결성 정보 활용을 위한 기초 연구

가. 상용 드론에 적용 가능한 위성항법 보강 기술 현황 분석

(1) 저가형 GPS 수신기 성능 및 기능

본 연구에서는 상용 드론에 탑재되어 있거나 탑재할 가능성이 있는 저가형 GPS 수신기를 드론이 향후 진입할 것으로 보이는 유인기 영역에서 운용하기 위한 기초기술로 SBAS 보강 정보의 안정적인 적용과 보호수준 생성을 목적으로 한다. 수신기 제조사 및 모델에 따라 다르지만, 일반적으로 저가형 수신기는 항공용 GBAS (Ground-Based Augmentation System)이나 측량용 RTK (Real-Time Kinematics)를 지원하지는 않으나, L1 주파수로 보강정보를 함께 전송하는 SBAS를 지원하는 비중이 매우 높고, 때에 따라서는 해상용 RTCM 보정정보를 이용하여 Local Area DGPS를 수행하는 경우도 있다.

현재 상용화되어 판매되고 있는 드론인 AR Drone과 3D Robotics사의 x8+의 경우, 각각 Telit사의 JN3와 U-blox사의 LEA-6H GPS 모듈이 주 항법장치로 이용되고 있는데, 다음 두 가지의 항법 모듈은 Multi-GPS 신호와 SBAS 신호 수신을 지원하고, SBAS 모드에서 DGPS 적용이 가능하다는 측면에서는 공통점을 가지지만, U-blox사의 모듈만이 SBAS 이외에 추가적으로 RTCM 보정정보 적용이 가능하며, Telit사의 모듈은 SBAS 비 가시 환경에서는 보강항법 수행이 전혀 불가능하며 또한 두 항법 모듈 모두 무결성 정보를 제공하지 않는다는 단점을 가지고 있다.

표 5 상용 드론 항법모듈 비교

	AR Drone 2.0	3DR X8+
Module	JN3 GPS Module	LEA-6H GPS Module
Manufacturer	Telit Wireless	U-blox
GPS Signals	GPS/GLONASS/Galileo /SBAS	GPS/Galileo/SBAS
Correction Input	Not Available (Only SBAS)	RTCM v2
SBAS Mode	DGPS(o) / Integrity (x)	

기능적으로는 항공용 항법 Integrity 정보를 제공한다고 명시되어 있는 u-blox의 LEA-6 GPS 모듈 역시 u-blox 자체 포맷인 UBX 내에 다음 그림과 같이 SBAS 보강정보를 제공하고 있으나, 보정정보 성분별 값과 Integrity 가용 여부만 제시할 뿐 보호수준 산출 등에 필수적인 값은 제공하지 않는다. 뿐만 아니라, SBAS 기능이 탑재되어 있는 수신기의 경우에도 L1 주파수 이외의 채널로 SBAS 보강정보 입력시에는 처리가 불가능하므로 정지궤도 위성의 가시성이 확보되지 않으면 SBAS를 이용한 보강항법을 수행할 수 없다.

따라서 저가형 GPS의 주요 기능인 SBAS 기능을 활용하여 안정적으로 위치 정확도를 향상시키고 적절한 보호수준을 산출하기 위해서는 현재 시판중인 저가형 GPS 수신기의 기능을 최대한 활용하여 고가의 항공 장비에서 제공하는 것과 유사한 수준의 기능과 정보를 제공할 필요가 있다.

나. SBAS 보강 정보를 활용한 저가형 GPS 수신기 정확도 향상 알고리즘 연구

(1) SBAS 보강 정보의 RTCM 보정정보 변환 알고리즘 연구 및 개발

SBAS 시스템은 고의잡음이 존재하던 90년대에 개발된 시스템이기 때문에 고의잡음으로 인한 위성시계오차에 대한 보정정보가 필요하였다. 이것이 의사거리 보정정보이며, 빠르게 변화하는 위성시계오차와 관련된 보정정보를 사용자와 위성사이의 거리 정보로 제공한다. 현재는 고의잡음이 해제되었지만, 계속 의사거리 보정정보를 제공해 주고 있으며, 실제 위성시계에 이상이 발생하였을 때 유용하게 사용될 수 있다.

RRC는 가장 최근에 수신된 PRC 수신시점과 사용자가 보정을 적용해야 할 시점이 다르기 때문에 두 시간간격 동안 발생한 PRC 변화량 계산에 사용된다. FC는 최근 수신된 PRC와 그 이전에 수신된 PRC를 이용하여 RRC를 계산하고, 이 결과를 가장 최근에 수신된 PRC에 적용함으로써 계산할 수 있게 된다.

RRC는 PRC 정보와 의사거리 보정정보의 정확도 저하 정보를 이용하여 아래의 식에 의해 계산할 수 있다. 여기서 $t_{current}$ 는 가장 최근 PRC 정보가 수집된 시점이며 $t_{previous}$ 는 가장 최근 PRC 정보가 수집된 이전의 시점이다.

$$RRC(t) = \frac{PRC_{current} - PRC_{previous}}{t_{current} - t_{previous}} \quad (1)$$

MT7에 포함되어 송신되는 AI 와 MT2~5에 포함된 IODF 값에 따라 RRC 계산에 이용되는 PRC를 결정할 수 있는데, 만약 MT7에 포함된 AI 가 0이면, RRC는 항상 0이며 가장 최근에 수신된 MT2~5의 IODF가 3이 아닐 경우, $PRC_{previous}$ 는 가장 최근에 수신된 FC 바로 이전의 PRC 데이터이다. 그러나 가장 최근에 수신된 MT2~5의 IODF가 3이라면, $PRC_{previous}$ 는 MT7에 포함되어 송신되는 AI 값에 의해 결정되는 FC 시간초과(time-out)값인 I_{fc} 에 의해 결정된다. 아래의 그림은 RRC 계산에 이용되는 PRC 결정 방법을 도식화 한 것이다.

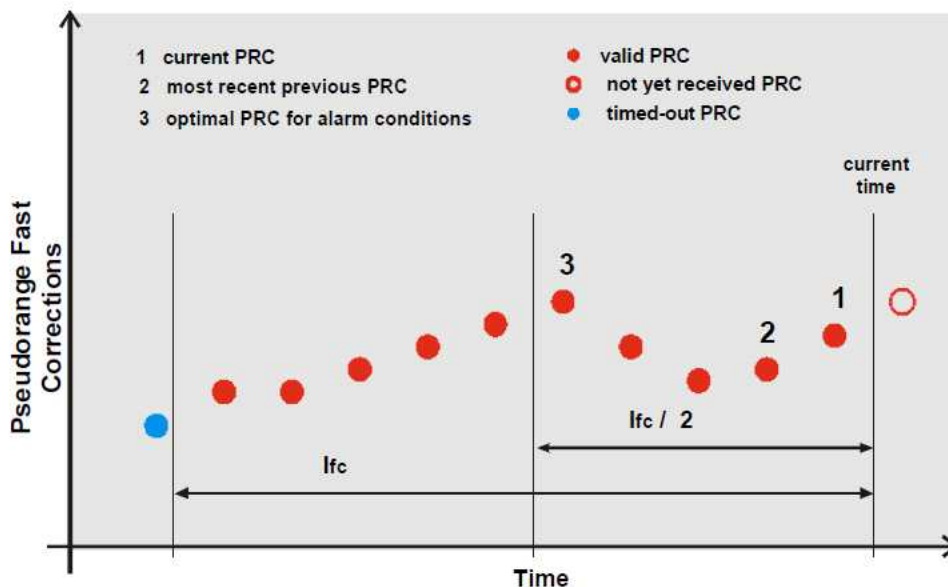


그림 16 PRC 수신 시점과 시간초과

즉 가장 최근에 FC를 수신한 시점에서 $I_{fc}/2$ 만큼 이전 시점에 가장 인접한 FC의 PRC 정보를 $PRC_{previous}$ 로 결정하여 RRC를 계산하여야 한다.

사용자는 아래의 식에 따라 RRC의 시간초과를 판단하게 되며 식(5)는 주어진 시점 t 에서 PRC와 RRC를 통해 최종적으로 계산되는 FC이다.

$$t - t_{current} > 8\Delta t + 1 \Rightarrow \text{RRC time-out} \quad (2)$$

$$\Delta t > I_{fc} \Rightarrow \text{RRC time out} \quad (3)$$

여기서

$$\Delta t = t_{current} - t_{previous} \quad (4)$$

$$FC(t) = PRC(t_{current}) + RRC(t_{current})(t - t_{current}) \quad (5)$$

앞서 글로써 기술한 RRC와 FC 계산 방법을 순서도를 이용하여 다음 그림으로 나타내었다.

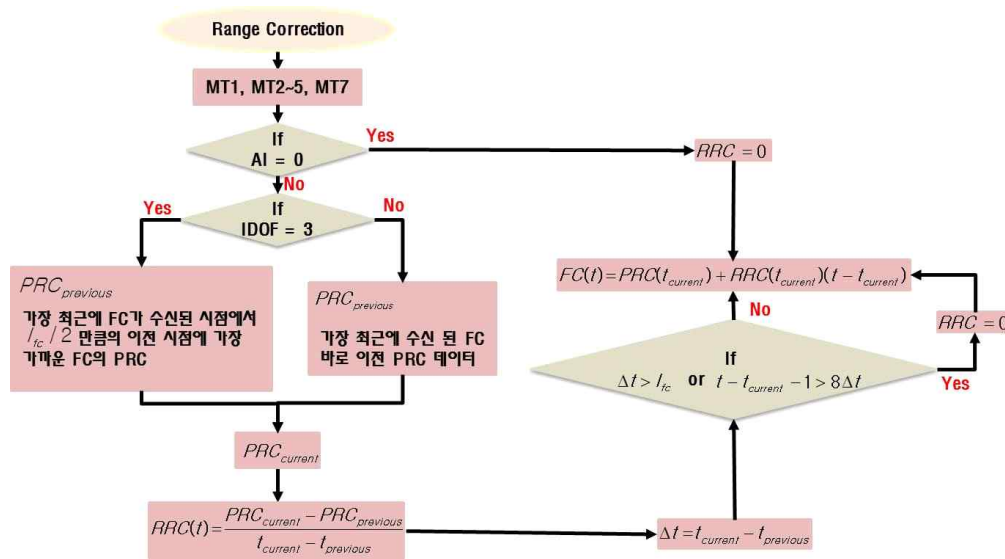


그림 17 의사거리 보정정보 계산 순서도

SBAS 사용자는 항법메시지 위성궤도를 이용하여 계산한 위성의 위치 및 시간정보에 SBAS 위성으로부터 제공받은 위성 궤도오차, 시계오차 보정정보를 적용하여 정확한 위성의 위치 및 시계오차 정보를 얻을 수 있다.

위성궤도 및 시계오차 보정정보는 MT1, MT24, MT25를 이용하여 계산할 수 있다. MT24, MT25에는 ECEF 좌표계에서의 GPS 위성의 위치오차와 시계오차에 대한 보정정보가 포함되어 있다. MT25는 전송되는 VC에 따라 VC0와 VC1 두 가지로 나눌 수 있다. VC0는 1회 전송 시 4개의 위성에 대한 위성 궤도 및 시계 오차 정보를 전송하여 변화율을 이용한 시간 지연 보상을 하지 않는 반면, VC1은 최대 2개 위성의 궤도와 시계 오차정보는 물론 그 변화율 정보를 함께 제공하는 방식이다.

표 6 MT25 VC0 메시지 형식

Parameter	Bit Position	No. of Bits	Scale Factor	Range	Units
VC=0	0	1	1	0...1	1
PRN Mask No.	1	6	1	0...51	1
IOD	7	8	1	0...255	1
DX(ECEF)	15	9	0.125	± 32	meters
DY(ECEF)	24	9	0.125	± 32	meters
DZ(ECEF)	33	9	0.125	± 32	meters
Clock bias Daf0	42	10	2^{-32}	$\pm 2^{-22}$	seconds
PRN Mask No	52	6	1	0...51	1
IOD	58	8	1	0...255	1
...	...	...	...	...	...
IODP	104	2	1	0...3	1
Spare	105	1	-	-	-

표 7 MT25 VC1 메시지 형식

Parameter	Bit Position	No. of Bits	Scale Factor	Range	Units
VC=1	0	1	1	0...1	1
PRN Mask No	1	6	1	0...51	1
IOD	7	8	1	0...255	1
DX(ECEF)	15	11	0.125	± 128	meters
DY(ECEF)	26	11	0.125	± 128	meters
DZ(ECEF)	37	11	0.125	± 128	meters
Clock bias Daf0	48	11	2^{-32}	$\pm 2^{-21}$	seconds
DX Rate of Change	59	8	2^{-11}	± 0.0625	meters/second
DY Rate of Change	67	8	2^{-11}	± 0.0625	meters/second
DZ Rate of Change	75	8	2^{-11}	± 0.0625	meters/second
clock drift Daf1	83	8	2^{-39}	$\pm 2^{-32}$	second/second
Time of applicability	91	13	16	0...86384	seconds
IODP	104	2	1	0...3	1

위성궤도 보정정보를 계산하기 위해서는 사용자 위치 계산에 이용되는 GPS의 IODE와 MT25 IOD의 일치 여부를 확인하여야 한다. GPS IODE와 MT25의 IOD가 일치하면 MT25의 위성궤도 보정정보는 가장 최근의 위성궤도 데이터를 이용하여 계산한 위성 위치에 즉시 적용할 수 있다. 그러나 MT25의 IOD가 이전에 수신된 GPS의 IODE와 일치한다면, MT25의 궤도 정보 역시 이전에 수신된 위성궤도 데이터를 이용하여 계산한 위성의 위치에 적용하여야 한다. 만약 앞의 두 경우에 모두 해당하지 않는다면 위성궤도 보정정보를 적용할 수 없고 해당 위성을 위치해 계산에 이용할 수 없다.

아래의 식들을 이용하여 위성궤도 보정정보와 시계오차 보정정보를 계산할 수 있다.

$$DX(t) = DX + DX_{ROC}(t - t_0) \quad DY(t) = DY + DY_{ROC}(t - t_0) \quad DZ(t) = DZ + DZ_{ROC}(t - t_0) \quad (6)$$

$$\delta\Delta t_{SV,SBAS}(t) = \delta a_{f0} + \delta a_{f1}(t - t_0) \quad (7)$$

여기서 DX, DY, DZ 는 MT25에 포함된 위성의 위치 보정정보이며, $DX_{ROC}, DY_{ROC}, DZ_{ROC}$ 는 위성 위치오차의 속도 보정정보이다. VC0의 경우, 위성속도 보정정보가 제공되지 않기 때문에 해당 값은 0이다. 여기서 t 는 보정정보를 계산하는 시점을 뜻하며, t_0 는 가장 최근에 MT25가 수신된 시점을 의미한다.

최종적으로 위성궤도 및 시계오차 보정정보는 위성의 시선벡터에 위성 궤도 오차 보정정보 성분을 투영시킨 값과 위성 시계 오차 보정정보에 빛의 속도를 곱한 값의 합으로 계산할 수 있으며 이는 아래 식과 같다.

$$SC^i = e^i \cdot \delta R^i + c \cdot \delta\Delta t_{SV,SBAS}^i \quad (8)$$

여기서 e 는 위성 별 시선벡터, δR 은 위성 위치오차 보정정보 벡터 $[DX, DY, DZ]$ 를 의미하며 c 는 빛의 속도, $\delta\Delta t_{SV,SBAS}$ 는 위성 시계 오차 보정정보를 뜻하며 상 첨자 i 는 위성번호를 의미한다.

다음 그림은 MT25의 Velocity Code 별로 시간에 따른 SC 값의 변화를 나타낸다. VC0일 때는 위성 속도 보정정보가 없으므로 새로운 MT25 보정정보가 수신될 때 까지는 위성 위치보정 정보가 일정하다. VC1은 위성속도 보정정보로 인하여 새로운 MT25가 수신될 때까지 일정하게 위성의 위치정보가 증가한다.

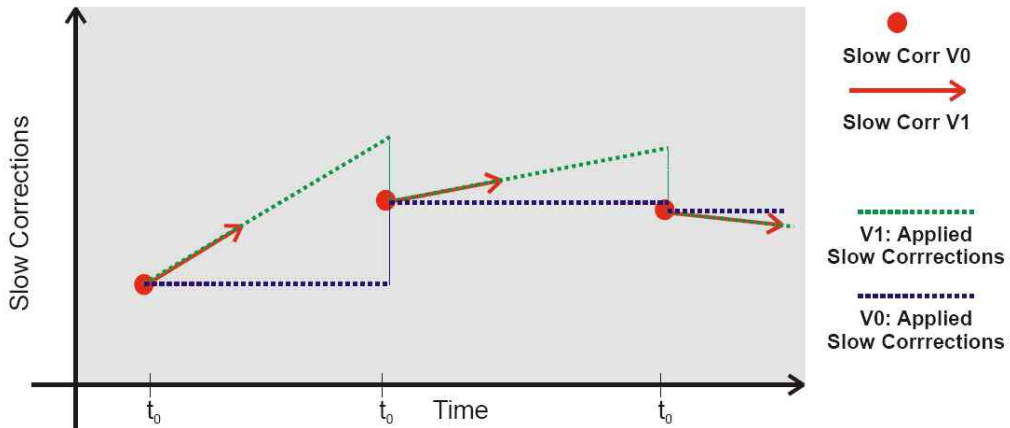


그림 18 VC 값에 따른 Slow Correction 값의 변화

다음 그림에 앞서 설명한 위성궤도 및 시계오차 보정정보 계산방법을 순서도를 이용하여 도식화하였다.

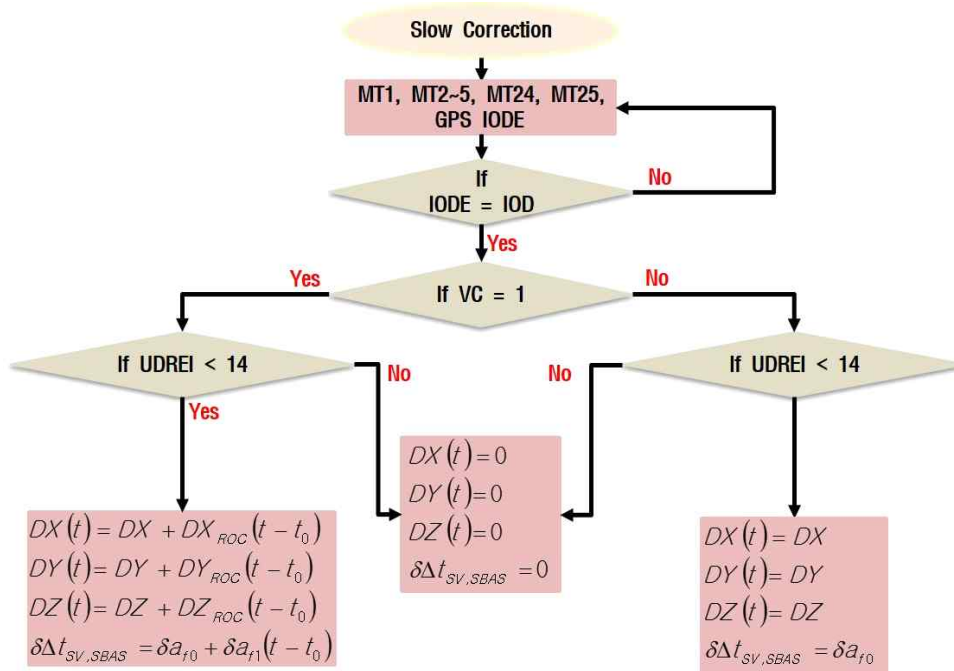


그림 19 위성 궤도 및 시계오차 보정정보 계산 순서도

전리층 보정정보를 계산하기 위해 전리층을 모델링하는 가장 일반적인 방법은 전리층을 일정 경사각에 위치한 단일 막(Ionosphere thin shell model)으로 가정하는 것이다[5]. 이 때 위성 신호가 단일 막을 통과하는 지점을 IPP라고 명명하며, 항법위성과 수신기 사이의 기하학적인 관계를 통하여 도출할 수 있다. 그림15는 위성과 수신기 사이의 IPP를 나타낸 것으로, 수신기의 위도와 경도 값, 위성의 양각과 방위각, 전리층 단일 막 고도 값을 통하여 계산할 수 있다.

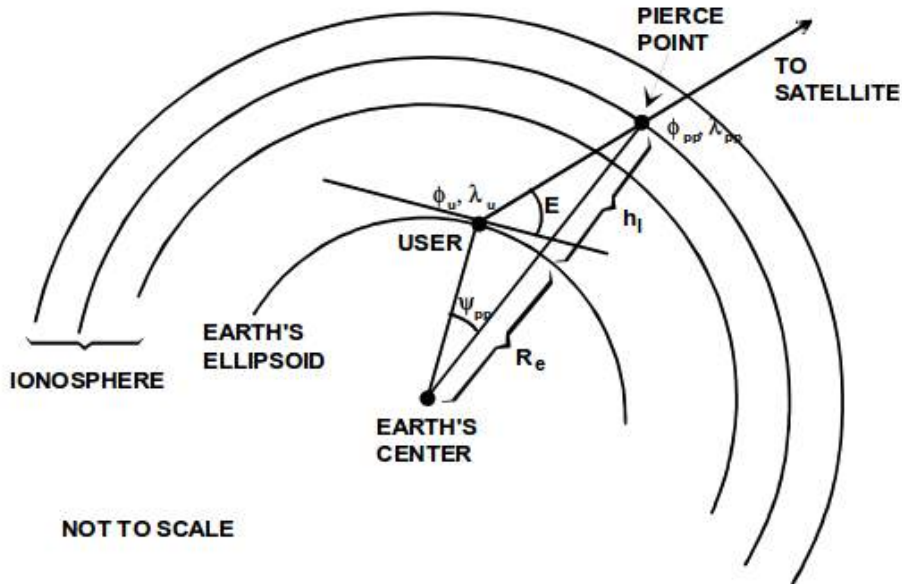


그림 20 IPP

IPP의 위도는 아래의 식으로 계산할 수 있다.

$$\Phi_{pp} = \sin^{-1}(\sin(\Phi_u)\cos(\Psi_{pp}) + \cos(\Phi_u)\sin(\Psi_{pp})\cos(A_i)) \quad (9)$$

여기서 Φ_u 는 수신기의 위도, A_i 는 위성의 방위각, Ψ_{pp} 는 지구중심에서 IPP를 이은 직선과, 지구 중심에서 사용자 위치를 이은 직선의 사이 각이다. Ψ_{pp} 는 다음 식을 통해 계산할 수 있다

$$\Psi_{pp} = \frac{\pi}{2} - E_i - \sin^{-1} \left(\frac{R_e}{R_e + h_i} \cos(E_i) \right) \quad (10)$$

여기서 E_i 는 위성의 양각이며 R_e 는 지구 반경, h_i 는 전리층 단일 막의 고도이다.

IPP의 경도는 수신기의 위도에 따라 다른 식을 이용하여 계산하여야 하는데, $\pm 70^\circ$ 사이의 중위도, 저위도 지역에 위치하고 있는 한반도의 경우, 아래의 식을 이용하여 계산할 수 있다. 여기서 λ_u 는 수신기 경도이다.

$$\lambda_{pp} = \lambda_u + \sin^{-1} \left(\frac{\sin(\Psi_{pp}) \sin(A_i)}{\cos(\Phi_{pp})} \right) \quad (11)$$

SBAS 시스템은 현재 전 지구를 고위도는 10도, 그 이외 지역은 5도 간격의 격자(IGP)로 나누어, 각각의 IGP에 대한 전리층 수직 지연 값을 제공한다. 다음 그림은 SBAS 시스템의 IGP 및 경도에 따른 Band를 나타내고 있는데, 경도에 따라 9개의 Band(0~8)로 구분되어 있다. 한국은 7번 Band에 위치하며 저 양각 위성신호까지 보정하는 경우에는 8번 Band 정보까지 필요하다. 이 때 각 Band는 200~201개의 IGP를 포함한다.

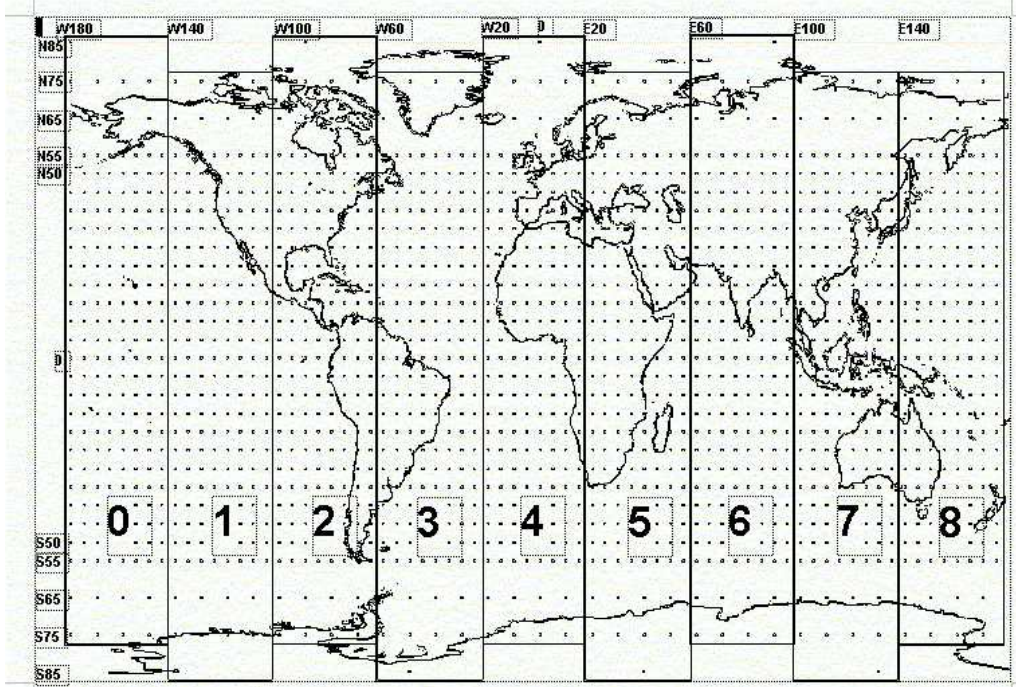


그림 21 SBAS Band Number 및 IGP

전리층 보정정보는 MT18과 MT26을 이용하여 계산할 수 있으며, 각각의 형식은 아래의 표와 같다.

MT18은 SBAS 위성이 데이터를 전송하는 총 Band의 수와 현재 전송하는 Band 번호 정보를 포함하고 있으며, 하나의 SBAS 위성은 3개 Band의 전리층 관련 정보를 사용자에게 송신할 수 있다. 예시로, 일본의 MSAS의 경우에는, 0번, 7번, 8번 Band의 전리층 정보를 제공하고 있다. 그리고 IGP mask는 전리층 보정정보를 송신하는 IGP를 각 Band 별로 1과 0으로 표시하여 송신한다.

MT26은 IGP별 전리층 수직 지연 값과 GIVEI를 전송한다. 이 때 MT18에서 정보가 제공되

는 것으로 확인된 IGP의 값만을 전송한다. MT26 또한 MT의 구조적 특성 때문에 Band 별로 15개씩 나누어 송신한다.

표 8 MT18 메시지 형식

Parameter	Bit Position	No. of Bits	Scale Factor	Range	Unit
No. of Bands	0	4	1	0...9	-
Band Number	4	4	1	0...8	-
IODI	8	2	1	0...3	-
IGP Mask	10	201	-	-	-
Spare	221	1	-	-	-

표 9 MT26 메시지 형식

Parameter	Bit Position	No. of Bits	Scale Factor	Range	Units
Band Number	0	4	1	0...9	-
Block ID	4	4	1	0...13	-
Vertical Delay	8	9	0.125	0...63.875	meters
GIVE	17	4	1	0...15	-
IODI	203	2	1	0...3	-
Spare	205	7	-	-	-

SBAS 시스템에서는 각각의 IGP에 대한 전리층 수직 지연 값을 실시간으로 제공하며, 사용자는 실시간으로 전송된 전리층 수직 지연 값에 수신기의 IPP 전리층 수직 지연 값 τ_{vpp} 를 수치보간법을 적용하여 계산할 수 있다.

$$\tau_{vpp}(\Phi_{pp}, \lambda_{pp}) = \sum_{i=1}^4 W_i(x_{pp}, y_{pp}) \tau_{vi} \quad (12)$$

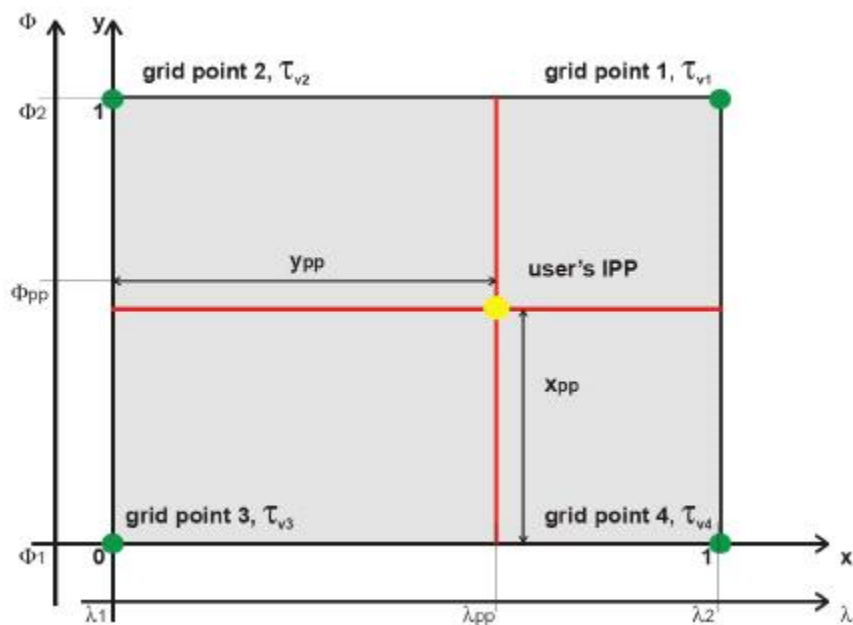


그림 22 IGP 4개를 이용한 전리층 수직 지연 값 계산을 위한 수치보간법

IPP와 IGP간의 기하학적인 관계를 이용하면 수신기 IPP에서의 전리층 수직 지연 값을 계산할 수 있는데, 실제 위성신호는 전리층 단일 막을 비스듬히 통과하기 때문에 경사함수 (Obliquity function)를 적용하여 변환하는 과정을 거쳐야 한다. 전리층 경사 지연 값 IC 는 위성 양각과 지구반경, IPP 고도에 대한 함수로 구성되어 있다. 그런데 여기서 지구반경과 IPP 고도는 상수이므로 결과적으로 IC 는 위성 양각 E_i 에 관한 함수이며, 위성 양각이 낮을수록 경사 전리층 지연 값이 커진다.

$$IC = \left(1 - \left(\frac{R_e \cos(E_i)}{R_e + h_I} \right)^2 \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \tau_{vpp} \quad (13)$$

여기서 h_I 는 전리층 단일 막의 고도이고, R_e 는 지구반경이다.

대류층 보정정보는 전리층 보정정보와 다르게 위성을 통해 보정정보를 송신하지 않고 수신기에서 직접 계산하여 보정정보를 적용할 수 있다. 대류층 경사 지연 값의 계산을 위해서는 관측 지역의 기상 변수 값이 필요한데, 이는 MOPS 표준으로 정의되어 있는 기상평균변수 표를 이용하여 얻을 수 있다.

대류층 경사 지연 값 계산을 위해서는 대류층 기상변수 값들이 필요하다. 실제로 사용자가 수신기의 위치에서 기상변수를 측정할 수 없기 때문에, MOPS 표준으로 규격화되어 정의되어 있는 위도에 따른 평균 기상 변수 표를 이용하여 계산하도록 하고 있다.

표 10 평균 기상 변수

Latitude	Pressure [mbar]	Temperature [K]	Water Vapour Pressure [mbar]	Temperature Lapse Rate [K/m]	Water Vapour Lapse Rate [-]
15° or less	1013.25	299.65	26.31	6.30×10^{-3}	2.77
30°	1017.25	294.15	21.79	6.05×10^{-3}	3.15
45°	1015.75	283.15	11.66	5.58×10^{-3}	2.57
60°	1011.75	272.15	6.78	5.39×10^{-3}	1.81
75° or more	1013.00	263.65	4.11	4.53×10^{-3}	1.55

표 11 기상 변수의 계절 변화량

Latitude	Pressure [mbar]	Temperature [K]	Water Vapour Pressure [mbar]	Temperature Lapse Rate [K/m]	Water Vapour Lapse Rate [-]
15° or less	0.00	0.00	0.00	0.00×10^{-3}	0.00
30°	-3.75	7.00	8.85	0.25×10^{-3}	0.33
45°	-2.25	11.00	7.24	0.32×10^{-3}	0.46
60°	-1.75	15.00	5.36	0.81×10^{-3}	0.74
75° or more	-0.50	14.50	3.39	0.62×10^{-3}	0.30

기상변수는 연간 날짜에 따라 값이 변하는데, $D_{\min}$ 은 수신기의 북반구 또는 남반구 위치여부에 따라 결정된다.

최종적으로 사용자 위치에 따른 대류층 기상변수는 평균해수면에서의 천정건조 지연 값 z_{hyd} , 천정습윤 지연 값 z_{wet} 계산에 아래의 식과 같이 이용된다.

$$z_{hyd} = \frac{10^{-6} k_1 R_d P}{g_m} (m) \quad (14)$$

$$z_{wet} = \frac{10^{-6} k_2 R_d}{g_m (\lambda + 1) - \beta R_d} \frac{e}{T} (m) \quad (15)$$

여기서 P 는 압력, e 는 수증기압, T 는 절대온도, β 는 온도변화율, λ 는 수증기압 변화율을 의미한다. 그리고 k_1 , k_2 , R_d , g , g_m 은 SBAS 시스템 대류층 모델에서 사용하는 기상 상수이며 그 값은 아래의 표와 같다.

표 12 SBAS전리층 모델에 사용되는 기상 상수

Parameter	Value	Parameter	Value
k_1	$77.604 k/mbar$	g_m	$9.784 m/s^2$
k_2	$382000 k^2/mbar$	g	$9.80865 m/s^2$
R_d	$287.054 J/kg/K$		

사용자 위도에서의 천정건조 지연 값 d_{hyd} 와 천정습윤 지연 값 d_{wet} 는 평균해수면에서의 z_{hyd} , z_{wet} 와 사용자 수신기의 평균 해수면에서의 고도 값 H 를 이용하여, 아래의 식으로 계산할 수 있다.

$$d_{hyd} = \left(1 - \frac{b e t h H}{T}\right)^{\frac{g}{R_d \beta}} z_{hyd} (m) \quad (16)$$

$$d_{wet} = \left(1 - \frac{\beta H}{T}\right)^{\frac{(\lambda + 1)g}{R_d \beta}} z_{wet} (m) \quad (17)$$

또한 경사함수를 고려한 대류층 경사 지연 값은 d_{hyd} , d_{wet} 와 위성의 양각인 E_i 로 식을 이용하여 계산할 수 있다 .

$$FC = -(d_{hyd} + d_{wet}) \frac{1.001}{\sqrt{0.002001 + \sin^2(E_i)}} (m) \quad (18)$$

(2) 보정정보 위치영역 맵핑 기술 개발 및 적용 가능성 타진

위성항법 보정시스템 (DGPS, Differential global Positioning System)은 위성항법 공통 오차의 시간과 공간의 상관성을 이용하여 기준국에서 생성한 보정정보를 사용자 수신기에 적용함으로써 정확도를 1~3m 수준으로 향상시키는 방법이다 (Kaplan, 1995) 이 DGPS는 오차 제거 방식에 따라서 위치영역 보정방식과 거리영역 위성항법 보정방식으로 나뉜다. 이 두 가지 방식 중 저가의 GPS 모듈은 현재 시간과 위치 등 어플리케이션 적용에 필수적인 요소들만을 외부 출력으로 제공하므로, 이러한 저가형 GPS 모듈의 정확도를 DGPS 수준까지 향상시키기 위해서는 위치 오차를 제거하는 방식을 사용할 수밖에 없다. 보정정보 위치영역을 투영함으로서 사용자가 직접 정확도를 향상시킬 수 있는 방식인 DGPS-CP(DGPS by Correction Projection)을

사용하려고 하였다. 이 DGPS-CP의 알고리즘은 거리기반 DGPS와 위치기반 DGPS 방식의 수식 비교에 의해 얻어낼 수 있다. 거리기반 DGPS의 방법으로 위치해 $(\overrightarrow{x_{DGPS}})$ 를 구하는 수식은 다음과 같다

$$\begin{bmatrix} \overrightarrow{x_{DGPS}} \\ B \end{bmatrix} = (H^T H)^{-1} H^T \begin{bmatrix} \vdots \\ \overrightarrow{e^i} \cdot \overrightarrow{R^i} - (\rho^i + \delta\rho^i) \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (19)$$

여기서 B는 수신기 시계 오차, H는 관측 행렬, $\overrightarrow{e^i}, \overrightarrow{R^i}, \rho^i, \delta\rho^i$ 는 각각 i-번째 위성의 시선 벡터(Line-of-Sight Vector), 위치 벡터, 의사거리, 거리보정정보를 의미 한다.

위 식은 분배 법칙에 따라 다음과 같이 정리 된다.

$$\begin{bmatrix} \overrightarrow{x_{DGPS}} \\ B \end{bmatrix} = (H^T H)^{-1} H^T \begin{bmatrix} \vdots \\ \overrightarrow{e^i} \cdot \overrightarrow{R^i} - (\rho^i + \delta\rho^i) \\ \vdots \end{bmatrix} + (H^T H)^{-1} H^T \begin{bmatrix} \vdots \\ -\delta\rho^i \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (20)$$

Stand-alone 위치 $(\overrightarrow{x})$ 는 아래 식으로 구할 수 있으므로

$$\begin{bmatrix} \overrightarrow{x} \\ B \end{bmatrix} = (H^T H)^{-1} H^T \begin{bmatrix} \vdots \\ \overrightarrow{e^i} \cdot \overrightarrow{R^i} - \rho^i \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (21)$$

거리기반 보정정보($\delta\rho$)를 통해 다음과 같이 위치 영역에서의 보정정보($\overrightarrow{\delta x_{DGPS}}$)를 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \overrightarrow{x_{DGPS}} \\ \delta B \end{bmatrix} = (H^T H)^{-1} H^T \begin{bmatrix} \vdots \\ -\delta\rho^i \\ \vdots \end{bmatrix} = -(H^T H)^{-1} H^T (\delta\rho) \quad (22)$$

본 연구과제의 지원을 받아 작성된 2016년 sensors지의 논문에 따르면, DGPS-CP 알고리즘을 이용하여 실험을 한 결과 Stand-alone 상태일 때와 비교하였을 때 수평 오차는 3.0 m 에서 1.2m로 , 수직 오차는 2.3 m 에서 1.3m 로 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 고려하는 드론의 GPS 모듈 중 range-domain의 보정정보 적용이 불가능한 수신기의 경우, 본 알고리즘을 통하여 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

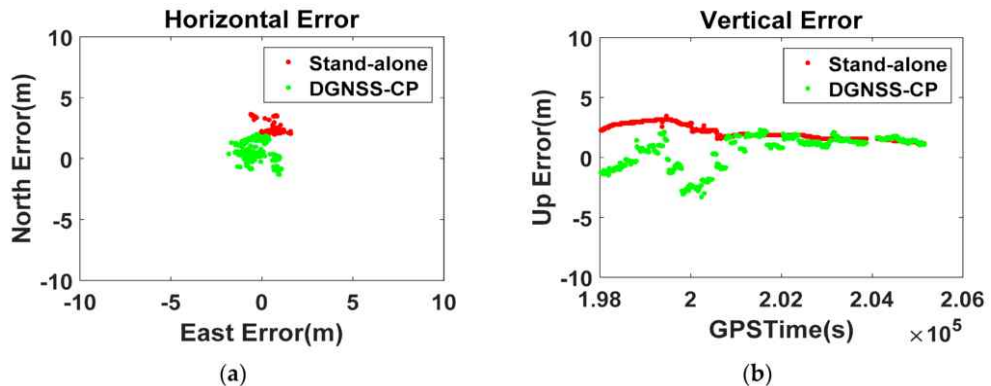


그림 23 Local DGPS-CP 정확도 향상(좌: 수평, 우: 수직) (Yoon, 2016)

다음 그림은 상기의 보정정보 맵핑 알고리즘을 SBAS 보정정보에 적용한 결과이다. 국내에

서 수신가능한 SBAS인 MSAS 보강정보에 적용한 결과 Local Area DGPS와 동일하게 정확도 향상이 가능함을 확인하였다. MSAS 보정전 수평 1.6m, 수직 10.8m의 오차 RMS가 SBAS 적용시 0.75m, 0.77m로 향상되었고, DGPS-CP 적용시 0.77m, 0.79m로 두 성능 차이가 무시할만한 수준임을 확인하였다. 또한 2015년 9월30일 수신된 SBAS와 rinex 데이터를 이용하여 적용한 결과에서도, 보정전 수평 1.6m, 수직 10.8m의 오차 RMS가 SBAS 적용시 0.75m, 0.77m로 향상되었고, DGPS-CP 적용시에는 0.77m, 0.79m로 SBAS와의 성능 차이가 무시할만한 수준임을 확인하였다.

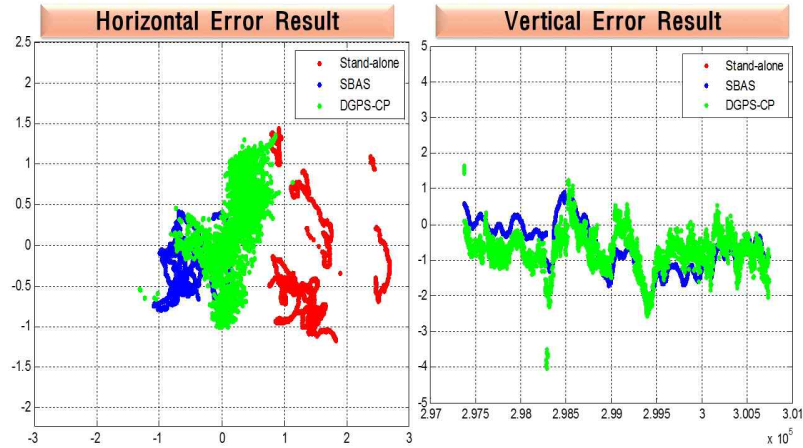


그림 24 SBAS 정확도 향상 (좌 : 수평, 우: 수직)

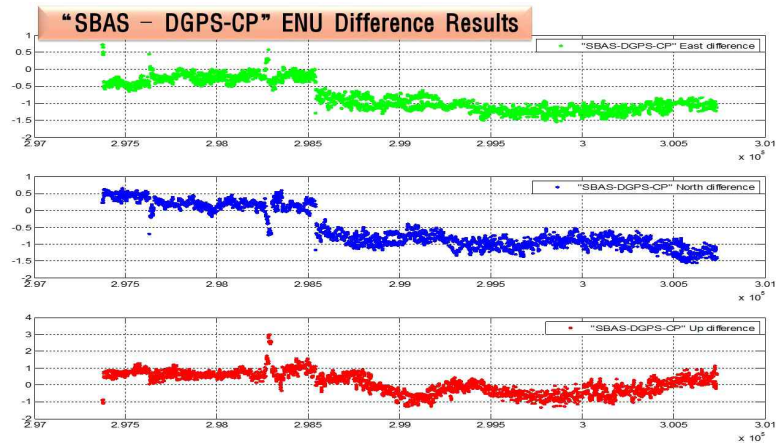


그림 25 SBAS 와 DGPS-CP

그러나 본 연구의 주요한 최종 목표 중 하나인 보호수준 등 무결성 정보는 range-correction을 기반으로 그 알고리즘이 제시되어있기 때문에 위치기반 보정정보 맵핑시 적용할 수 있는 무결성 관련 알고리즘은 아직 도출된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 위치영역 맵핑 알고리즘은 더 이상 고려하지 않고, range-correction 기반의 정확도 향상과 무결성 관련 연구만을 수행하도록 한다.

다. SBAS 보강 정보를 활용한 저가형 GPS 수신기 무결성 정보 제공 연구

SBAS 시스템은 넓은 지역에 항법위성의 보정정보를 제공하여 사용자의 위치정확도를 향상시키는 역할 뿐만 아니라 항공기의 항행에 활용하기 위해 도입된 시스템이다. 모든 항법시스템은 측위오차로 인한 위치 오차가 발생한다. 이러한 오차의 정도가 미미할지라도, 높은 정확도를 요구하는 항공기에서는 항공기 운항 및 안전에 큰 위험 요소로 작용할 수 있다. 이를 위해 항공기에서는, 항공기 위치정보 뿐만 아니라 현재 항공기에 제공한 위치 정보를 어느 정도까지 보장할 수 있는지를 사용자에게 제공하여 사용자가 위치정보의 신뢰도를 확인할 수 있도록 하

고 있다.

현재 실시간으로 제공된 위치정보를 보장할 수 있는 범위를 부피로 표현한 것을 보호수준이라고 한다. 사용자는 보호수준 크기에 따라 항공기 위치정보의 이용가능여부를 판단하는데, 이때의 판단 기준을 경보한계치(Alert Limit)라 하며, 보호수준이 경보한계치 이내에 포함된다면 해당 위치정보는 신뢰도가 확보되어 사용할 수 있고, 보호수준이 경보한계치를 넘는다면, 해당 위치정보는 사용할 수 없다. 따라서 항공기의 항행 및 항법시스템으로써 SBAS를 적용하기 위해서는 보호수준의 계산이 필수적이다.

(1) 저가형 수신기 노이즈 및 다중경로 오차량 모델링

본 연구에서는 비항공용 GPS 수신기를 항공 응용분야에 적용하기 위하여 보수적인 항공용 알고리즘을 적용하고자 한다. 그러나 이와 같이 지나치게 보수적으로 설정된 오차수준을 비항공용 수신기에 적용할 경우 해당 수신기에서 위치해에 고려하지 않는 등 부정적인 영향을 초래할 수 있다. 따라서 이에 대한 조정이 필요하고, 최근 발표된 ‘비 항공용 SBAS사용자를 위한 보호수준 결정방법’의 알고리즘 및 결과를 본 연구에 적용하였다. σ_{flt}^2 과 σ_{UIRE}^2 은 SBAS를 통해 방송되는 MT에 포함되어 사용자에게 송신되는 무결성 관련 파라미터에 의해 결정되는데, 이 값은 사용자가 실제로 겪을 확률이 매우 미비한 최악의 신호수신 환경을 가정하여 매우 보수적으로 해당 파라미터가 결정된다는 문제를 제시하였다. 아래 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이, 보수적으로 산출되는 SBAS 시스템의 UDRE 값으로 인해 실제 발생하는 위치오차보다 지나치게 큰 보호수준이 산출되게 되며 이로 인해 대부분의 사용자들이 시스템 가용성 측면에서 손해를 감수해야 한다. 그런데 해당 연구에서는 조정계수 α 를 적용하여서, 항공용 무결성 파라미터의 보수성을 완화시킬 수 있는 방안을 제안하였다. 항공용 UDRE 산출 수식에 조정계수 α 를 적용해 $\sigma^2 = \alpha^2(\sigma_{flt}^2 + \sigma_{UIRE}^2) + \sigma_{air}^2 + \sigma_{tropo}^2$ 로 식을 변환하고, 이 때 α 에 0.2를 적용하여 그림 24의 3개의 지표 중 가운데 도식된 수준으로 항공용 보호수준이 가지는 보수성을 완화시킴으로써 비 항공용 사용자들을 위한 SBAS 시스템 활용 방안 확대 가능성을 확인하였다. 따라서 본 연구에서 진행하게 될 알고리즘 검증 실험에는, 조정계수 α 를 0.2로 적용한 UDRE 값을 적용시키도록 하였다.

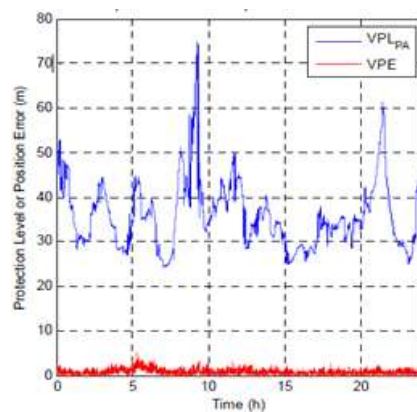


그림 26 항공용 보호수준 및 사용자 수직 위치오차

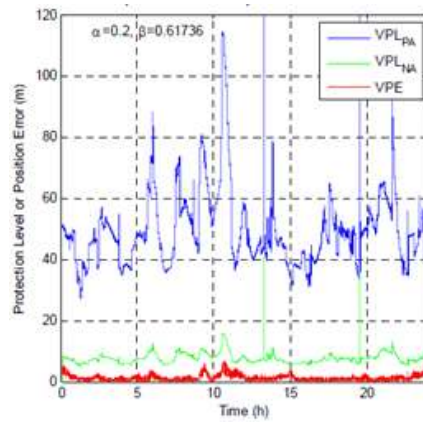


그림 27 항공용 보호수준과 비 항공용 보호수준의 비교 및 사용자 수직 위치 오차

(2) 저가형 GPS 수신기 무결성 정보 생성 알고리즘 연구 및 적용

UDRE는 PRC의 분산값을 나타낸 것으로 0부터 15까지 총 16단계로 구분된 MT2~MT5의 UDREI 정보에 각각 대응되어 있다. UDREI가 커질수록 보정정보의 정확도가 낮아지고, 만약 UDREI가 14라면 “Satellite not monitored”, UDREI가 15라면 “do not use satellite”으로써 해당위성에 관련된 보정정보를 이용할 수가 없다.

표 13 UDREI에 따른 UDRE 및 $\sigma_{i,UDRE}^2$ 값

UDREI	UDRE(m)	$\sigma_{i,UDRE}^2(m^2)$	UDREI	UDRE(m)	$\sigma_{i,UDRE}^2(m^2)$
0	0.75	0.0520	8	5.25	2.5465
1	1.0	0.0924	9	6.0	3.3260
2	1.25	0.1444	10	7.5	5.1968
3	1.75	0.2830	11	15.0	20.7870
4	2.25	0.4678	12	50.0	230.9661
5	3.0	0.8315	13	150.0	2078.695
6	3.75	1.2992	14	Not Monitored	Not Monitored
7	4.5	1.8709	15	Do not Use	Do not use

각 위성에 대한 PRC와 UDRE 정보는 MT2~5를 통해 갱신되는데, 갱신 지연시간에 따라 정확도가 떨어지게 된다. SBAS 시스템은 MT7에 포함된 $A1$ 를 통해 보정정보 갱신 지연에 따른 정확도 저하와 관련된 정보를 사용자가 계산하도록 하고 있다. 다음 표는 $A1$ 에 대응되는 FC의 정확도 저하 인자 값인 a_i 이다. 추가적으로 MT7은 시스템 지연 시간 정보를 포함하여 MT를 송신하는데, 이 값 또한 의사거리 보정정보의 정확도 저하를 계산할 때 이용된다.

표 14 MT7 보정정보 갱신지연에 따른 정확도 저하 값 [19]

Degradation factor indicator AI_i	UDRE degradation factor ai_i	degradation factor indicator AI_i	UDRE degradation factor ai_i
0	$0.00000 m/s^2$	8	$0.00060 m/s^2$
1	$0.00005 m/s^2$	9	$0.00090 m/s^2$
2	$0.00009 m/s^2$	10	$0.00150 m/s^2$
3	$0.00012 m/s^2$	11	$0.00210 m/s^2$
4	$0.00015 m/s^2$	12	$0.00270 m/s^2$
5	$0.00020 m/s^2$	13	$0.00330 m/s^2$
6	$0.00030 m/s^2$	14	$0.00460 m/s^2$
7	$0.00045 m/s^2$	15	$0.00580 m/s^2$

각 위성에 대한 UDRE정보를 이용하여 의사거리 보정정보와 위성궤도 및 시계오차 보정정보에 대한 추정오차의 분산 값인 σ_{flt}^2 계산이 가능한데, 이는 뒤에서 기술할 보호수준 계산에 이용된다. 다음 식은 σ_{flt}^2 를 계산하는 공식으로 MT10에 포함된 RSS_{UDRE} 에 따라 두 가지로 나뉘어 계산되고, 정확도 저하 인자를 계산하여 보다 정확한 보정정보의 추정오차 분산 값을 계산하게 된다.

$$\sigma_{flt}^2 \begin{cases} (\sigma_{UDRE} + \delta UDRE + \epsilon_{fc} + \epsilon_{rrc} + \epsilon_{ltc} + \epsilon_{er})^2 & RSS_{UDRE} = 0 \\ (\sigma_{UDRE} + \delta UDRE)^2 + \epsilon_{fc}^2 + \epsilon_{rrc}^2 + \epsilon_{ltc}^2 + \epsilon_{er}^2 & RSS_{UDRE} = 1 \end{cases} \quad (23)$$

여기서 ϵ_{fc} 는 의사거리 보정정보에 대한 정확도 저하이고 ϵ_{rrc} 는 RRC 정확도 저하, ϵ_{ltc} 는 위성궤도 및 시계오차 보정정보 정확도 저하, ϵ_{er} 는 정밀접근과 비 정밀접근 보정정보 유효시간 정확도 저하이다. 그리고 $\delta UDRE$ 는 사용자 위치에 따른 UDRE 표준편차의 증분 값을 의미하며 이 값은 MT27 또는 MT28을 통해 얻을 수 있다.

의사거리 보정정보에 대한 정확도 저하는 FC 보정정보 전송 후 다음 FC 보정정보가 전송되기까지의 시간경과로 인해 발생하며, 계산하는 수식은 아래의 식과 같은데, 시스템 지연시간과 AI 를 통해 계산할 수 있다.

$$\epsilon_{fc} = ai \frac{(t - t_u + t_{lat})^2}{2} \quad (24)$$

이 때 t 는 ϵ_{fc} 를 계산하는 현재의 시점이고 t_u 는 마지막 UDRE 정보가 전송된 때를 의미한다. 또한 t_{lat} 는 시스템 지연시간, ai 는 AI 로부터 얻어지는 FC 정확도 저하 인자이다.

ϵ_{rrc} 는 FC 보정정보 최대 갱신주기 초과로 인한 값으로, 가장 최근에 수신된 FC의 IODF와 이전에 수신된 FC의 IODF에 따라 서로 다른 계산방법이 적용된다. 먼저 AI 가 0일 경우, ϵ_{rrc} 는 0이고, 만약 최근과 이전에 수신된 IODF 정보가 모두 3이 아니라면, ϵ_{rrc} 를 계산하는 식은 두 가지의 경우로 나뉘어 계산된다[17].

$$\epsilon_{rrc} \begin{cases} 0 & \text{if } (IODF_{current} - IODF_{last}) \bmod 3 = 1 \\ \left(\frac{a_i I_{fc}}{4} + \frac{B_{rrc}}{\Delta t} \right) (t - t_{current}) & \text{if } (IODF_{current} - IODF_{last}) \bmod 3 \neq 1 \end{cases} \quad (25)$$

ϵ_{rrc} 는 최근과 이전에 수신된 IODF를 비교한 후 보정정보의 최대갱신주기 초과 여부에 따라 계산방법이 결정된다. 만약 최대갱신주기를 초과하지 않은 경우, ϵ_{rrc} 는 0으로 처리하고, 최대갱신주기를 초과한 경우 아래 식을 이용하여 계산한다. 여기서 t 는 ϵ_{rrc} 를 계산하려는 시점이고 $t_{current}$ 는 가장 최근의 FC 수신시점, B_{rrc} 는 MT10에 포함된 상대적 추정 노이즈와 반올림으로 인한 수치오차 관련 변수이다.

한편 최근과 이전에 수신된 데이터 중 어느 하나라도 IODF가 3이면, ϵ_{rrc} 계산방법은 아래의 두 가지 식으로 나누어 구분할 수 있다.

$$\epsilon_{rrc} \begin{cases} 0 & \text{if } \left| \Delta t - \frac{I_{fc}}{2} \right| = 0 \\ \left(\frac{a_i \left| \Delta t - \frac{I_{fc}}{2} \right|}{4} + \frac{B_{rrc}}{\Delta t} \right) (t - t_{current}) & \text{if } \left| \Delta t - \frac{I_{fc}}{2} \right| \neq 0 \end{cases} \quad (26)$$

만약 최근 FC 갱신 주기가 시간초과 값의 1/2과 일치하면, ϵ_{rrc} 는 0이고 그렇지 않다면 식(9)의 아래 식을 따라 계산된다.

ϵ_{ltc} 는 MT25에 포함된 VC 값에 따라 계산방법이 달라진다. VC가 0인 경우, 아래의 식(10)을 이용하여 ϵ_{ltc} 를 계산할 수 있다.

$$\epsilon_{ltc} = C_{ltc_{v0}} \left| \frac{t - t_{ltc}}{I_{ltc_{v0}}} \right| \quad (27)$$

여기서 $C_{ltc_{v0}}$ 와 $I_{ltc_{v0}}$ 는 MT10에 포함된 값으로써 $C_{ltc_{v0}}$ 는 SC의 갱신 변화량의 경계치이고, $I_{ltc_{v0}}$ 는 최소 갱신 시간이다. 또한 t_{ltc} 는 SC 보정정보의 첫 번째 비트가 사용자에게 수신된 시점이다. VC가 1이라면 다음 식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\epsilon_{ltc} \begin{cases} 0 & \text{if } t_0 < t < t + I_{ltc_{v1}} \\ C_{ltc_{v1sb}} + C_{ltc_{v1}} \max(0, t_0 - t, t - t_0 - I_{ltc_{v1}}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (28)$$

만약 ϵ_{ltc} 를 계산하려는 시점 t 가 MT25의 유효시간 이내라면, ϵ_{ltc} 는 0이고, 그 이외에는 위의 식을 이용하여 계산한다. 여기서 t_0 는 가장 최근에 SC가 수신된 시점이고, $I_{ltc_{v1}}$ 는 SC 갱신 시간, $C_{ltc_{v1sb}}$ 는 위성궤도 및 시계정보의 반올림 오차, $C_{ltc_{v1}}$ 는 위성궤도 및 시계정보의 변화율의 속도 오차의 경계치이다

다음으로 전리층 오차의 경우, 전리층 보정정보의 오차 추정 값인 GIVEI는 보호수준 계산에 사용되는 값으로 다음 표와 같이 0부터 14까지 총 15단계로 나뉘어져 있다. 이는 전리층 오차 추정 분산 값인 $0m^2$ 부터 $187.0826m^2$ 에 대응된다. 만약 특정 격자점에서 보정정보를 일시적으로 제공하지 않을 경우 ‘Not monitored’로 표시되며, 이 때 SBAS 시스템은 GIVE값을 15로 통보한다.

표 15 GIVE값에 따른 GIVE, $\sigma_{i,GIVE}^2$ 값

GIVEI	GIVE(m)	$\sigma_{i,GIVE}^2$	GIVEI	GIVE(m)	$\sigma_{i,GIVE}^2$
0	0.3	0.0084	8	2.7	0.6735
1	0.6	0.0333	9	3.0	0.8315
2	0.9	0.0749	10	3.6	1.1974
3	1.20	0.1331	11	4.5	1.8709
4	1.5	0.2079	12	6.0	3.3260
5	1.8	0.2994	13	15.0	20.7870
6	2.1	0.4075	14	45.0	187.0826
7	2.4	0.5322	15	Not Monitored	Not Monitored

전리층 경사 지연 값의 추정오차인 UIRE의 분산값 σ_{UIRE}^2 은 σ_{flt}^2 와 함께 보호수준 계산에 이용된다. IGP에서의 전리층 지연 값의 추정오차에 대한 분산 값인 $\sigma_{iono,grid}^2$ 을 계산하는 공식은 아래의 식과 같다.

$$\sigma_{iono,grid}^2 = \begin{cases} (\sigma_{GIVE} + \epsilon_{iono})^2, & RSS_{iono} = 0 \\ \sigma_{GIVE}^2 + \epsilon_{iono}^2, & RSS_{iono} = 1 \end{cases} \quad (29)$$

위의 $\sigma_{iono,grid}^2$ 을 계산하기 위해서는 σ_{GIVE} 와 ϵ_{iono} 를 계산하여야 하며, RSS_{iono} 에 따라 두 가지로 나뉘어 계산 된다. 여기서 전리층 보정정보의 정확도 저하 인자를 뜻하는 ϵ_{iono} 은 아래의 식을 통해 계산할 수 있다.

$$\epsilon_{iono} = C_{iono,step} \left| \frac{t - t_{iono}}{I_{iono}} \right| + C_{iono,ramp} (t - t_{iono}) \quad (30)$$

위 식에서 $C_{iono,step}$ 와 I_{iono} 정보는 MT10에 포함되어 있으며 t_{iono} 는 가장 최근에 수신된 MT26의 첫 번째 비트가 수신된 시간, t 는 $\sigma_{iono,grid}^2$ 을 계산하고자 하는 시점이다.

전리층 수직 지연 오차의 추정오차 UIVE의 분산 값인 σ_{UIVE}^2 은 각각의 IGP에서 계산된 $\sigma_{iono,grid}^2$ 를 이용하여 아래의 식으로 계산할 수 있다.

$$\sigma_{GIVE}^2(\Phi_{pp}, \lambda_{pp}) = \sum_{i=1}^4 W_i(x_{pp}, y_{pp}) \sigma_{iono,grid}^2 \quad (31)$$

σ_{UIVE}^2 또한 실제 적용을 위해서는 경사함수를 이용하여 전리층 경사 지연 값의 추정오차에 대한 분산 값으로 변환해야 한다.

$$\sigma_{UIRE}^2 = \left(1 - \left(\frac{R_e \cos(E_i)}{R_e + h_I} \right)^2 \right)^{-1} \cdot \sigma_{UIVE}^2 \quad (32)$$

대류층 보정정보의 오차수준 σ_{tropo}^2 은 위성의 양각 E_i 로 모델링 된 아래의 식을 이용하여 간단히 계산할 수 있다.

$$\sigma_{i,tropo}^2 = 0.12^2 \frac{1.001}{\sqrt{0.002001 + \sin^2(E_i)}} (m^2) \quad (33)$$

(3) 제시한 무결성 알고리즘을 이용한 Protection Level 산출

수평, 수직 보호수준 계산은 아래의 식에 따른다.

$$\begin{aligned} HPL &= K_h d_{major} \quad VPL = K_v d_v \\ K_h &= 6.18 (NPA) \\ K_h &= 6.0 (PA) \\ K_v &= 5.33 \end{aligned} \quad (34)$$

여기서 K_h 와 K_v 는 상수인데, 그 중 K_h 는 비정밀접근, 정밀접근 모드 수행 여부에 따라 두 가지의 다른 값을 가진다. 그리고 d_{major} 와 d_v 는 관측 행렬 H 와 가중치 행렬(Weight Matrix) W 를 이용하여 아래의 방법으로 계산된다. 먼저 공분산 행렬은 아래와 같다.

$$(H^T W H)^{-1} = \begin{bmatrix} d_E^2 & d_{EN} & d_{EU} & d_{ET} \\ d_{EN} & d_N^2 & d_N & d_{NT} \\ d_{EU} & d_{UN} & d_U^2 & d_{UT} \\ d_{ET} & d_{NT} & d_{UT} & d_T^2 \end{bmatrix} \quad (35)$$

이때 가중치 행렬 W 는 아래 식과 같이 적용할 수 있다

$$W^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (36)$$

여기서 d_v 는 d_U 에 해당하고, d_{major} 는 아래의 식으로 계산할 수 있다.

$$d_{major} = \sqrt{\frac{d_{east}^2 + d_{north}^2}{2}} + \sqrt{\left(\frac{d_{east}^2 - d_{north}^2}{2}\right)^2 + d_{EN}^2} \quad (37)$$

W 행렬에 정의된 위성별 가중치인 σ^2 은 아래의 식으로 계산되는데, 이는 앞 절에서 계속적으로 언급한 SBAS 시스템의 보정정보들이 모두 수신되고, 이용 가능한 경우에 적용되는 식이다.

$$\sigma^2 = \sigma_{flt}^2 + \sigma_{UIRE}^2 + \sigma_{air}^2 + \sigma_{tropo}^2 \quad (38)$$

아래의 그림은 보호수준 계산에 필요한 주요 성분 값과 일련의 계산 과정을 나타내었다.

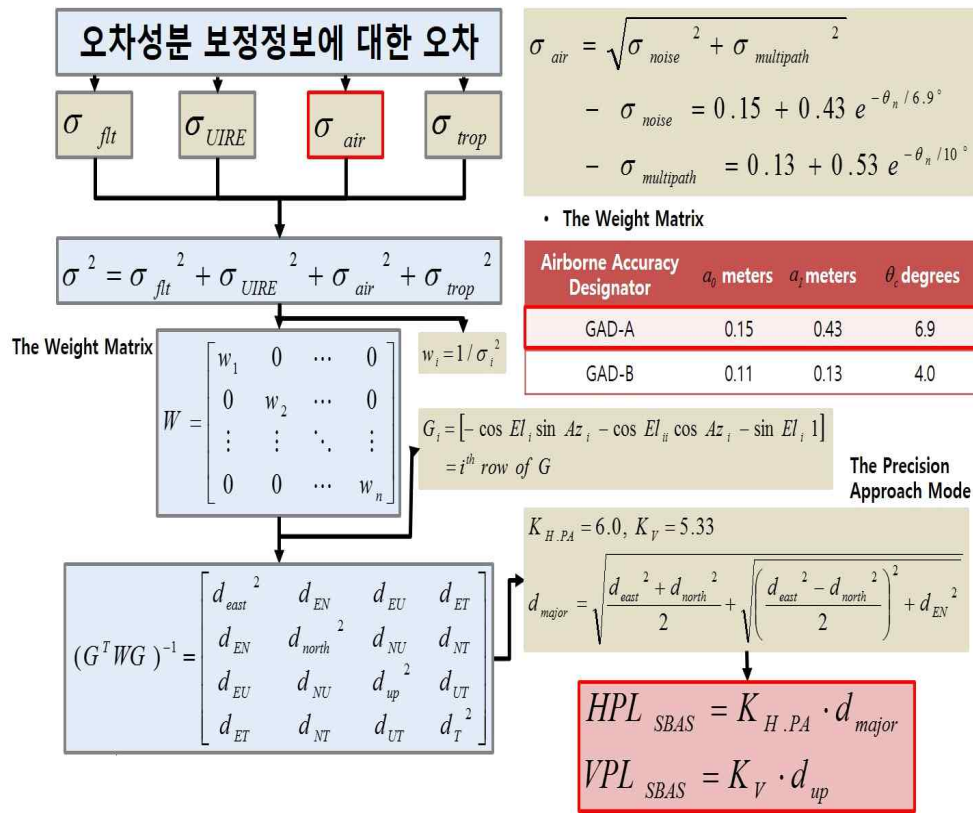


그림 28 항공기 정밀접근 수행 시 수평/수직 보호수준 산출 순서도

2. 저가형 GPS 수신기 SBAS 보정정보 및 무결성 정보 활용을 위한 SBAS 보정정보 재송출 서버 및 사용자 모듈 개발

가. SBAS 보정정보 재송출 서버 및 사용자 모듈 개발

(1) SBAS 보정정보 재송출 서버 개발

실시간으로 SBAS 보강 정보 송출용 메시지 분석 및 가용 GPS 수신기 파악을 하고 인터넷 통신망을 이용한 SBAS 보강 정보 재송출 방안을 제시하였다. 도심 또는 산악 지역에서 위성 가시성을 문제로 SBAS 보강 정보 획득이 불가능한 지역에서도 임무수행 중인 드론에 정확한 위치 정보와 무결성 정보 제공할 수 있도록 인터넷 통신망을 이용한 SBAS 보강 정보 재송출 시스템을 구성하였다.

먼저 SBAS 위성으로부터 보강 정보를 원활하게 수신할 수 있는 위치에 Novatel FlexPak 6 수신기를 기준국으로 설치하고 보강 신호를 수신 받는다. 수신된 SBAS 보강 정보는 RTCA 메시지로 RAWSBASFRAME이라는 Novatel 고유포맷에 포함되어 기준국에 제공되는데, 본 연구를 통해 인터넷 서버를 통해 이를 드론에 전달함으로써 SBAS 비가시 드론도 해당 정보를 사용할 수 있도록 지원하는 역할을 수행한다. 인터넷 서버로 활용될 수 있는 방식으로는 UDP(User Datagram Protocol) 방식을 사용하도록 한다. UDP는 TCP(Transmission Control Protocol)과 같이 포트 번호를 사용하고 데이터 오류를 체크 한다는 면에서 공통점이 있으나 1대1 통신을 주목적으로 하는 TCP 방식과 달리 1대 다 통신 목적으로 사용되며 데이터 전송에 있어 강점이 있으므로 다수의 드론에의 서비스를 고려하여 이 방식을 적용하도록 한다. 먼저 서버를 운용하기 위한 소켓을 호출하고 소켓에 호출된 포트를 지속적으로 잡아두기 위해서 bind 함수를 호출한다. 이 과정을 통해 간단히 서버가 생성되게 되고 드론의 통신 모듈이 클라이언트(Client) 가되어 본 서버에 접속하면 바로 서버에서 제공하고자 하는 RTCA 메시지 포맷

전송되게 된다. 또한 이 포맷은 데이터의 오류를 검사하는 CRC 비트가 포함되어 있으므로 UDP 통신 방식의 단점이었던 데이터 신뢰성 부분에 대한 해결도 가능하게 된다. 이것을 바탕으로 SBAS 보강 정보를 실시간으로 재송출하는 서버를 개발하였다.

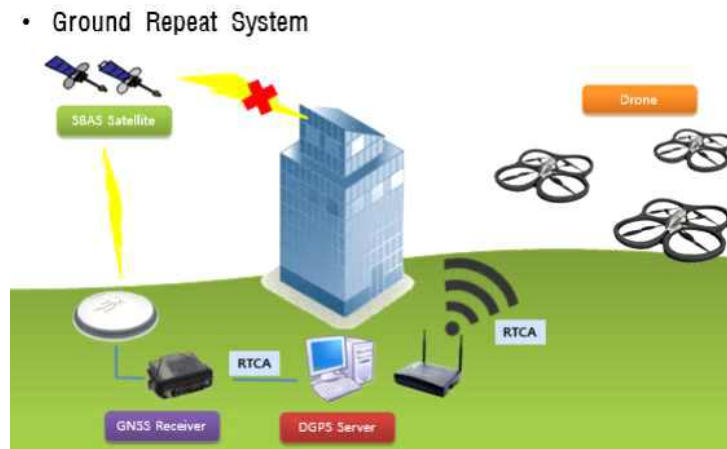


그림 29 SBAS 보정정보 재송출 시스템

(2) 재송출 SBAS 보정정보 수신 모듈 개발

재송출 SBAS 보정정보 디코딩 모듈을 개발하였고 저장된 SBAS 보정정보 인코딩 및 비교를 통해 성능을 검증하였다. 본 연구를 통해 드론에서 생성한 DGPS 위치 결과와 무결성 정보를 검증하는 단계의 연구 수행을 위하여 실제 항공용 수신기인 Novatel FlexPak 6에서 SBAS 보강 정보를 수신하여 직접 산출한 위치를 비교하고, 무결성 정보(보호수준)을 Septentrio 수신기와 비교하는 과정을 수행하였다. 타겟으로 삼은 저가용 수신기인 U-blox 수신기와 flexpak6 모델, Septentrio는 모델과 성능 면에서 차이가 나므로 출력값의 직접 비교를 통한 1대1 검증은 불가능하였다. 따라서 위치 영역 상에서의 bias 성분이 남는지 여부, 보호수준의 경향성 등의 분석을 통해 제시한 모듈이 적절한 절차에 따라 구성되었는지 여부는 간접적으로 확인하였다.

• SBAS Repeater UDP Server & Clients



그림 30 SBAS 재송출 UDP 서버 흐름도

(3) 재송출 SBAS 보정정보 적용 사용자 모듈 개발

다음 표는 SBAS 보정정보를 비행항공용 메시지 프로토콜인 RTCM 보정정보로 변환 시 고려할 요소를 요약한 표이다. 먼저 SBAS 시스템에서 PRC로 정의하고 있는 값은, 위성 궤도 및 시계오차 보정정보, 전리층 지연, 대류층 지연 보정정보 값을 모두 포함한 값이나, RTCM에서의 PRC는 고의잡음이 존재했던 시절에 주로 빠른 속도로 변화였던 위성시계오차만을 보정한 값을 포함한다. 따라서 알고리즘 검증을 위한 실험에서는 항법위성 신호를 수신할 때 야기될 수 있는 오차에 대한 보정성분이 모두 포함된 항공용 RC를 RTCM 메시지의 PRC로 사용하도록 하였다.

또한 SBAS 시스템에서의 UDRE는 의사거리와 위성궤도 및 시계오차 보정정보에 대한 오차 추정 값의 분산 값, 전리층 보정정보에 대한 오차 추정 값의 분산 값, 노이즈 및 반송파 오차 추정 값의 분산 값, 대류층 보정정보에 대한 오차 추정 값의 분산 값의 합이다. 그런데 이 값은 항공분야의 특성 상 매우 보수적으로 계산된 값이므로, 비항공용 보정정보 메시지인 RTCM 포맷에 그대로 적용하기에는 무리가 있다. 일반적인 경우의 RTCM 메시지 UDRE 값과 비교했을 때 SBAS의 UDRE는 지나치게 큰 값이기 때문에 적절한 조절이 필요하다.

표 16 SBAS 메시지의 RTCM 보정정보 포맷으로의 변환 방안

	항공용	비항공용
	SBAS Correction Information	RTCM Correction Message
Range Correction (RC)	$RC = FC + SC + IC + TC$	$PRC(t) = PRC(t_0) + RRC \times (t - t_0)$
User Differential Range Error (UDRE)	$\sigma^2 = \sigma_{flt}^2 + \sigma_{UIRE}^2 + \sigma_{air}^2 + \sigma_{tropo}^2$	$\sigma^2 = \alpha^2(\sigma_{flt}^2 + \sigma_{UIRE}^2) + \sigma_{air}^2 + \sigma_{tropo}^2$

나. 상용 드론 장착을 통한 성능 테스트

(1) GPS 수신기와 보정정보 수신 및 적용 모듈 장착을 통한 실험용 드론 구성

한국형 SBAS 시스템인 KASS에 사용될 것으로 가장 유력한 Inmarsat 4-F1의 위성 위치정보(위도:0도, 경도:143.5도)를 적용하면 한반도 내에서의 정지궤도위성 신호획득 가능 범위를 확인할 수 있다. 아래의 그림 및 표에 한반도(북한제외)의 극동, 극서, 극남, 극북의 위도, 경도 정보를 이용하여, 한반도를 사각형 형태로 가정한 4개의 꼭짓점에서의 위도, 경도 좌표와 해당 지점에서의 위성 양각, 방위각을 요약하였다. 표3에 따르면 한반도 지역 내에서 양각 42.03~49.49도, 방위각 147.94~161.40도 범위에서 Inmarsat 4-F1 위성의 신호획득이 가능할 것으로 예상된다.



그림 31 한반도 전체를 포함하는 각 지점 정의

표 17 한반도 내부에서의 Inmarsat 4-F1 위성 신호 획득 가능 범위

	Point1	Point2	Point3	Point4
위도 (Deg)	37.969	33.112	33.112	37.969
경도 (Deg)	124.61	124.61	131.87	131.87
KAAS 예상 앙각 (Deg)	42.03	45.44	49.49	44.63
KASS 예상 방위각 (Deg)	150.77	147.94	159.36	161.40

특히나 고층건물이 밀집되어 있어 정지궤도 위성 방향으로의 시야 확보가 어려울 것으로 예상되는 서울시 강남구 테헤란로 포스코 사거리(위도:37.506도 ,경도:127.058도)의 위치정보를 적용하여 Inmarsat 4-F1 위성의 앙각과 방위각을 계산하면, 앙각 43.2171도, 방위각 154.14도임을 확인할 수 있으며, 실제로 서울시 강남구 포스코사거리 인근지역에서 고도별로 GPS 단독측위 및 SBAS 보강항법 수행 가능시간을 분석하는 시뮬레이션을 진행한 결과는 아래의 표와 같다. 항법 수행 가능시간은 하루 24시간 중 항법 수행에 필요한 최소 가시위성 조건을 만족하는 시간의 비율이며 각각의 위성과 건물의 앙각, 방위각이 가지는 관계를 고려하여 위성 신호 차폐 여부를 결정한다.

표 18 고도에 따른 GPS 단독측위 및 SBAS(Inmarsat 4-F1) 보강항법 수행 가능시간 비율

고도 (ft)	GPS 단독측위 (%)	SBAS 보강항법 (%)
200	93.81	49.36
100	51.65	19.48
50	33.03	11.14
0	18.05	4.62

상기 표와 아래 그림에 따르면 0ft 고도에서는 GPS 단독측위 및 SBAS 보강항법 수행이 거의 불가능하다고 볼 수 있고, 200ft까지 고도를 상승시키더라도, 하루 중 절반 수준에 그치는 49.36%의 시간 동안만 고층건물에 의한 신호 차폐 없이 SBAS 보강정보를 연속적으로 수신할 수 있었다. 이처럼 일정 앙각, 방위각 범위 내에서만 위성 신호 수신이 가능하다는 점은, 산악과 도심 환경이 많은 우리나라의 지형적 여건을 고려할 때, 드론의 운용 지역에 따라 보정정보의 연속적인 수신 가능 여부가 결정될 수 있기 때문에, 안정적인 드론 서비스 활용에 제약으로 작용하게 된다.

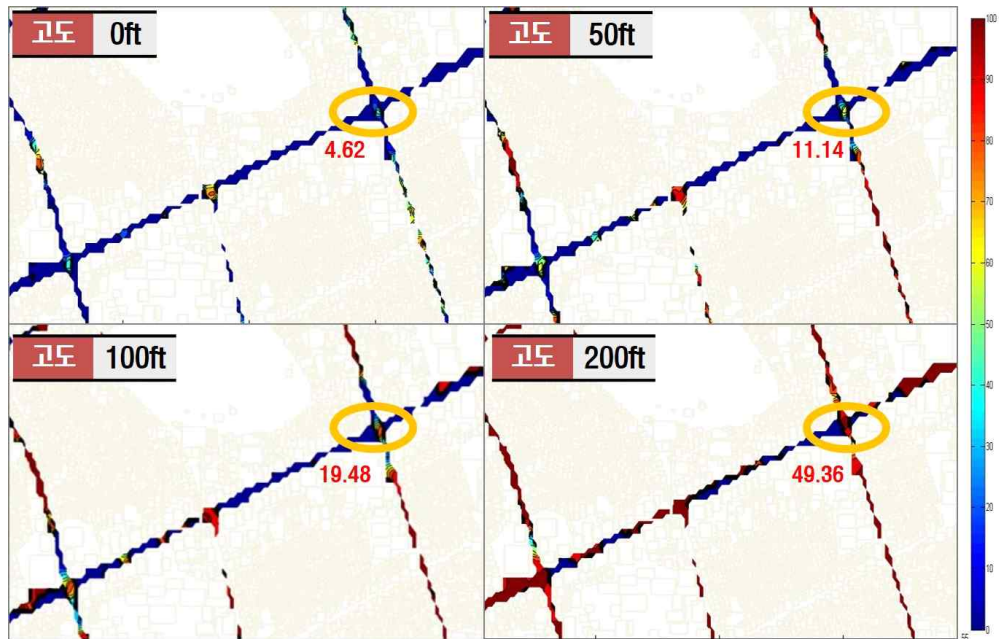


그림 32 포스코사거리 인근지역에서의 고도별 SBAS 보강항법 수행 가능시간 비율

이와 같이 드론의 공역 운영을 위하여 가장 현실적인 솔루션인 SBAS 서비스는 SBAS 정지 궤도 위성의 가시성이 결정적인 역할을 하므로, 이러한 상황에 대한 설정을 하고 그 영향을 분석할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 다음 그림과 같이 세종대학교 운동장 인근에서 주위 건물로 인하여 일본의 SBAS인 MSAS 신호가 미수신되는 지점을 검색하여 실험 장소로 확보한 이후 해당 장소에서 제안한 시스템의 효과를 확인하도록 하였다.

(2) Open Sky / SBAS 차폐지역 실험을 통한 정확성 및 무결성 성능 테스트 수행

제안한 시스템의 구축 적절성을 확인하기 위하여 Open Sky 환경에서 성능 검증을 수행하였고, 이를 위하여 기준국 수신기가 설치된 세종대학교 충무관 옥상을 이상적인 환경으로 설정하였다.

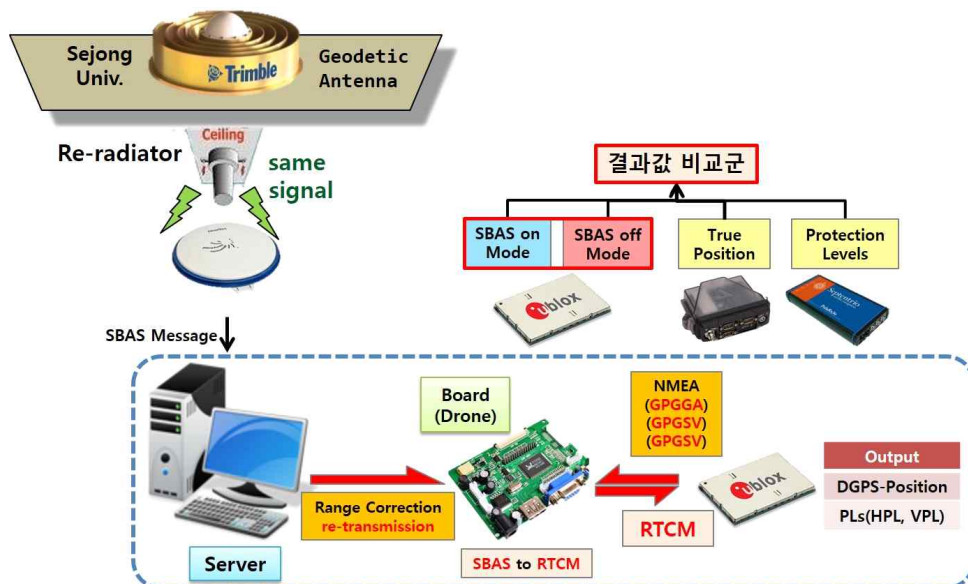


그림 33 실험 구성도

상기 그림은 본 논문에서 제안하고자 하는 시스템의 알고리즘을 검증하기 위한 실험 구상도이다. 먼저 세종대학교 충무관 옥상에 설치되어 있는 Trimble 안테나를 통해 GPS와 SBAS 위성신호를 수신받고, 이 신호는 실내에 설치된 Re-radiator를 통해 재송출되는데, 재송출 신호 중 SBAS 메시지를 서버 컴퓨터가 수신하여 사용자에게 송출한다. 서버에서 송출한 RTCA 형식의 SBAS 보정정보를 수신한 사용자는 연결되어 있는 U-blox 수신기가 DGPS 보정정보만 적용 가능하므로 이를 RTCM 포맷으로 변환하는 작업을 수행한다. 사용자인 드론에는 이러한 기능을 수행하는 보드가 탑재되는데, Python으로 구현될 소프트웨어가 탑재되기 용이한 라즈베리파이 보드가 이용되고 생성된 RTCM 보정정보 메시지를 U-blox 항법 모듈에 입력하여 DGPS를 수행하도록 함으로써 수평과 수직 정확도를 향상시킨다. U-blox에서는 제공하지 않는 보호수준은 본 연구에서 제시한 알고리즘에 따라 실시간으로 산출하도록 하였다.

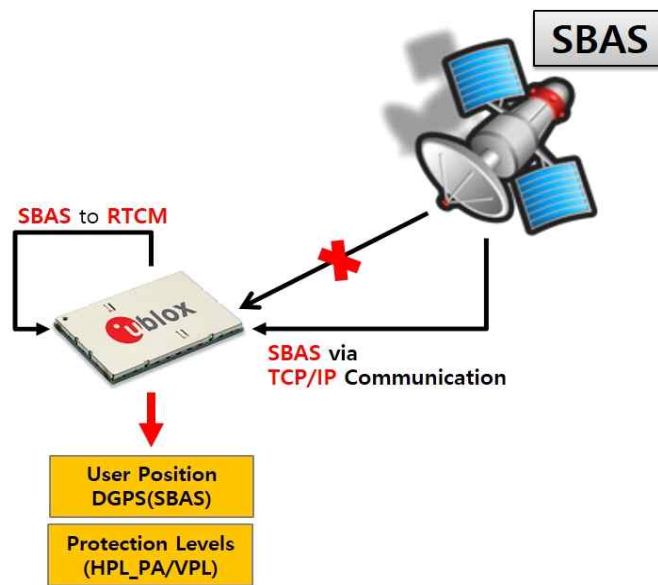


그림 34 저가형 GPS 수신기(Ublox)에서의 시스템 수행 순서도

다음 그림은 본 연구에서 주로 개발하는 서버와 클라이언트 부분을 상세히 도시한 것으로, Python을 기반으로 구현한 실시간 서버의 개념도이자 드론에 장착될 보드에서 이루어지는 계산 과정의 순서도이다.

먼저 서버는 Novatel flexpak수신기로부터 RAWSBASFRAME 포맷의 데이터를 송출한다. 서버는 두 가지 형식으로 메시지를 송출하는데, 우선 기존 SBAS가 송출하는 신호와 동일한 형태와 속도인 RTCA DO-229 형태와 250bps로 전송하는 모드와 사용자 요청시 누적된 최근 데이터를 한꺼번에 송출하는 모드로 제공한다.

사용자는 서버로부터 TCP/IP 통신을 통해 SBAS RAW데이터를 수신한 후, SBAS 보정정보 메시지 디코딩 과정을 수행한다. 동시에 USB 시리얼 통신을 통해 U-blox 수신기로부터 NMEA정보를 수신하고 이를 파싱한다. NMEA data 중 GPGSV의 경우 Ephemeris data로부터 현재 수신가능한 모든 위성들에 대한 정보 파악이 가능하므로, NMEA의 GPGSV에 포함되어 있는 위성 조합에 대하여 위성궤도, 전리층, 대류층 지연 오차를 각각 추정한 후, 이들을 모두 더하여 Range correction을 구한다. 이상과 같이 산출한 Range correction은 RTCM MT 1의 PRC에 해당하므로 이를 바탕으로 MT 1을 생성하고, 현재 드론의 위치를 기준국 위치로 대입하여 MT 3을 생성하여 RTCM 포맷에 맞게 인코딩한다. 이후 이를 Ublox 수신기에 적용시켜 SBAS 비가시 환경에서 DGPS 수행 시의 위치해를 계산하고, 계산된 DGPS 위치해를 기준으로 저가형 GPS 수신기에서의 수평, 수직보호수준을 계산한다.

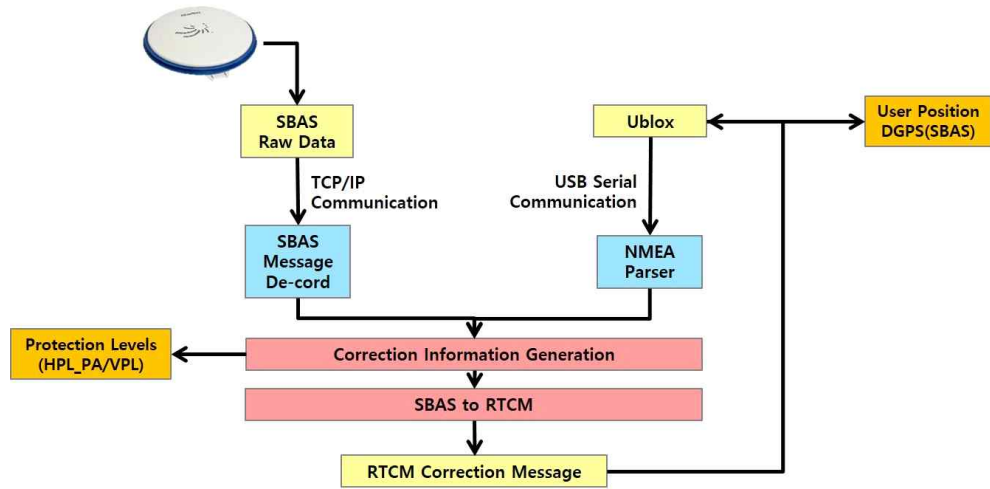


그림 35 실시간 소프트웨어 개념도

상기 실험은 알고리즘과 구현된 시스템의 적절성 평가를 위하여 이상적인 환경 하에서 수행되었다. 구현된 시스템의 성능 비교를 위해서 실험군 외에 2개의 비교군을 추가하였다. 결과분석을 위한 데이터는 3대의 수신기를 이용하여 실험군(Ublox : SBAS to RTCM), 비교군 1(Septentrio : True), 비교군 2(Ublox : SBAS)로 나누어 수집한다. 여기서 비교군 1은 항공용으로 사용되는 고가의 Septentrio 수신기로, 해당 수신기에서 제공하는 SBAS DGPS 결과와 수평 및 수직 보호수준과의 비교를 통하여 고가 수신기 대비 저가형 수신기의 성능 수준을 확인할 수 있다. 비교군 2는 SBAS 보강정보를 직접 적용한 U-blox 수신기의 성능으로, 본 SBAS to RTCM의 알고리즘 적절성을 평가할 수 있다.

다음으로 본 연구의 동기에 해당하는 실험 상황을 가정하여, SBAS 위성의 LOS(Line-of-sight)가 확보되지 않은 환경을 선정하여 실제 실험을 수행하였다. SBAS 위성 신호가 차폐되는 지역을 선정하기에 앞서 그림 44와 같이 국내에서 수신 가능한 2기의 MSAS 정지궤도위성(PRN 129, 137) 중 PRN 137 위성의 그라운드 트랙 상의 경도(Longitude)를 확인하였다. 해당 위성의 경도 확인 결과, PRN 137 위성의 그라운드 트랙 상의 경도는 약 145° 였으며, 세종대학교 충무관 옥상에 설치된 Trimble 안테나를 통해 수신한 PRN 137 위성의 신호에 대한 방위각(Azimuth Angle)과 고도각(Elevation Angle)을 확인한 결과, 방위각(Azimuth Angle)은 약 152° , 고도각(Elevation Angle)은 약 43° 임을 확인하였다. 이러한 방위각과 고도각 조건을 기반으로 세종대학교 근처에 위치한 SBAS 위성 신호 차폐지역을 탐색하였으며, 그림 45와 같이 세종대학교 내 운동장(학생회관 건물 옆)을 실험 장소로 선정하였다. 해당 실험 장소는 지리적으로 PRN 137 위성이 위치한 방향(경도 약 145°)에 학생회관 건물이 위치하고 있으며, 실험 장소에서 학생회관 최상층까지의 고도각은 77° 이므로 SBAS 위성 신호의 수신 차단될 수 있는 환경임을 확인하였다. 이를 확인하기 위해 해당 위치에서 U-blox 수신기와 안테나를 이용하여 약 30분 간 위성 신호를 수신하였으며, 그 결과, 그림 46과 같이 실험이 진행되는 동안 학생회관 건물이 위치한 방향의 위성 신호(GPS 위성 및 SBAS 위성 신호)가 수신되지 않음을 확인하였다.

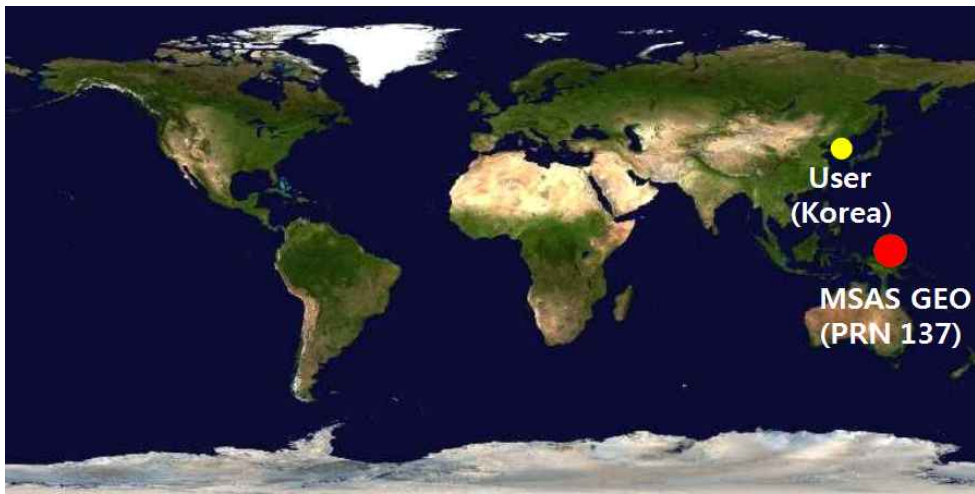


그림 36 MSAS 정지궤도위성 (PRN 137) 그라운드 트랙



그림 37 실험 장소 (SBAS 신호 차폐 지역)

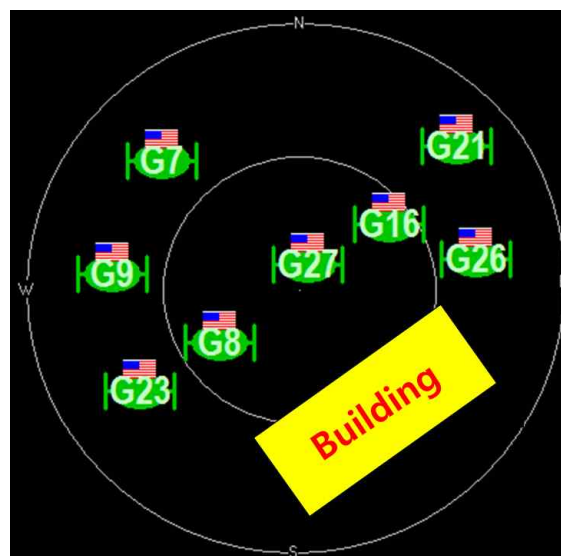


그림 38 SBAS 신호 차폐 확인 실험 당시 Skyplot

제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

가. 저가형 GPS 수신기 정확도 향상 및 보호수준 산출 알고리즘 제시 : 100 % 달성

(1) SBAS와 GBAS, NDGPS 등 상용 드론에 적용 가능한 위성항법 보강 기술 현황 분석

(가) 위성항법 보강 기술 현황 분석

SBAS와 GBAS, NDGPS 등 상용 드론에 적용 가능한 위성항법 보강 기술 현황 분석을 통해 각 기법별 상호 변환 가능성을 확인하고, 드론의 항법 성능(정확성, 무결성) 확보를 위한 방법 및 한계점을 파악하였다. RTCA DO-229, RTCM v2.4 등 국제표준 문서 등의 문헌들을 조사하였으며 SBAS, DGPS 등 위성항법 보강기술 현황 및 내부 알고리즘을 분석하였다.

SBAS에서 제공하는 RTCA는 메시지는 다음 표와 같이 구성되어 있다. 여기서 Message Type 2~5까지는 Fast Correction 데이터를 포함하고 있으며 Message Type 6의 경우에는 각 위성의 무결성 관련 데이터를 제공한다.

표 19 MSAS Message type과 Schedule

Message type	Component	Timeout interval for NPA mode	Timeout interval for PA mode	Max interval
2 to 5	Fast Correction	18 to 180s	12 to 120s	6 to 60s
24	UDRE	18	12	6
6	UDRE(Integrity)	18	12	6
9	GEO Nav data	360	240	120
24/25	Long-term Correction	360	240	120
26	Ionospheric Correction	600	600	300
28	Clock-ephemeris Covariance	360	240	120

SBAS의 RTCA가 RTCM으로 변환되었기 때문에 이를 다시 사용자 모듈에 적용하기 위해서는 디코딩 과정을 필요로 한다. DGPS 적용을 위한 RTCM v2의 메시지 타입은 1번이다. 다음 표와 같이 RTCM 1번 메시지는 사용되는 각 위성마다의 PRC 값과 RRC 값을 포함하고 있다. 이 데이터는 Telit GNSS 모듈의 경우 디코딩되어 DGPS-CP 모듈에 적용되지만 Ublox GNSS 모듈의 경우 RTCM 메시지가 바로 적용 가능하기 때문에 모듈의 입력포트로 RTCM 메시지를 그대로 전송해준다.

표 20 RTCM DGPS MT1 Format

Parameter	Bits	Scaling
Scale Factor (SF)	1	
User Differential Range Error (UDRE)	2	00: $e \leq 1\text{m}$ 01: $1\text{m} < e \leq 4\text{m}$ 10: $4\text{m} < e \leq 8\text{m}$ 11: $e > 8\text{m}$
Satellite ID	5	
Pseudorange Correction PRC	16	0.02m if SF = 0 0.32m if SF = 1
Range Rate Correction RRC	8	0.002m/s if SF = 0 0.032m/s if SF = 1
Issue of Data (IOD)	8	
FILL		
Parity		

그리고 상용 드론에 주로 사용되는 U-blox 수신기의 상세 스펙 및 매뉴얼을 분석한 뒤, SBAS, DGPS 등 위성항법 보강기술 현황 및 내부 알고리즘 분석하여 해당 수신기의 인터페이스 분석을 통한 보정정보 입력 방법 및 출력 데이터의 한계점을 찾았다. 이러한 한계점을 극복하기 위한 방법으로 사용하는 SBAS 보강 메시지 포맷과 기능을 분석하였고 그 SBAS 메시지를 이용하여 사용자의 보정정보 및 무결성 정보를 생성하는 알고리즘과 RTCM 보정정보 메시지 포맷 분석하였다. 그 결과로 SBAS 메시지 인코딩 S/W를 구현했다.

이후 range correction 생성 알고리즘과 protection level 산출 알고리즘을 습득하였고 RTCM 보정정보 내 range correction 부분을 확인 완료할 수 있었다.

(나) 현 위성항법 보강기술의 상용 드론 적용 한계 제시

다음 표는 민간용 드론 탑재 GPS 수신기인 ublox LEA-6 series의 스펙을 정리한 내용이다.

표 21 ublox LEA-6 series 주요 스펙

ublox LEA-6 series		
Receiver Type	GPS/QZSS L1 C/A, GLONASS L1 FDMA Galileo L1 open service (with upgrade) SBAS : WAAS, EGNOS, MSAS	
Navigation Update rate	up to 5 Hz (ROM Verison), 2 Hz (Flash)	
Position Accuracy	GPS	GLONASS
	LEA-6H/6S/6N/6A	LEA-6N
	Position : 2.5 m CEP	Position : 4.0 m CEP
	SBAS : 2.0 m CEP	SBAS : n.a.

위 표에서도 확인할 수 있듯이 ublox GPS 수신기는 GPS, GLONASS, QZSS, BeiDou, Galileo 와 같은 Multi-GNSS 뿐만 아니라 WAAS, EGNOS, MSAS 와 같은 SBAS 도 지원하여 위치정확도를 향상시킬 수 있는 기능을 포함하고 있다. SBAS 보정정보의 경우 L1 신호에 포함되어 전달되므로 별도의 COM 포트는 불필요하나, COM 포트에 RTCM 형태의 보정정보를 제공하면 사용자 위치 정확도가 DGPS 수준으로 향상된다.

아래 표와 같이 ublox GPS 수신기는 메시지 타입 1, 2-5, 18, 24, 25, 26 이용하여 Fast Corrections, Long term Corrections, Ionospheric Corrections 을 계산하고, 이를 이용하여 수신기의 위치 정확도를 향상시킨다.

표 22 지원 가능한 SBAS 메시지

Message Type	Message Content	Source
0	Test Mode	All
1	PRN Mask Assignment	Primary
2,3,4,5	Fast Corrections	Primary
6	Integrity	Primary
7	Fast Correction Degradation	Primary
9	Satellite Navigation (Ephemeris)	All
10	Degradation	Primary
12	Time Offset	Primary
17	Satellite Almanac	All
18	Ionosphere Grid Point Assignment	Primary
24	Mixed Fast/Long term Corrections	Primary
25	Long term Corrections	Primary
26	Ionosphere Delays	Primary

ublox GPS 수신기는 설정을 통해 SBAS 사용여부를 결정할 수 있는 기능과 SBAS 사용 시 Ranging, Correction data, Integrity 중 어떤 기능을 사용할지 여부를 사용자가 직접 결정할 수 있는 인터페이스를 제공한다. 이와 같이 설정된 기능에 따라 그 결과를 u-blox 고유 포맷 또는 GUI를 통해 아래 그림과 같이 제공한다.

UBX - NAV (Navigation) - SBAS (SBAS Status)

SBAS ID used: 137 System: MSAS

SBAS Mode: Operational

☒ Ranging ☒ Corrections ☒ Integrity

SV	UDRE	Fast	Iono	Longterm	Integrity	System	Service
S137	14	0.00m	0.00m			MSAS	Rng Corr Int
G12	08	-0.75m	10.15m			GPS	Rng
G26	14	0.00m	0.00m			GPS	Rng
S129	14	0.00m	0.00m			MSAS	Rng Corr Int
G3	11	-0.63m	9.34m			GPS	Rng
G16	11	-10.71m	20.42m			GPS	Rng
G31	14	0.00m	0.00m			GPS	Rng
G1	14	0.00m	0.00m			GPS	Rng
G22	08	-0.46m	22.59m			GPS	Rng
G6	14	0.00m	0.00m			GPS	Rng
G14	06	-0.25m	6.37m			GPS	Rng
G32	07	-0.64m	8.31m			GPS	Rng
G29	07	-0.77m	8.88m			GPS	Rng
G5	14	0.00m	0.00m			GPS	Rng
G25	06	-0.54m	7.02m			GPS	Rng
G27	14	0.00m	0.00m			GPS	Rng

그림 39 U-blox LEA-6 수신기 SBAS 제공정보

이상에서 결론적으로 확인할 수 있듯이 ublox GPS 수신기는 위치정확도 향상에 관련된 보정 정보인 PRC (Pseudo Range Correction) 와 Ionospheric corrections 을 제공하지만 무결성 (Integrity) 에 관련된 정보인 HPL (Horizontal Protection Level) 과 VPL (Vertical Protection Level) 은 제공하지 않고 SBAS 시스템 사용 가능 여부에 대한 정보만 제공한다.

SBAS 시스템 사용을 위해 국내 주요 지역에서의 SBAS 보정정보 수신 한계를 확인하였다. 고층건물이 밀집되어 있어 정지궤도 위성 방향으로의 시야 확보가 어려울 것으로 예상되는 지역인 서울시 강남구 테헤란로 포스코 사거리의 위치정보를 기준으로 측정을 해 보았다. 이 지역의 위치정보는 (위도:37.506도, 경도:127.058도)이며 SBAS 위성앙각, 방위각 산출식을 도출하여 적용한 결과로 Inmarsat 4-F1 위성의 앙각과 방위각을 계산하면, 앙각 43.2171도, 방위각 154.14도 수준임을 확인하였다.

(2) SBAS 메시지 중 보정정보 추출 및 RTCM 메시지 변환을 통한 저가형 GPS 수신기 정확도 향상 알고리즘 연구

(가) SBAS 보강 정보의 RTCM 보정정보 변환 알고리즘 연구 및 개발을 완료

SBAS 사용자 보정정보인 의사거리 보정정보 (Range Correction, RC_i)는 빠르게 변화하는 위성시계오차에 대한 보정정보인 Fast Correction (FC_i)와 느리게 변화하는 위성궤도오차 및 위성시계오차에 대한 보정정보인 Long Term Correction (LTC_i) 전리층 보정정보인 Ionospheric Correction(IC_i) 대류층 보정정보인 Tropospheric Correction(TC_i)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$RC_i = FC_i + LTC_i + IC_i + TC_i \quad (39)$$

FC_i 계산에는 Message Type 1, 2-5, 6, 7가 사용되는데, Message Type 2-5에 포함된 FC정보를 그대로 사용한다. LTC_i 계산에는 Message Type 1, 25가 사용된다. Message Type 25에는 위성의 ECEF 좌표계에서의 위성궤도오차와 위성시계오차에 대한 보정정보를 포함하고 있으며 Velocity Code에 따라 메시지 형식이 달라진다. IC_i 계산에는 Message Type 18, 26이 사용되는데, IPP (Ionospheric Pierce Point)에서의 수직 지연 값은 인근 격자점에서의 지연 값을 보간 하여 결정하고 이에 위성앙각을 곱하여 산출한다. SBAS에서 대류층 지연에 대한 별도의 보정정보를 제공하지 않으므로 사용자가 위도와 위성앙각을 이용하여 직접 대류층 지연 값을 계산해한다. 이상의 과정을 거쳐 산출된 RC은 RTCM v2 MT1 메시지의 PRC와 동일한 값이므로, 가시 위성별로 RTCM 메시지를 생성하여 U-blox 수신기에 입력한 후, 해당 수신기에서 출력한 위치정보를 DGPS 위치로 산출한다.

SBAS 메시지를 이용하여 의사거리 PRC를 생성하고, 이 생성된 PRC를 이용하여 저가형 GPS 수신기 측정치를 적용한 뒤 위치해를 산출하였다. 이 결과를 변환된 RTCM 보정정보와 SBAS 보강정보 적용 결과 비교를 통해 성능 검증을 하였다. RTCA DO-229에 제시된 보정정보 생성 알고리즘 이해 및 matlab을 이용한 구현 MSAS 데이터 파싱을 통한 수신된 데이터 분석 및 후처리 결과를 이용한 정확도 향상 정도를 파악하였다. 그 결과 RTCA DO-229에 따라서 fast correction, long-term correction, ionospheric grid model, tropospheric model을 이용하여 range correction 산출식을 도출해 내었고, 도출된 range correction이 RTCM message v2.4의 PRC와 동일함을 확인하였다.

(나) 보정정보 위치영역 맵핑 기술 개발 및 적용 가능성 타진

보정정보 위치영역 맵핑과 SBAS 보정정보 적용 결과 비교를 통한 성능 검증을 통해 다양한 케이스에 대한 DGPS-CP 방식의 적용 가능성을 확인하였고 기존 RTCM correction 뿐 아니라 DGPS correction도 적용 가능성을 MSAS를 이용하여 확인해보았다.

MSAS 보정전 수평 1.6m, 수직 10.8m의 오차 RMS가 SBAS 적용시 0.75m, 0.77m로 향상되었고, DGPS-CP 적용시 0.77m, 0.79m로 두 성능 차이가 무시할만한 수준임을 확인하였다. 또한 2015년 9월30일 수신된 SBAS와 rinex 데이터를 이용하여 적용한 결과에서도, 보정전 수평 1.6m, 수직 10.8m의 오차 RMS가 SBAS 적용시 0.75m, 0.77m로 향상되었고, DGPS-CP 적용시에는 0.77m, 0.79m로 SBAS와의 성능 차이가 무시할만한 수준임을 확인하였다.

그러나 본 연구의 보호수준 등 무결성 정보는 range-correction을 기반으로 그 알고리즘이 제시되어있어 위치기반 보정정보 맵핑시 적용할 수 있는 무결성 관련 알고리즘을 도출된 바 없다. 따라서 range-correction 기반의 정확도 향상과 무결성 관련 연구로 한정하여 수행하였다.

(다) SBAS 보강 정보의 RTCM 보정정보 변환을 위한 성분별 range correction 변환 알고리즘

SBAS 보강 정보의 RTCM 보정정보 변환을 위한 성분별 range correction 변환 알고리즘의 평가는 정확도 부분과 연속처리 부분으로 나누어 평가하는데, 정확도부분은 SBAS에서 수신된 메시지를 분석하고 range correction으로 변환하는 과정을 정확히 이해한 후 matlab 코드를 이용하여 생성된 range correction이 정확도를 50%이상 향상시키는지 여부를 판단하는 것으로 평가한다. 연속처리부분은 해당 알고리즘이 보편적으로 적절하게 적용가능한지를 평가하는 것으로 24시간 데이터에 대하여 처리가 가능한지를 확인함으로써 평가하였다.

SBAS 보강정보의 RTCM 변화 모듈 구현을 위해서 저가형 수신기에 적용이 가능한 RTCA DO-229와 RTCM v2.3 표준 프로토콜을 정확히 이해하고 이에 근거하여 메시지를 encoding과 decoding하는 과정이 필요하므로, 이에 대한 분석 결과와 최종 decoding한 보정정보를 입력했을 때 결과를 확인하여 정확도가 50% 향상 되었는지 목표로 하였다.

U-blox에서는 제공하지 않는 보호수준은 본 연구에서 제시한 알고리즘에 따라 실시간으로 산출한 결과 24시간 실험시간 동안 정상적으로 측위 결과가 산출되었고 보정정보 미적용시 수평 1.77m, 수직 3.77m 였던 오차 RMS가 각각 0.84m, 1.76m로 그 정확도가 54% 향상되었고, 이는 SBAS mode를 적용한 결과인 0.79m, 1.33m와의 차이가 0.05m, 0.46m로 23% 이내임을 확인하였다. 또한 다음 그림과 같이 본 알고리즘이 24시간 내내 유효함을 확인할 수 있었다.

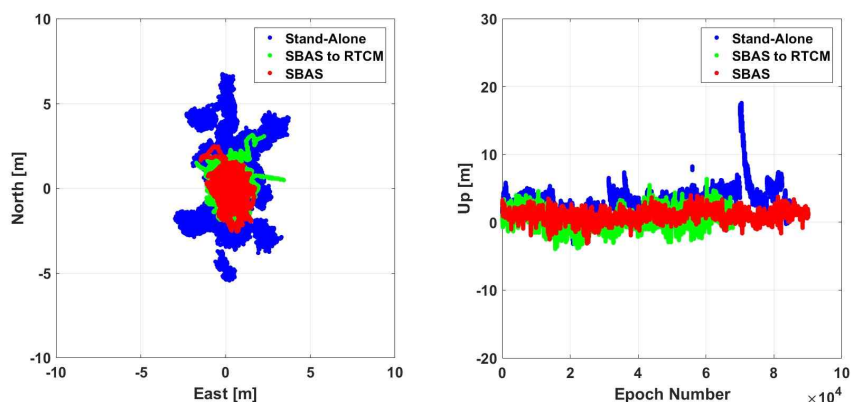


그림 40 24시간 데이터 처리 결과(좌:수평, 우:수직)

(3) SBAS 무결성 정보, 오차 모델링 기법 및 보호수준 산출 알고리즘 적용을 통한 저가형 GPS 수신기 무결성 정보 제공 연구

(가) 저가형 수신기 노이즈 및 다중경로 오차량 모델링

항법용 보호수준 산출을 위해서는 보정치가 적용된 측정치의 분산값이 필수적이다. 이를 위해서 측정치의 오차 모델링이 필요한데, 수신기의 성능과 직접적으로 관계가 있으므로 수신기 제조업체가 이를 제공하지는 않는 것이 일반적이다. 다만, RTCA 표준문서에 따르면 항공용 수신기의 표준 오차 모델을 고도각(el)에 따라서 다음 식과 같이 정하고 각 제조사는 이를 만족하는 항공용 수신기를 사용하도록 권장하고 있다.

$$\sigma_{air} = \sqrt{\sigma_{noise}^2 + \sigma_{Multipath}^2} - \sigma_{noise} - \sigma_{Multipath} \quad (40)$$

$$\sigma_{noise} = 0.15 + 0.43e^{-(el/6.9)} \quad (41)$$

$$\sigma_{Multipath} = 0.13 + 0.53e^{-(el/10)} \quad (42)$$

해당 오차 모델링을 위해서는 다음 그림과 같은 절차에 따라 진행하는데, 이중 주파수 측정치를 이용하여야 정확한 모델의 산출이 가능하다.

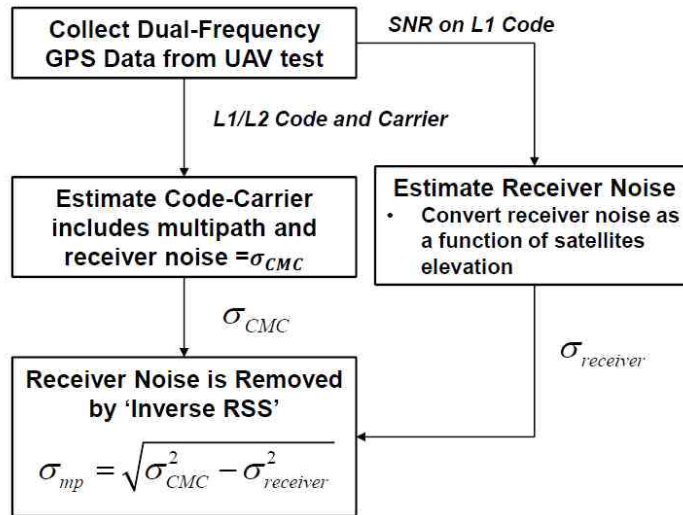


그림 41 측정치 오차 모델링 방법(Kim, 2014)

본 연구에서 적용하고자 하는 수신기는 항공용도 이중주파수 수신기도 아니므로, 상기의 모델링식을 그대로 비항공용 단일 주파수 수신기에 적용하는 것은 불가능하다. 대신 기존 RTCA에서 정하고 있는 오차 모델링 표준편차가 본 연구에 사용하고 있는 수신기의 잡음을 적절히 bound한다면 항공용 수신기에 적용하고 있는 보호수준 산출 알고리즘의 적용이 가능하므로 이에 대한 검토를 수행한다.

비항공용 수신기인 U-blox와 항법용 다중주파수 수신기인 Novatel Flexpak 수신기를 zero baseline 환경에 설치한 후 각 수신기에서 획득한 코드 측정치를 이중차분하면 아래 식과 같다.

$$\Delta\nabla\rho = \Delta\nabla d + \Delta\nabla B - \Delta\nabla b + \Delta\nabla I + \Delta\nabla T + \Delta\nabla\epsilon \quad (43)$$

zero baseline의 경우 상기 수식의 거리(d), 수신기 시계 오차 (B), 위성 시계 오차 (b), 전리

층 오차(I), 대류층 오차(T)의 이중차분($\Delta\nabla$)은 모두 사라지고 잔차($\Delta\nabla\epsilon$)만 남는다. 잔차가 Gaussian 분포를 따른다고 가정할 때,

$$V(\Delta\nabla\epsilon) = V(\epsilon_U^i) + V(\epsilon_N^i) + V(\epsilon_U^j) + V(\epsilon_N^j) \quad (44)$$

이므로, RTCA의 모델링식이 두 수신기의 오차를 모두 적절히 bound한다면 아래 부등식을 만족하여야 한다.

$$V({}^i\nabla^j{}_U\Delta_N\epsilon) \leq 2\rho_{air}^2(e\ell^i) + 2\rho_{air}^2(e\ell^j) \quad (45)$$

여기서 하침자 U는 U-blox 수신기를, N은 Novatel 수신기를, 상침자 i와 j는 이중차분에 사용된 위성번호를 의미한다.

이상과 같이 산출된 부등식을 적용하여 분석한 결과는 아래 그림과 같고, 이중 차분 잔차가

$$3\sqrt{2\rho_{air}^2(e\ell^i) + 2\rho_{air}^2(e\ell^j)} \quad (46)$$

라인 내에 93~96 % 포함되므로 적절하게 bound 되었다고 할 수 없다.

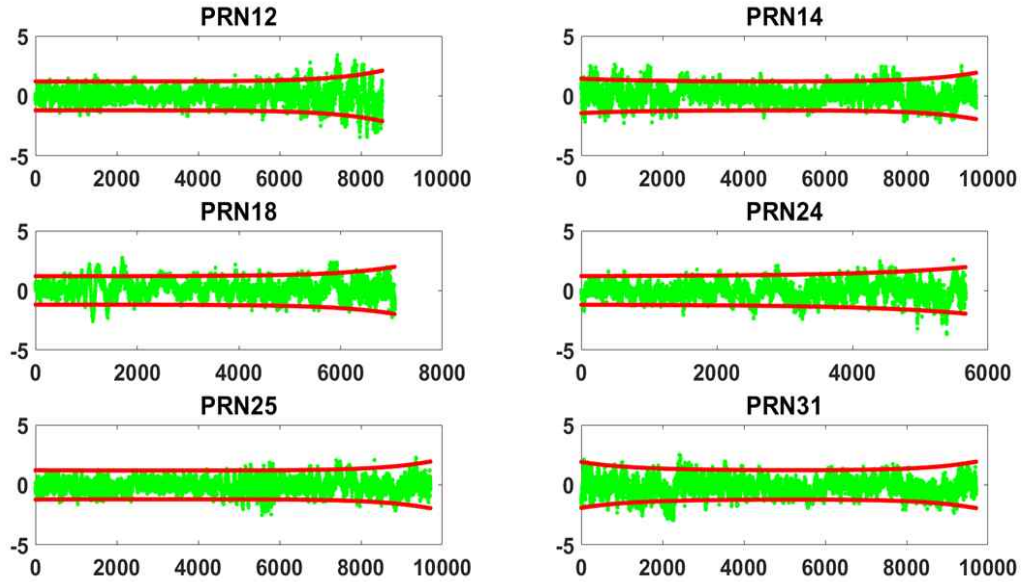


그림 42 RTCA 표준 잡음 모델링 적용시 오차 분포

표 23 RTCA 표준 잡음 모델링 적용시 3σ 이내 이중차분 잔차 분포 확률(%)

PRN	12	14	18	24	25	31
$V({}^i\nabla^j{}_U\Delta_N\epsilon)$	94.8282	93.5112	93.0341	95.4128	96.8174	93.8099

따라서 σ_{noise} 의 값을 아래 식과 같이 RTCA에서 제시하는 noise의 두 배 수준으로 크게 설정하여 아래와 같은 값으로 다시 계산을 한 결과를 도시하면 다음과 같이 그려진다.

$$\sigma_{noise} = 0.3 + 0.86e^{-(e\ell/6.9)} \quad (47)$$

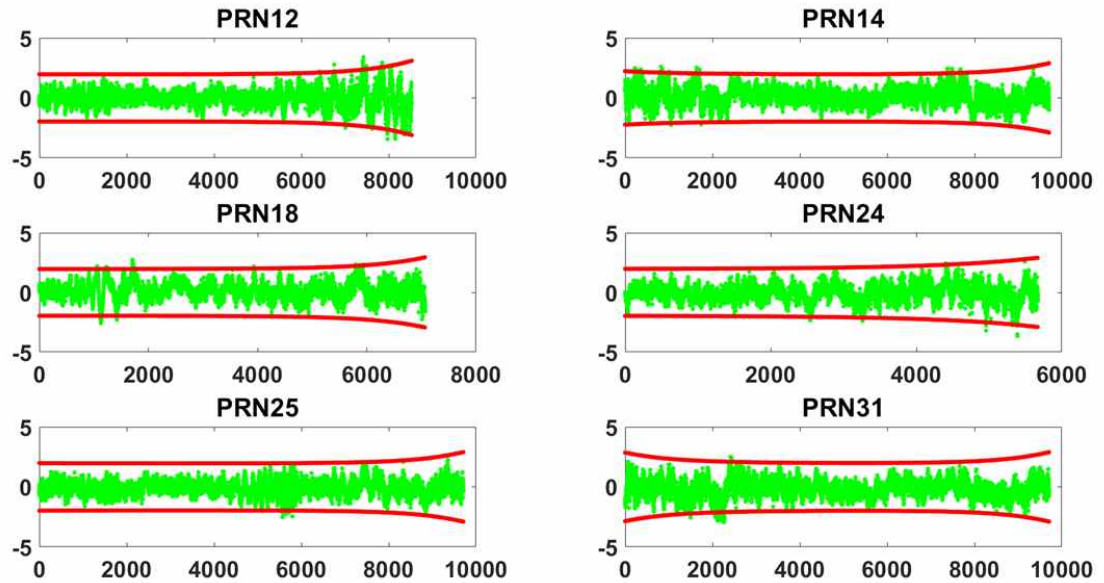


그림 43 제안한 잡음 모델링 적용시 오차 분포

표 24 제안한 잡음 모델링 적용시 3σ 이내 이중차분 잔차 분포 확률(%)

PRN	12	14	18	24	25	31
$V(i \nabla^j U \Delta_N \epsilon)$	99.6130	99.6189	99.2213	99.7354	99.8970	99.5159

이중 차분 잔차가 $3\sqrt{2\rho_{air}^2(e\ell^i) + 2\rho_{air}^2(e\ell^j)}$ 라인 내에 99 % 이상 포함되므로 적절하게 bound 되었다고 할 수 있다.

이와 같이 본 연구에서는 RTCA에서 제시하는 수신기 노이즈 및 다중경로 오차 모델을 분석하였고, 저가형 GPS 수신기 원시측정치 분석을 통해서 RTCA 모델 적용 가능성 타진함으로써 RTCA DO-229에서 제시하는 수신기 잡음 모델링을 적용하여도 무방함을 확인하였다.

(나) 저가형 GPS 수신기 무결성 정보 생성 알고리즘 연구 및 적용

저가형 수신기의 오차 모델링을 추정하여 수식 적용을 통한 저가형 GPS 수신기 무결성 정보 생성 알고리즘 제시하였다. 제시한 무결성 알고리즘을 이용하여 Protection Level 산출해 내었고 이 결과를 고가의 항공용 수신기와의 성능 비교를 통해 무결성 알고리즘의 적절성을 판정했다. 또한 RTCA DO-229에 제시된 보호수준 산출 알고리즘을 이해한 뒤 matlab을 이용하여 구현하였고, MSAS 데이터 파싱을 통해 수신된 데이터를 분석하고 후처리 결과를 이용하여 보호수준 산출 가능성을 확인하였다.

그 결과 제시된 알고리즘을 적용하여 산출한 보호수준과 Septentrio 수신기에서 제공하는 값과 10%이내의 차이를 보이는 것을 확인하였고, 따라서 저가형 수신기에서 제공하는 위성 배치 정보를 이용하여 보호수준 산출이 가능함을 확인하였다. 그리고 검증을 위하여 알고리즘을 통해 구해낸 보호수준과 Septentrio에서 제공하는 보호수준과의 결과를 비교를 통해 검증을 완료하여 저가형 수신기에서 제공하는 위성 배치 정보를 이용하여 보호수준 산출이 가능함을 확인하였다.

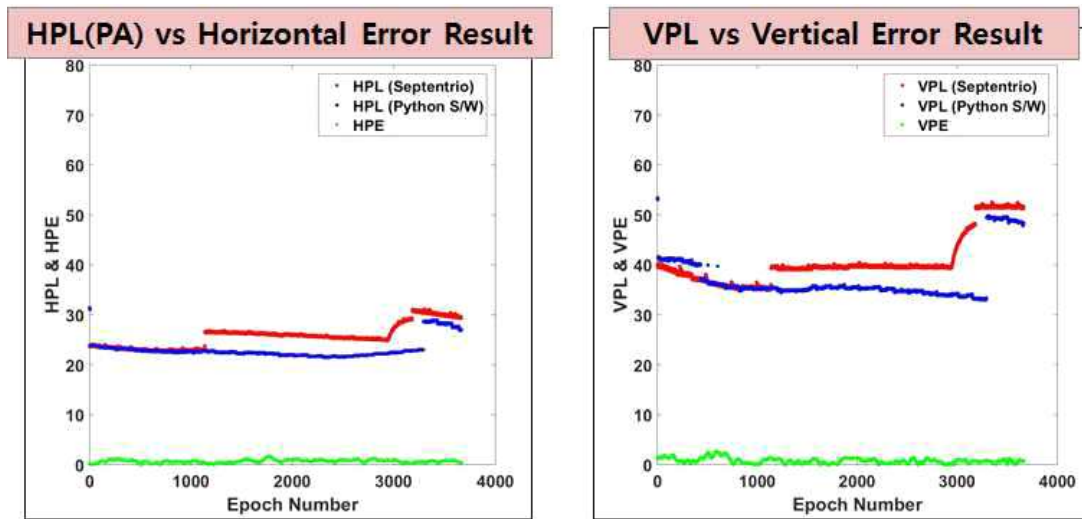


그림 44 수평/수직 보호수준 및 위치오차 포함 여부 비교
(Septentrio PLs vs Python S/W PLs vs Ublox SBAS to RTCM Position Error)

나. SBAS 보정정보 재 송출 서버 및 사용자 모듈 개발 : 100 % 달성

도심 또는 산악과 같이 위성 가시성을 문제로 SBAS 위성 신호를 지속적으로 수신할 수 없는 환경에서는 SBAS 보강방법이 불가능하다. 본 연구에서는 SBAS 보강 정보 획득이 불가능한 지역에서도 임무수행 중인 드론의 정확한 위치 정보와 무결성 정보 산출을 위하여 인터넷 통신망을 이용한 SBAS 보강 정보 재 송출 시스템을 개발하였다. 먼저 SBAS 위성 신호를 원활하게 수신할 수 있는 세종대학교 충무관 옥상에 설치된 Trimble 안테나와 NovAtel Flexpak 6 수신기를 활용하여 기준국용 GNSS 수신기를 구성하였고, 해당 수신기를 세종대학교 충무관에 설치된 SBAS 보강 정보 재 송출용 서버 PC에 연결하였다. 기준국에 설치된 안테나를 통해 수신된 SBAS 보강 정보는 RTCA 메시지로 NovAtel 고유포맷인 RAWSBASFRAME 메시지 형태로 변환되어 서버용 PC에 제공된다. 그리고 서버용 PC는 TCP(Transmission Control Protocol) 서버의 역할을 수행하고, SBAS 위성 비가시 지역에 위치한 드론의 통신모듈은 TCP 클라이언트가 되어 서버에서 송신한 RAWSBASFRAME 메시지, 즉, SBAS 보강 정보를 수신할 수 있다. 이를 통해 SBAS 위성 비가시 지역에 위치한 드론도 SBAS 보강 정보 사용할 수 있다.



그림 45 DGPS 모듈 흐름도

사용자 모듈은 통신 모듈과 DGPS 모듈, Integrity 모듈, GPS 모듈로 크게 4가지로 구성된다. 통신 모듈에서는 기준국 TCP 서버에 TCP 클라이언트 접속을 통해 서버에서 송출한 SBAS 보강 정보가 포함된 RAWSBASFRAME 메시지를 수신한다. 그리고 DGPS 모듈에서는 수신한 메시지를 디코딩한 후, SBAS 사용자 보정정보 (Range Correction)과 보호수준 산출에 필요한 무결성 정보를 생성하고, 이 보정정보를 RTCM 포맷으로 인코딩하여 U-blox 수신기 포트에 입력하여 U-blox 수신기의 DGPS 위치해 산출이 가능하도록 하였다. U-blox 수신기와 같은 범용 수신기는 자체적으로 보호수준을 산출할 수 있는 기능이 제공되지 않는다. 그래서 Integrity 모듈에서는 U-blox 수신기로부터 제공된 NMEA 정보와 DGPS 모듈에서 생성한 무결성 정보를 활용하여 U-blox 수신기의 DGPS 위치해의 보호수준을 산출이 가능하도록 하였다. GPS 모듈은 GPS 위성 신호를 수신하고, 보호수준 산출을 위해 필요한 NMEA 정보를 Integrity 모듈에 제공하는 역할을 수행한다.

본 연구를 통해 개발한 SBAS 보정정보 재 송출 서버와 사용자 모듈의 적절성을 검증하기 위해 Open Sky 환경에서 성능 검증을 수행하였다. 성능 검증 실험을 위한 시스템은 세종대학교 옥상에 설치된 기준국용 Trimble 안테나, 기준국 안테나를 통해 수신된 GPS 와 SBAS 신호를 재송출하기 위한 Re-radiator, SBAS 보정정보 재송출용 서버 PC 1대, 보호수준 비교 검증용으로 서버 PC에 연결된 Septentrio PolaRx4 수신기, 사용자 PC 2대와 U-blox LEA-6 수신기 2대로 구성되어 있다.

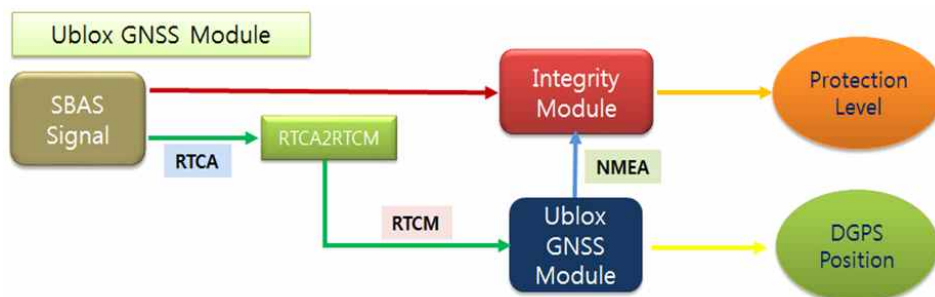


그림 46 사용자 모듈 흐름도

해당 실험은 개발된 시스템의 성능 검증을 위해서 실험군 외에 2개의 비교군을 추가하였다. 실험군은 U-blox 수신기(SBAS to RTCM)이고, 비교군1은 보호수준 비교 검증용인 Septentrio

PolaRx4 수신기, 비교군2는 위치정확도 비교 검증용인 U-blox 수신기(SBAS)결과분석을 위한 데이터는 3대의 수신기를 이용하여 실험군(Ublox : SBAS to RTCM), 비교군1(Septentrio : True), 비교군2(Ublox : SBAS)로 나누어 수집한다. 비교군1은 고가의 수신기로서 해당 수신기가 제공하는 수평 및 수직 보호수준과 Integrity 모듈에서 산출된 보호수준을 비교함으로써 개발된 Integrity 모듈의 적절성을 평가할 수 있다. 또한, 비교군2는 실험군과 동일한 수신기에 SBAS 보강정보를 직접 적용한 것으로 해당 수신기에서 출력된 수신기 위치정보와 실험군 수신기에서 출력된 위치 정보를 비교함으로써 SBAS to RTCM의 알고리즘 적절성을 평가할 수 있다. 2017년 6월 20일 7시(UTC)부터 8시(UTC)까지 약 1시간 동안 수신된 GPS 및 SBAS 신호를 이용하여 실험을 수행한 결과, 아래 그림과 같이 수평과 수직 정확도가 향상되고, protection level은 Septentrio에서 제공하는 값과 거의 유사한 결과를 도출하였다.

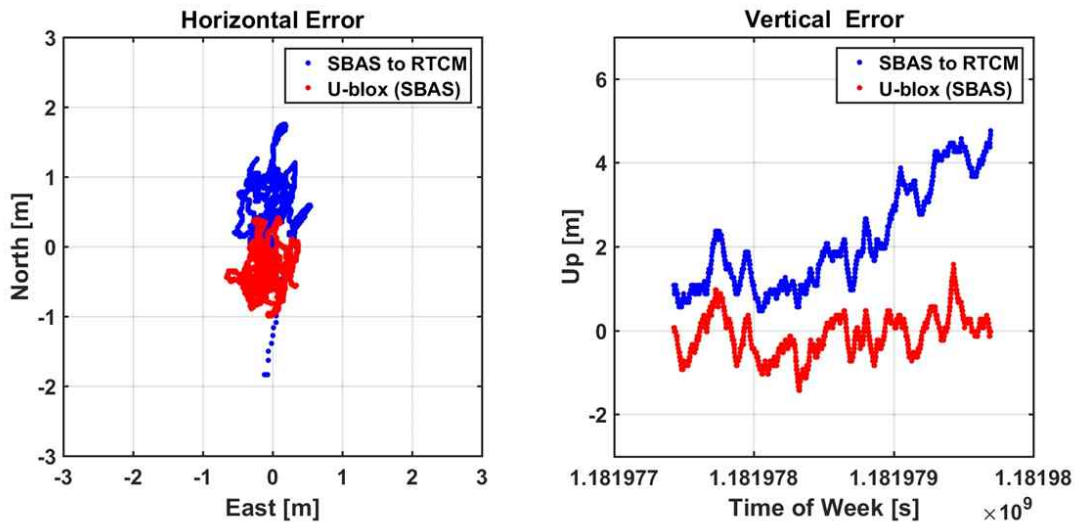


그림 47 Position Error

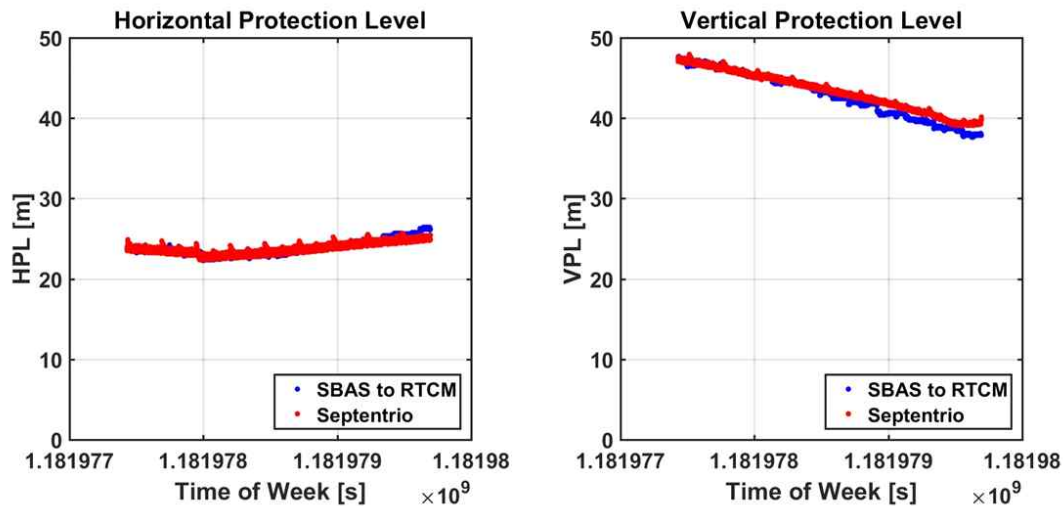


그림 48 Protection Level

본 연구에서 개발한 SBAS to RTCM 알고리즘은 SBAS 보정정보를 RTCM 포맷으로 변환하는 과정이기 때문에 SBAS 위성이 사용자에게 제공하는 경보를 반드시 고려해야 한다. 특정 위성에 대한 문제가 발생하여 즉시 사용자에게 경보를 제공해야 하는 경우, SBAS는 RTCA MT 2-5에 포함된 UDREI(User Differential Range Error Indicator)의 값을 14 이상으로 설정하여 6초 이내에 MT 2-5를 사용자에게 방송한다. 이를 통해 SBAS 사용자는 위치해 산출과정에서 문제가 발생한 위성을 즉각적으로 제외시킬 수 있다. 그리고 DGPS는 문제가 발생한 위성

에 대해서 사용자에게 경보를 제공하기 위한 방법이 두 가지가 있다. 첫째는 Satellite Constellation Health 관련 메시지인 RTCM MT 5를 제공하는 것이다. 하지만, 본 실험에서 사용한 U-blox 6 수신기는 아래 그림과 같이 RTCM MT 5를 지원하지 않으므로 이 방법을 활용하여 U-blox 수신기 사용자에게 경보를 제공하는 것은 불가능하다.

Supported RTCM 2.3 Message Types

Message Type	Description
1	Differential GPS Corrections
2	Delta Differential GPS Corrections
3	GPS Reference Station Parameters
9	GPS Partial Correction Set

그림 49 U-blox 6 수신기가 지원하는 RTCM 2.3 메시지 목록

두 번째는 RTCM MT 1에 포함되어 있는 PRC와 RRC의 bit를 각각 '1000 0000 0000 0000', '1000 0000'로 설정하는 것이다. 이렇게 PRC와 RRC가 특정한 값으로 설정된 MT 1를 수신한 사용자는 해당 위성의 사용을 즉시 중지해야 한다. 이 방식을 활용하여 사용자에게 경보를 제공하는 것이 가능한 지 검증하기 위해 임의의 위성에 대한 PRC와 RRC를 위에 언급한 것과 동일하게 설정하여 RTCM MT 1을 U-blox 6 수신기 포트에 입력하는 실험을 수행하였다. 실험 결과, PRC와 RRC의 bit값이 위와 같이 설정된 위성의 사용을 즉시 중지하는 것이 국제표준임에도 불구하고 U-blox 6 수신기는 RTCM MT 1 수신 즉시 위성의 사용을 중지하는 것이 아니라 DGPS Timeout 동안 위성 사용 유지 후 중지하는 것을 확인하였다. 이러한 이유 때문에 PRC 및 RRC를 활용하여 U-blox 6 수신기 사용자에게 특정 위성에 대한 사용 중지 경보를 제공하는 것은 불가능하다.

따라서 본 연구에서는 6초 이내에 사용자에게 경보를 제공하기 위한 해결책으로 U-blox 수신기 메시지인 중 리셋 관련 메시지인 UBX-CFG-RST를 활용하는 방법을 모색하였으며, 그 방법은 다음과 같다. SBAS to RTCM 알고리즘 수행 중 UDREI 값이 14 이상으로 변경된 위성이 발견되는 경우, 해당 위성에 대한 보정정보 생성을 즉시 중지한다. 그리고 UBX-CFG-RST 메시지를 U-blox 6 수신기에 송신하여 강제로 해당 수신기를 Hot Start Reset 시킨 후, UDREI 값이 14이상인 위성의 PRC 및 RRC가 제거된 RTCM MT 1를 송신한다.

다. 상용 드론 장착을 통한 성능 테스트 : 100 % 달성

건물 혹은 산악지형으로 인해 SBAS 위성이 가려지게 되는 실제 환경에서 Open Sky 테스트 환경과 동일하게 테스트를 수행하였다. 또한 SBAS 신호를 직접 받는 환경에서 직접 받지 못하게 되는 환경으로 혹은 반대의 경우에도 본 연구를 통해 개발된 시스템과 알고리즘이 적절히 수행되는 지에 대한 연속성 테스트도 진행하여 상용 기술로의 활용 가능성에 대한 분석을 진행하였다. 단, 본 실험을 수행함에 있어, 기존 GPS항법 불가 지역에서 SBAS 보강항법 수행을 통해 GPS 차폐지역의 개선이 있는 것은 아니므로, 그림 46과 같이 GPS 항법은 가능하면서, SBAS 항법이 불가능한 지역을 실험 장소로 선정하였다. 해당 실험을 위한 시스템은 DJI사의 Phantom 3 드론과 드론에 부착된 U-blox 수신기 및 Patch 안테나, U-blox 수신기의 신호 저장하여 반복적인 실험 수행을 위한 LabSat 장비로 구성되어 있다. 전체적인 실험 과정은 그림 46과 같이 SBAS 신호 차폐지역에서 약 10분 간 호버링 후, 위성 신호 수신 제약이 없는 Open Sky 환경으로 이동하여 약 5분 간 착륙하였고, 마지막으로 해당 위치에서 약 10분 간 호버링

하여 총 25분 간 SBAS 신호 차폐 환경 및 Open Sky 환경에서의 실험을 수행하였다. 단, 해당 실험을 수행함에 있어서 드론의 실제 위치를 계산할 수 있는 방법이 없었기 때문에 매 Epoch에서의 드론의 위치오차를 계산하지 못하였다. 대신에 Open Sky 환경에서 약 5분 간 착륙하였을 때, 획득한 위치 정보의 평균값을 ENU 오차 계산의 기준점으로 삼고 이 기준점에 대한 매 Epoch에서의 드론의 위치오차를 계산하여 SBAS to RTCM 알고리즘의 적절성을 평가하였다. 2017년 5월 19일 5시(UTC)부터 5시 30분(UTC)까지 약 30분 동안 수신된 GPS 및 SBAS 신호를 이용하여 실험을 수행한 결과, 개발된 항법시스템은 약 26초 후부터 DGPS 모드로 전환되었으나, Septentrio 수신기는 stand-alone mode를 유지하다가 중앙지점으로 이동한 후인 약 9분(550 epoch)에 SBAS mode로 변환됨을 확인할 수 있다.

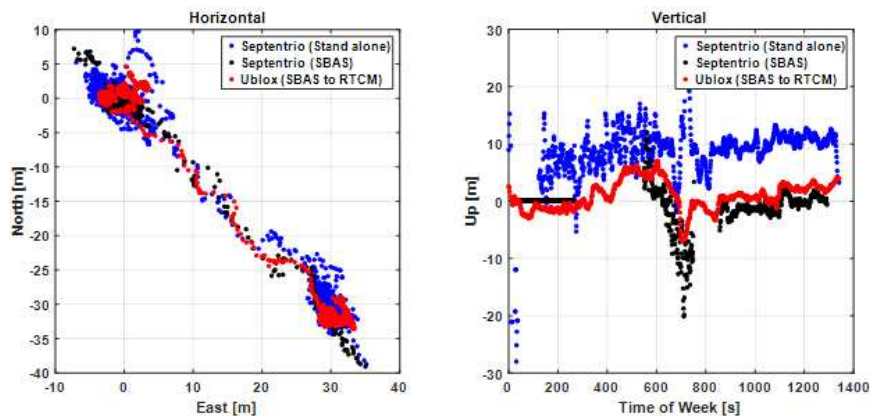


그림 50 실시간 드론 적용 결과(좌: 수평, 우:수직)

상기 결과를 바탕으로 고가의 항공용 수신기 성능 대비 stand-alone 결과와 본 연구에서 저가형 모듈 시스템의 ENU 방향 오차를 비교하면 아래와 같다. ENU 각 방향으로 5.0m, 6.2m, 12.6m의 오차가 1.9m, 2.2m, 3.7m 수준으로 크게 향상되는 것을 확인할 수 있다.

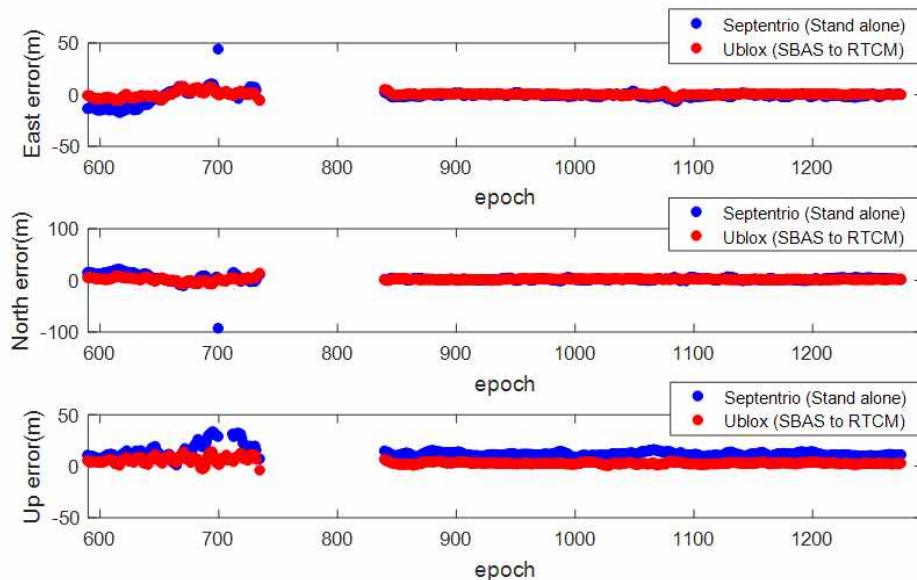


그림 51 stand-alone 및 SBAS2RTCM 위치 오차

상기 시간 동안 저가형 U-blox 수신기에서 산출된 보호수준 그래프는 아래 그림과 같다. 총 1342 에폭 중 초반 26 에폭을 제외한 98% 시간 구간에서 보호수준을 산출하여 목표치인 90% 이상 구간에서 보호수준이 산출됨을 확인할 수 있었다.

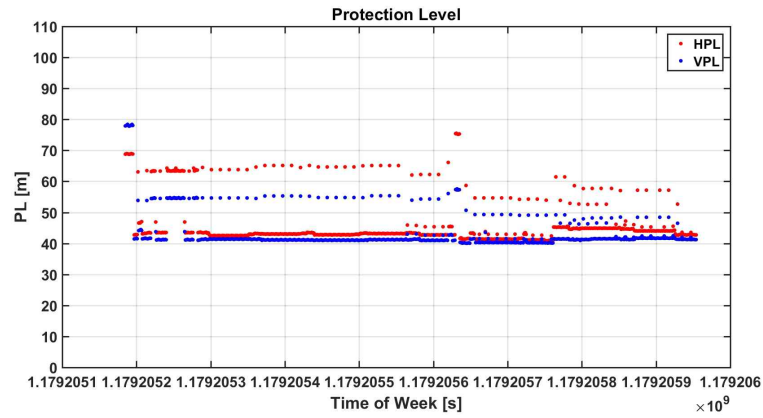


그림 52 보호수준 산출

특히 아래 그림과 같이 u-blox에서 사용한 위성의 수와 septentrio에서 사용한 위성의 수가 유사한 구간에서는 보호수준의 값이 비슷하게 산출되는 것으로 확인되어 본 연구에서 구현한 알고리즘이 적절함을 확인할 수 있었다.

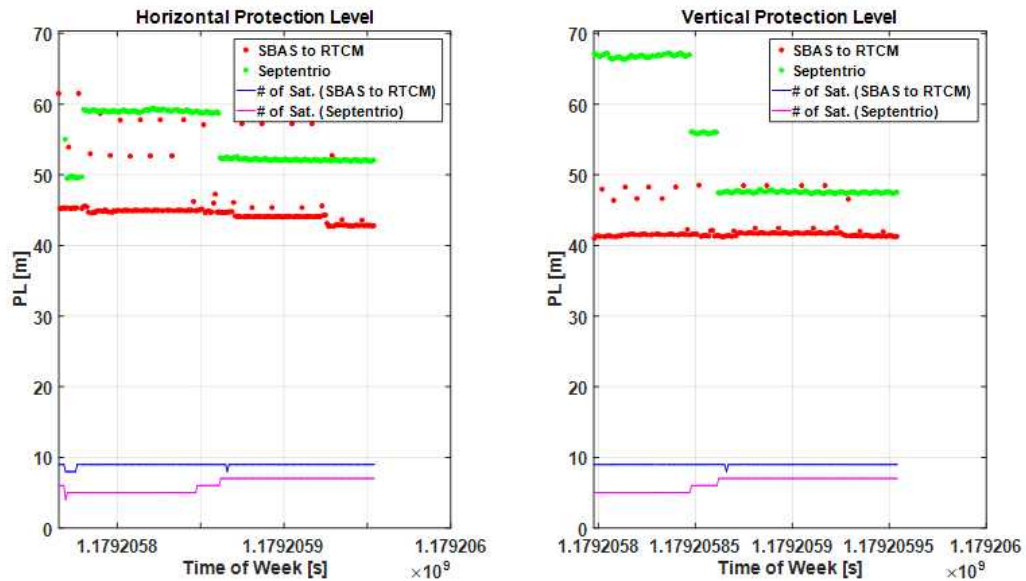


그림 53 보호수준 산출 결과(좌:수평, 우:수직)

2. 관련 분야 기여도

가. 과학 기술적 측면

본 연구에서는 SBAS의 보강정보를 L1 신호가 아닌 별도의 데이터 채널로 전송하고, 수신한 정보를 RTCM의 PRC 정보로 변경하여 저가형 GPS 수신기에 적용하는 기술을 개발한다. SBAS의 보강정보를 별도의 채널로 전송함으로써 기존 SBAS의 고정된 가시성으로 인해 생긴 음영 지역에서도 해당 서비스를 제공할 수 있는 기술로 활용될 수 있다. 이러한 기술은 2019년 시범 서비스로 신호를 송출할 KASS의 예상 음영 지역인 도심과 산악 지역에서의 측위 정확도 향상에도 기술적으로 기여하여 전 국토에 걸쳐 연속적으로 균등한 성능을 보장할 것으로 기대된다. 또한 SBAS 보강정보를 PRC 정보로 변경하는 기술은 SBAS 기능이나 DGPS 기능 자체가 결여되어 있는 초저가형 혹은 구형 수신 모듈에도 SBAS 급의 정확도를 보장할 수 있는 기능이므로, 공간정보, LBS 등 국내 측위 모듈 전반의 성능을 향상시켜주는 기술로 활용될 수 있다. 특히 현재 KASS의 구축으로 해양 NDGPS의 역할이 축소되는 가운데 SBAS 메시지를 RTCM으로 변환하여 송출하는 서비스에 대한 검토가 진행되고 있으므로, 본 연구의 결과를 정책 결정에 기술자료로 제시할 수 있다.

나. 경제적 · 산업적 측면

일반적으로 높은 정확도의 위치와 무결성 정보를 함께 제공하는 항공용 GPS 수신기는 수천 만원을 호가하는 고가의 장비이나, 본 연구를 통하여 제시하는 기술은 저가형 수신기에도 유사한 기능을 제공할 수 있다. 드론이 택배를 비롯한 다양한 산업에 활용되기 위해서는 유인기 공역 진입을 통해 운용 범위를 넓혀야만 하는데, 이를 위하여 수천만원에 달하는 고가의 장비를 장착할 경우 사업성에 치명타를 입을 수 밖에 없다. 따라서 본 연구에서 제시하는 기능을 현재 드론이 장착하고 있는 저가형 GPS 수신기에 적용한다면, 저비용으로 공역 혼용에 필수적인 보호수준 산출이 가능할 것으로 보이고, 이로 인한 경제적 효과는 매우 클 것으로 보인다. 특히 드론의 활용성은 국내외적으로 큰 이슈가 되고 있으므로, 저가형 GPS 수신기에 해당 모듈을 추가하여 제품화할 경우 가격 경쟁력에서 우위를 점하여 수익 창출을 기대할 수 있다. 뿐만 아니라, 항공 분야에 국한되어 사용되던 무결성과 보호수준은 최근 육상 및 해양 교통에서도 도입되는 추세이므로 그 시장은 점차 확대될 것으로 예상된다.

다. 사회적 측면

국내 항공분야의 대부분의 정책은 FAA에서 결정된 의사 결정에 따르는 것이 일반적이고, 금번 드론 관련 개정안에 따라 국내 드론 산업 시장 역시 위축된 것이 사실이다. 그러나 여전히 드론의 산업화에 대한 요구는 전 세계적으로 높으므로, 본 연구를 통해 제안된 기술의 효과를 ICAO 등의 국제 기구에서 제시함으로써 전 세계적으로 법 완화에 대한 공감대를 형성한다면, 항공분야에서 대한민국이 국제적으로 영향력있는 지위를 확보할 수 있을 것으로 보인다.

그리고 지금까지 GPS 수신기 제조업체의 독점적 가격 산정에 각 수요처가 수동적으로 받아들였으나, 유사한 성능과 기능을 산출할 수 있는 대체 기술을 제시함으로써 고성능 수신기의 대중화에 기여할 가능성도 있다.

제 5 장 연구개발성과의 활용계획

1. 연구 성과 활용 분야

가. 해양용 기준국 인프라를 활용한 드론 무결성 정보 생성 모듈의 활용

위성항법중앙사무소는 해양 11소, 내륙 6소 등 총 17소의 기준국을 국내에 설치하여 운영 중에 있으며 이는 해양에서 선박을 위한 보강항법으로 주로 이용되고 있다. 따라서 이 기준국에서는 SBAS에서 제공하는 항공용 보강항법 메시지인 RTCA 대신 해양용 보강항법 메시지인 RTCM 형식으로 사용자에게 보정정보를 제공하고 있기 때문에 드론에서 활용하고자 할 경우 무결성에 대한 정보를 이용할 수 없다. 따라서 본 연구에서 개발된 모듈 및 알고리즘을 위와 같은 기준국에서 활용하게 된다면 국내 환경에서 무인항공기를 활용한 다양한 서비스를 제공하는 데 기여할 수 있을 것으로 보인다.

나. UTM(Unmanned Aerial System Traffic Management)

민간 분야에서 드론을 활용하기 위한 많은 제안이 들어오는 상황으로 인해 기존 유무인 항공기에 대한 교통 관제 및 관리를 맡았던 ATM(Air Traffic Management)에 드론과 같은 저고도 항공기에 대한 관리도 필요하게 되었다. 따라서 기존 ATM에 대한 연구를 진행해오던 미항공우주국(NASA)은 2014년 7월에 저고도 무인항공기를 포함한 항공교통관리 시스템인 UTM에 대한 연구를 추가했다.



그림 54 NASA의 UTM 시스템 개념도

위 그림과 같이 UTM 시스템은 저고도 공역에서의 효율적이고 안전한 운용을 가능하게 도와주고 공역 설계, 충돌 방지, 장애물, 날씨와 기류 등과 같은 다양한 정보를 저고도 항공기에 제공한다. 또한 다음 그림과 같이 다수의 저고도 항공기에 대한 비행 경로 설정과 분리 거리 관리 등을 통해 직접적으로 일반 항공기가 다니는 고도와 마찬가지로 저고도에서도 충분히 발생할 수 있는 항공 교통에 대한 통제 및 관리를 진행한다.

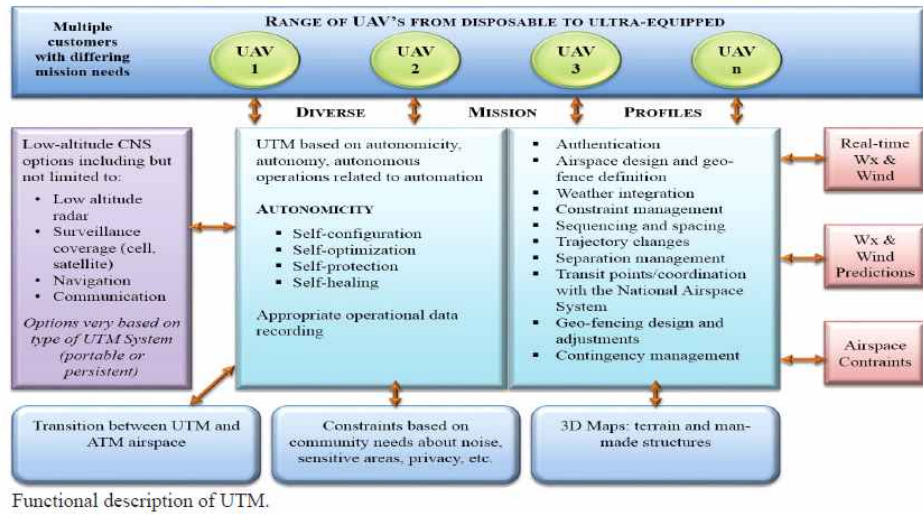


그림 55 UTM 시스템의 기능 및 역할

NASA에서 제시하고 연구 중인 UTM 시스템도 본 연구와 마찬가지로 무결성에 대한 부분을 고려하여 분리 관리(Separation Management) 항목을 포함하고 있다. 하지만 최근 연구 동향과 특히 부분에서는 저가형 GPS 수신기에 대한 사항이 고려되고 있지 않기 때문에 본 연구에서 진행할 저가형 GPS 수신기를 통한 무결성 정보 생성은 UTM 시스템에 같이 활용된다면 실제 레저, 서비스, 기타 분야에서 상업적으로 이용될 저고도 저가형 드론에 대한 국가적인 항공교통 관리 시스템을 구축하는 데 활용될 수 있을 것으로 보인다.

다. 육상 교통 및 LBS 분야에서의 활용

본 연구는 드론에서의 SBAS 활용도를 높이기 위하여 기존 정지궤도 위성이 아닌 지상 통신 채널을 통해 SBAS 보정정보를 전달하는 기술을 제시한다. 지상 인프라를 이용하는 경우 그 서비스 대상이 드론을 비롯한 항공분야에 국한되지 않고, 내비게이션과 스마트폰 등 위성항법의 다양한 활용분야에서 활용이 가능하다.

일반적인 GPS의 정확도를 향상하기 위해서는 DGPS (Differential GPS)나 SBAS 보정정보 적용 기능이 수신 모듈에 포함되어 있거나, 원시데이터가 출력되어야 한다. 그러나 현재 시판되어 사용되는 내비게이션과 스마트폰의 GPS 모듈들은 이러한 기능이 포함되어 있지 않아 KASS 등 국내 SBAS 서비스가 본격화되더라도 이러한 육상 교통과 LBS 분야의 위성항법 성능을 향상시키는 것은 쉽지 않다.

이를 위하여 최근 본 연구진이 제안하고 실험을 통해 검증한 바가 있는 SBAS 기반의 DGPS-CP (DGPS-Correction Projection) 알고리즘의 적용을 고려해볼 수 있다. local DGPS의 경우 해당 기준국이 제공하는 보정정보 조합과 사용자 수신기에서 측위에 사용한 위성 조합이 일치하지 않는 경우 정확도 향상 효과가 양호하지 않을 수 있으나, SBAS의 경우 광범위한 영역의 보정정보를 제공하므로 사용자가 사용한 모든 위성 조합에 대한 보정정보 적용이 가능하여 다음 그림과 같이 전 구간에서 정확도가 향상된다.

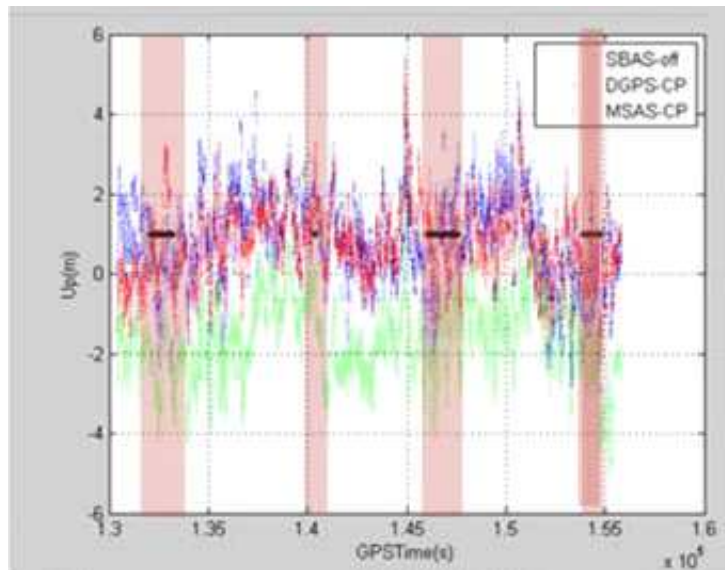


그림 56 DGPS-CP와 SBAS-CP 정확도 비교

스마트폰의 경우 최근 출시된 Android N 이상 버전에서는 GPS 원시데이터를 제공하고 있으므로 데이터 채널을 통해 수신한 SBAS의 적용이 더욱 용이하다. 다음 그림은 Android N 단말에서 제공하는 GPS 측정치에 국내에서 수신한 MSAS 정보를 적용한 결과이며, 그 정확도가 크게 향상됨을 확인할 수 있다.

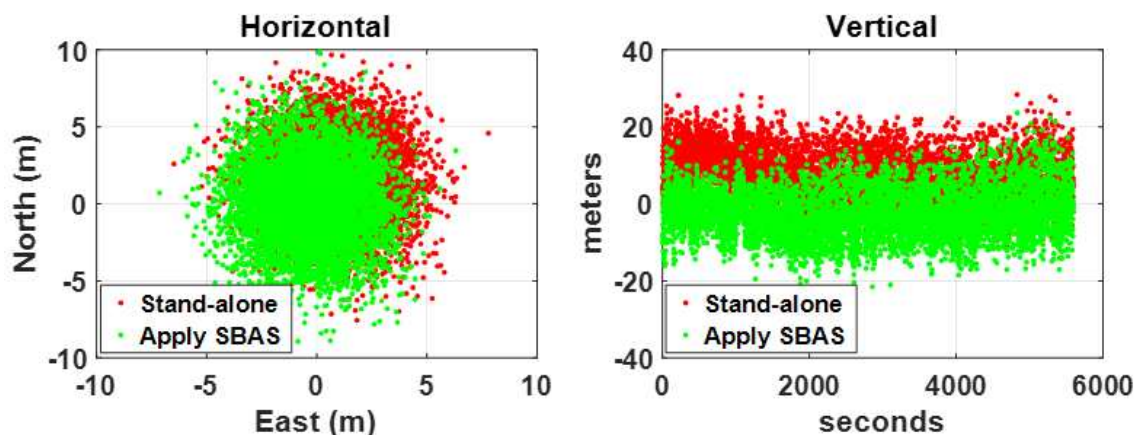


그림 57 Android SBAS 보정정보 적용 위치 결과

이상의 육상 교통과 LBS 활용 분야들은 SBAS나 DGPS 기능이 불포함되어 있는 단말이 주로 사용되고 있고, 도심지와 같이 정지궤도 위성의 가시성이 열악한 지역에서 활용이 많이 되고 있으므로 본 연구에서 제안하는 기술의 활용도가 매우 높을 것으로 예상된다. 다만, 육상과 LBS 분야에서 사용되기 위해서는 대기시간이 최소화될 필요가 있으므로 향후 누적된 SBAS 데이터를 한번에 전송하여 수신 즉시 성능을 향상시키는 방법 등에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

2. 실용화를 위한 연구 보완 계획

가. 소프트웨어 검증 전략

(1) V&V (Verification & Validation) 시험

본 연구는 SBAS 보정정보를 별도의 데이터 채널로 전송하고 이를 저가형 수신기가 적용 가능한 RTCM 포맷으로 변경하여 적용하는 형태로 구성되어 있으므로, 그 성능의 검증이 절대적으로 필요하다. 본 연구에서는 정확도와 무결성 성능 지표를 연구자가 주관적으로 설정하고 이를 정량적으로 만족했음을 제시하여 과제의 성공유무를 판단하였으나, 본 기술이 실용적으로 현장에 적용되기 위해서는 각 분야에서 요구하는 요구성능을 구체적이고 정량적으로 설정하고 이를 검증하여야 한다.

이러한 요구성능 검증을 위하여 V&V (Verification & Validation) 시험이 적절할 것으로 보이며, 소프트웨어를 개발한 기관의 요구사항에 따라 기능, 성능, 보완성, 안전성 등에 대한 시험을 정보통신진흥협회에서 시험 후 시험결과서를 제공한다. 즉, 차후 연구의 경우 과제 수행에 앞서 본 기술이 적용될 분야에서 활용되기 위하여 달성되어야 하는 요구수준을 정량적으로 도출한 이후, 시험항목들과 방법을 과제계획서에 포함시킨다. 과업이 완료된 이후, 정보통신진흥협회에 의뢰하여 과제계획서를 기반으로 시험항목을 도출하여 시험을 수행하여 아래와 같이 시험결과서를 발행한다.



그림 58 V&V 시험 절차

이를 위하여 연구기간 중 정보통신진흥협회와의 협조와 자문을 통해 성공적인 시험을 위한 요구조건 도출 및 시험 방법 제시, 결과서 포함 내용 등에 대한 컨설팅을 받는다.

(2) GS 시험 인증

본 연구를 통하여 개발될 서버와 클라이언트 프로그램은 그 필요성이 인정되어 서비스된다면 차후 국내 SBAS 시스템인 KASS와 연동되어 사용되어야 하므로, lab 차원의 개발 결과물 수준이 아닌 공인된 프로그램으로 개발되어야 한다.

단기간에 품질개선과 비용, 시간 절감에 적합한 시험 인증으로 현재 정보통신진흥협회에서 수행하는 GS 시험 인증제도가 있고, KASS를 운영할 KPS (KASS Processing Station)가 공공기관으로 이를 사용하기 위해서는 조달청 등록 등의 과정을 거칠 수 있으므로, 이러한 인증 과정이 선행될 필요가 있다.

개발 기관은 아래의 과정과 같이 시험 인증을 의뢰하고, 정보통신진흥협회는 시험환경구축 및 제품 설치에 앞서 제품 분석 및 설계, 결함 보고, 회귀시험, 현장 심사 등으로 구성되는 시험을 통해 최종 적합 여부를 판정한다. ISO/IEC 9126, 25041, 25051 국제표준에 근거한 품질 평가 모델을 기반으로 기능성, 사용성, 이식성, 효율성, 신뢰성, 유지보수성에 등에 대한 시험을 수행하고, 결함 발견 시 결함리포트 및 보완 기회를 제공한 후 회귀시험하며, SW유형별 테스트케이스를 개발하고 적용한다.

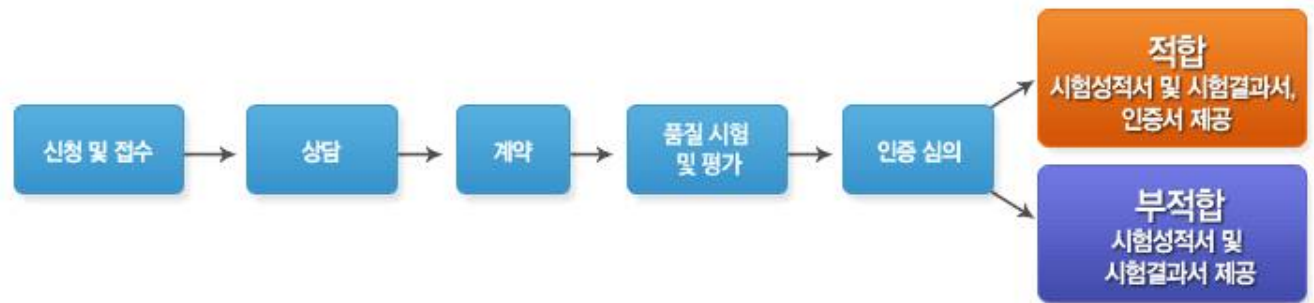


그림 59 GS 시험 인증 절차

이러한 인증과정을 거쳐 시험성적서와 시험결과서가 발급되고, 품질인증심의위원회의 심의결과에 따라 인증서 및 인증마크가 부여된다. 그런데, 이를 위해서는 많은 시간과 노력이 수반되어야 하므로, V&V 시험을 우선적으로 수행하고, GS 인증은 KASS를 개발하고 있는 항공우주연구원과의 협의를 통해 필요하다고 판단될 경우 수행하도록 한다.

나. 정확도 성능 검증 전략

(1) 정적 시험 정확도 검증 전략

실제 상용화를 위해서는 앞서 언급한 V&V 시험, 또는 필요시 GS 인증이 필요한데, 이에는 시스템 요구 성능에 대한 정의가 필요하다. 본 기술은 동적 항체에의 적용을 최종 목적으로 하지만, 동적 항체의 성능을 평가하는 것은 매우 제한적이므로 정적 시험 결과를 상당 부분 준용할 필요가 있다.

정확도와 무결성 등 항체의 성능 평가는 본 과업에서 수행한 바와 같이 기준 좌표에서의 장시간 성능 평가와 항공용 수신기와의 성능 비교 등의 방법론을 그대로 사용할 수 있다. 다만, 실제 서비스할 대상과 지역, 시간에 적합하게 다양한 케이스에 대하여 다수의 시험을 통해 그 신뢰도를 충분히 높일 수 있어야 할 것으로 예상된다.

(2) 동적 시험 정확도 검증 전략

본 연구에서는 실시간으로 이동하는 드론에 알고리즘을 적용하고 이를 시험적으로 적용하고 그 성능을 평가하였다. 실시간으로 이동하는 항체에 제시한 알고리즘을 적용하고 향상된 위치 성능을 평가하기 위해서는 실시간 참 위치(true position)의 계산이 필수적이다. 본 연구에서는 취미용 드론에 주로 활용되고 중량과 가격 면에서 탑재가능한 저가형 수신 모듈인 U-blox 수신기를 대상으로 하고 해당 수신기에서 수신된 데이터를 바탕으로 정확도 평가를 한 바 있다. 저가형 수신기에서 획득한 단일주파수 측정치만으로는 지속적으로 이동하는 항체의 참 위치를 후처리 프로그램으로도 산출하기 어려우므로, 본 연구에서는 SBAS 모드가 가능한 일부 구간에서의 결과와 비교를 통하여 정확도 성능을 간접적으로 평가하였다.

추후 연구에서는 이를 보완하기 위하여 다음 그림과 같이 드론에 위성항법 신호를 직접 기록할 수 있는 장비를 설치하고, 이를 지상에서 재생하여 다양한 수신기에서의 측정치를 취득하는 시험과정을 통하여 성능을 검증하도록 한다. 특히 이 장비는 드론이 운용 중에 실제 취득한 신호를 직접 기록하고 있으므로 동적 특성이 반영되어 있다. 뿐만 아니라, 동일한 신호에 대해서

도 수신기에 따라 획득할 수 있는 측정치가 달라지므로, 본 연구에서 제안한 알고리즘의 적용 대상인 단일주파수 저가형 수신기뿐 아니라 고가의 항공용 수신기, 그리고 후처리 프로그램에 대입하여 참위치를 산출할 수 있는 기준국용 다중주파 측정치 등 동일한 동적 환경에 대하여 다양한 측정치를 획득할 수 있다.



그림 60 동적 시험 성능 검증 구성도

이와 같은 검증 시험 환경을 구성하면, Trimble NetR9과 같은 기준국용 수신기에서 획득한 이중주파수 코드와 반송파 측정치를 TBC (Trimble Business Center)에 대입하면 cm 수준의 참궤적을 산출할 수 있다. 위성 가시성이 충분히 확보되지 않은 환경에서도 다중 위성군 위성 항법 측정치 획득이 가능하고 참 위치의 산출이 가능하므로 실험 전 구간에 대해서 정확도 성능 평가가 가능하다.

해당 신호를 Novatel flexpak6나 Septentrio 등과 같은 고가의 항공용 수신기에 적용하면 SBAS 신호가 수신되는 구간에 대하여 향상된 정확도와 보호수준값을 산출할 수 있다. 저가형 U-blox 수신기 역시 SBAS 신호 수신 지역에 한하여 정확도가 향상될 수 있는데, 본 연구에서 제안한 기술을 적용하면 전 구간에 대하여 정확도를 향상시키고 보호수준도 산출할 수 있고, 앞서 산출한 전 구간의 참 위치와 비교하여 성능향상 정도를 평가하고 알고리즘을 검증할 수 있다.

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. SBAS 보정정보 형식 및 내용

SBAS 보정정보 메시지 형식은 MOPS-DO229D에 따라 다음 표와 같이 64개로 나누어지고, 현재는 별도의 음영으로 표시한 총 19개의 메시지가 이용되고 있다

표 25 SBAS 보정정보 종류

MT	Contents
0	Don't use for safety applications
1	PRN Mask assignments
2 to 5	Fast corrections
6	Integrity information
7	Degradation factor
8	Reserved
9	GEO navigation message (X, Y, Z, time, etc)
10	Degradation Parameters
11	Reserved
12	SBAS Network Time/UTC offset parameters
13 to 16	Reserved
17	GEO satellite almanacs
18	Ionospheric grid point masks
19 to 23	Reserved
24	Mixed fast corrections/long term satellite error corrections
25	Long term satellite error corrections
26	Ionospheric delay corrections
27	SBAS Service Message
28	Clock-Ephemeris Covariance Matrix Message
29 to 61	Reserved
62	Internal Test Message
63	Null

먼저 MT0는 SBAS 시스템이 시험운영 중이거나, 시스템에 이상이 발생하였을 경우에 전송되는 메시지로써 SBAS 시스템에 이상이 없을 경우에는 MT0 정보는 전송되지 않으므로 사용자는 MT0의 수신여부에 따라 해당 위성에 대한 SBAS 보정정보 사용여부를 결정하게 된다. MT1은 SBAS 시스템이 보정정보를 제공하는 항법시스템 위성번호와 IODP를 전송하며, MT2~5는 각각의 위성에 대한 의사거리보정정보(PRC)와 IODP, IODF 정보를 전송한다. 그리고 MT6은 MT2~5가 일정 갱신주기를 초과하였을 때의 무결성 정보와 IODF 정보를 제공한다. MT7은 PRC에 대한 유효시간과 정확도 저하 관련인자 정보, 시스템 지연시간(Latency Time)과 IODP 정보를 함께 전송하는데, 시스템 지연시간은 지상 기준국에서 보정정보를 생성한 시점부터 사용자가 보정정보의 첫 번째 비트를 수신하기 시작한 시점까지 소요된 시간을 의미한다.

표 26 MT10 정확도 저하인자 메시지 형식

Parameter	Bit Position	No. of Bits	Scale Factor	Range	Units
B_{RRC}	0	10	0.002	0 ... 2.046	m
$C_{LTC_{LSB}}$	10	10	0.002	0 ... 2.046	m
$C_{LTC_{V_1}}$	20	10	0.00005	0 ... 0.05115	ms^{-1}
$I_{LTC_{V_1}}$	30	9	1	0 ... 511	s
$C_{LTC_{V_0}}$	39	10	0.002	0 ... 2.046	m
$I_{LTC_{V_0}}$	49	9	1	0 ... 511	s
$C_{SBAS_{LSV}}$	58	10	0.0005	0 ... 0.5115	m
C_{SBAS_V}	68	10	0.00005	0 ... 0.05115	ms^{-1}
I_{SBAS}	78	9	1	0 ... 511	s
C_{ER}	87	6	0.5	0 ... 3.15	m
$C_{IONO_{STEP}}$	93	10	0.001	0 ... 1.023	m
I_{IONO}	103	9	1	0 ... 511	s
$C_{IONO_{RAMP}}$	112	10	0.000005	0 ... 0.005115	ms^{-1}
RSS_{UDRE}	122	1	1	0 ... 1	N/A
RSS_{IONO}	123	1	1	0 ... 1	N/A
$C_{COVARIANCE}^{(1)}$	124	7	0.1	0 ... 12.7	N/A
<i>spare</i>	131	81	N/A	N/A	N/A

상기 표는 보정정보의 정확도 저하와 관련된 정보를 제공한다. B_{RRC} , C_{ER} , RSS_{UDRE} 는 의사거리 보정정보 정확도 저하를 계산할 때 이용되고, $C_{LTC_{LSB}}$, $C_{LTC_{V_1}}$, $I_{LTC_{V_1}}$, $C_{LTC_{V_0}}$, $I_{LTC_{V_0}}$ 은 위성궤도 및 시계오차 보정정보의 정확도 저하를 계산할 때 사용되며, $C_{IONO_{STEP}}$, I_{IONO} , $C_{IONO_{RAMP}}$, RSS_{IONO} 등은 전리층 보정정보의 정확도 저하 계산에 이용된다. MT24와 MT25는 위성위치 및 위성시계오차와 관련된 보정정보 및 IODP, IOD를 전송하고, MT18과 MT26은 전리층 보정정보를 송신한다.

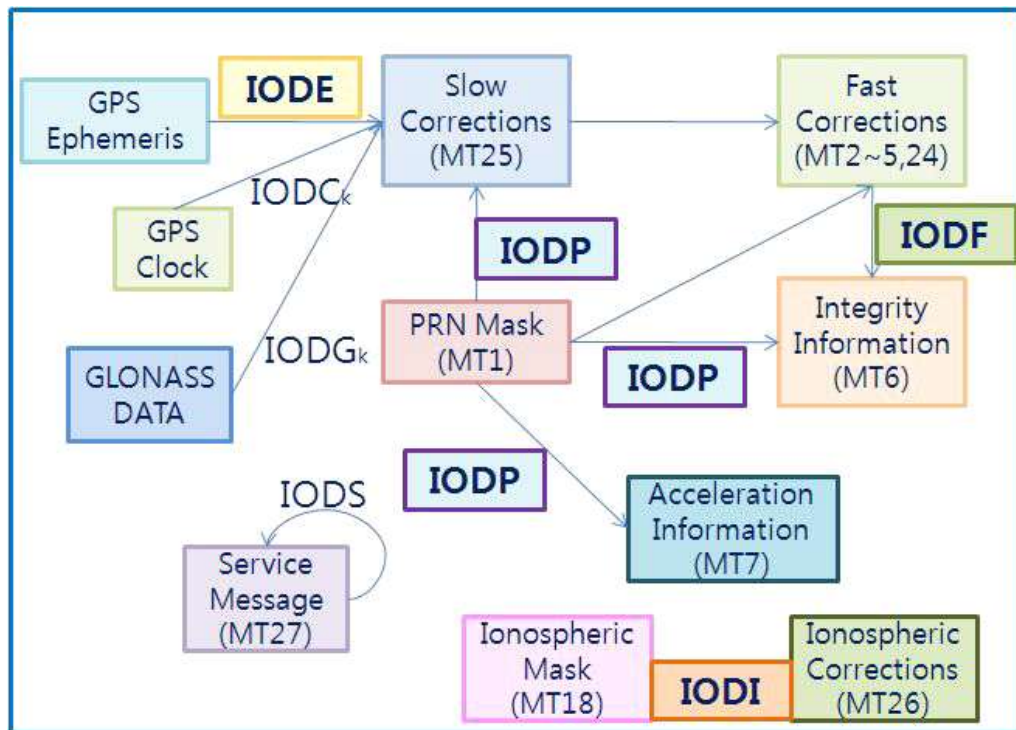


그림 61 SBAS 메시지 연결구조

SBAS 시스템이 사용자에게 제공하는 보정정보들은 서로 긴밀하게 연관되어 있기 때문에 각각의 정보를 조합하였을 때 사용자에게 최적화된 다양한 보정정보를 생성할 수 있다. 그림9는 MT들 간의 연결 구조를 도식화 한 것이다. MT1의 경우 MT2~5, MT6, MT7, MT24, MT25와 연관되어 있고 각각의 MT에 포함되어 있는 IODP를 통해 데이터를 비교한 후 조합하여 이용하고, MT2~5와 MT24는 MT6과 IODF로 연관되어 있고 이를 이용하여 서로의 데이터를 비교하고 조합한다. 그리고 위성궤도 데이터와 관련되어 있는 MT1과 MT25는 MT 각각에 포함된 IODP와 IODE를 통해 데이터를 조합한다.

MT2~5, MT6, MT7, MT24, MT25의 경우, 각각의 보정정보를 이용하기 위해서는 MT1의 IODP와 각각의 MT에 포함된 IODP가 일치해야 한다. MT2~5, MT6, MT7, MT24, MT25에 포함된 항법시스템의 위성번호는 실제 위성번호와 다르기 때문에 MT1을 통해 위성번호를 파악하여야 한다. 즉 MT1 IODP와의 일치여부를 확인함과 동시에 보정정보를 이용하기 위한 위성번호를 파악하여야 한다.

표 27 보정정보 별 시간초과 및 최대 갱신주기

MT	Time-Out Interval En-Route and Non-Precision Approach (Seconds)	Time-Out Interval Precision Approach (Seconds)
0	60	60
1	600	600
2-5, 24 Fast Correction	variable	variable
2-5, 24 Integrity	18	12
6	18	12
24, 25 Slow Correction	360	240
10	360	240
9	360	240
7	360	240
18	1200	1200
26	600	600
27	86400	86400

위의 표는 SBAS 시스템을 이용한 항공기 운항 시 비정밀접근(Non-precision approach) 및 정밀접근(Precision approach)에 대한 보정정보의 시간초과와 최대 갱신주기를 메시지에 따라 나타낸 것이다. 의사거리 보정정보가 포함되어 송신되는 MT2~5의 최대 갱신주기는 6초이며, 유효시간은 표9와 같이 MT7에 포함된 정확도 저하 정보에 따라 최소 18초에서 최대 180초까지 가능하다. 항공기 정밀접근 수행 시에는 최소 12초에서 최대 120초까지 가능하다. 이상과 같은 조건하에서 Time-to-Alert을 만족시킬 수 있는 정보는 MT 2~6이므로, 지상 인프라에서 위성의 이상을 감지할 경우 해당 메시지를 신속하게 송출함으로써 사용자가 이상 위성을 측위에서 배제하도록 정보를 제공한다.

표 28 MT7 정확도 저하 메시지

Degradation factor Indicator	Time-Out Interval Fast Correction - Non Precision Approach (Seconds)	Time-Out Interval Fast Correction - Precision Approach (Seconds)
0	180	120
1	180	120
2	153	102
3	135	90
4	135	90
5	117	78
6	99	66
7	81	54
8	63	42
9	45	30
10	45	30
11	27	18
12	27	18
13	27	18
14	18	12
15	18	12

반면에 MT24, MT25의 보정정보의 최대 갱신주기는 2분이고, 유효시간은 5분이며 항공용에 응용할 경우에 유효시간은 4분이다.

이 때 빠르게 변화하는 오차 성분을 보정해주는 의사거리 보정정보는 FC(Fast Correction)이라 불리고, 천천히 변화하는 위성 궤도오차를 보정해주는 위성궤도 보정정보는 SC(Slow Correction), 또는 LTC(Long-Term Correction)이라고 불린다.

2. RTCM 보정정보 형식 및 내용

RTCM 보정메시지는 DGPS 서비스를 포함한 전 세계의 해양 DGNSS 서비스를 위하여 사용되는 프로토콜이다. 해양 서비스용으로 개발되었음에도 불구하고 저가의 수신기를 포함한 대다수의 상용 수신기에서 RTCM 보정정보를 지원하기 때문에 활용도가 매우 높은 메시지이다.

버전 2.x의 RTCM 메시지를 사용하여 DGPS 서비스를 이용하기 위해서는, ECEF좌표계에서의 기준국 3차원 위치를 사용자에게 송신하는 메시지 3번과 함께, 의사거리 보정정보(PRC)가 포함된 메시지 1번을 비롯한 추가적인 메시지를 수신하여야 한다. 아래의 표에는 RTCM SC-104 버전 2.x의 주요 보정정보 메시지를 나타내었다.

표 29 RTCM 보정정보 메시지 타입

Message Type no.	Message Name
1	Differential GPS Correction
2	Delta Differential GPS Correction
3	GPS Reference Station Parameters
4	Reference Station Datum
5	GPS Constellation Health
6	GPS Null Frame
7	DGPS Radiobeacon Almanac
8	Pseudolite Almanac
9	GPS Partial Correction Set
10	P-Code Differential Corrections
11	C/A-Code L1, L2 Delta Correction
12	Pseudolite (Pseudo-Satellite) Station Parameters
13	Ground Transmitter Parameters
14	GPS Time of Week
15	Ionospheric Delay Message
16	GPS Special Message
17	GPS Ephemerides
18	RTK(Real-Time Kinematic) Uncorrected Carrier Phase
19	RTK Uncorrected Pseudoranges
20	RTK Carrier Phase Corrections
21	RTK/high-Accuracy Pseudorange Correction
22	Extended Reference Station Parameters
23-30	Undefined
31	Differential GLONASS Corrections
32	Differential CLONASS Reference Station Parameters
33	GLONASSConstellation Health
34	GLONASS Partial Differential Correction Set of Null Frame
35	GLONASS Radiobeacon Almanac
36	GLONASS Special Message
37	GNAAG System Time Offset
38-58	Undefined
59	Proprietary Message
60-63	Multipurpose Usage

메시지는 30비트 워드 단위로 이루어져 있으며, 워드는 통신에러 검출을 위한 6비트의 Parity를 포함하고 있다. 각 보정메시지는 크게 header와 본체로 구성되며, header는 메시지 유형에 상관없는 공통 header와 메시지 유형에 따른 부가적인 정보를 제공하는 1워드의 header로 구성되어 있다. header에 뒤이어 각 메시지 별 핵심 성분을 포함하는 메시지 별 본체가 이어진다.

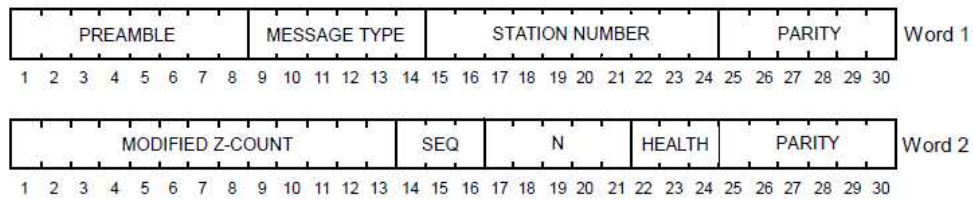


그림 62 RTCM 메시지 헤더

위 그림은 RTCM 버전 2.x 메시지의 헤더이다. 첫 번째 word에는 8bit의 Preamble이 포함되어 있고, 메시지 타입이 6bit로 표현되며 뒤이어 10bit의 기준국 정보가 제공된다. 두 번째 헤더의 첫 13bit는 Modified Z count로 메시지 기준 시각을 표시하며, 프레임 동기를 위한 sequence number 정보가 3bit로 제공된다. 뒤이어 메시지 word 수를 나타내는 N과 기준국이 정상적으로 작동되고 있는지에 대한 Health 정보가 3bit로 제공된다.

다음 그림은 RTCM 메시지 타입 1번의 구조이다. 가장 먼저 제공되는 정보인 1bit의 SF는 PRC와 RRC의 Scale Factor를 결정한다. 만약 SF가 0이라면 PRC는 $0.02m$, RRC는 $0.002m/s$ 의 Scale Factor를 가지며, SF가 1이라면, PRC는 $0.32m$, RRC는 $0.032m/s$ 의 Scale Factor를 가진다. 뒤이어 2bit로 표현되는 의사거리의 오차를 표현하는 UDRE와, 5bit의 위성번호, 16bit의 PRC, 8bit의 RRC 및 현재 유효한 IOD를 8bit로 함께 전송하여 위성 시계 및 궤도 정보를 제공한다. 메시지 1번은 모든 가시위성에 대해서 이러한 포맷을 반복하여 사용자에게 보정정보를 송신한다.

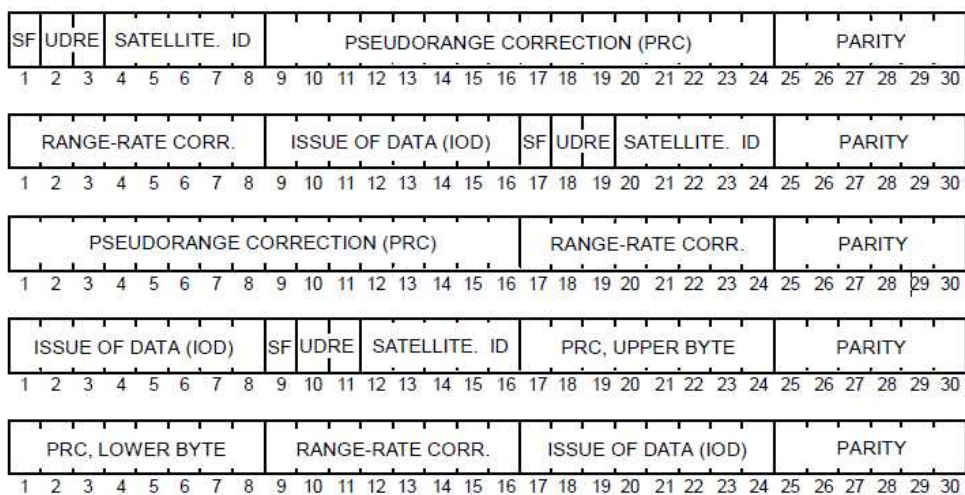


그림 63 RTCM Message Type 1 구조(word 3~7)

다음 그림은 RTCM 메시지 타입 3번의 구조이다. 메시지 타입 3번은 보정정보를 제공하는 기준국의 ECEF 3축 좌표 정보를 각각 32bit로 표현하여 제공한다.

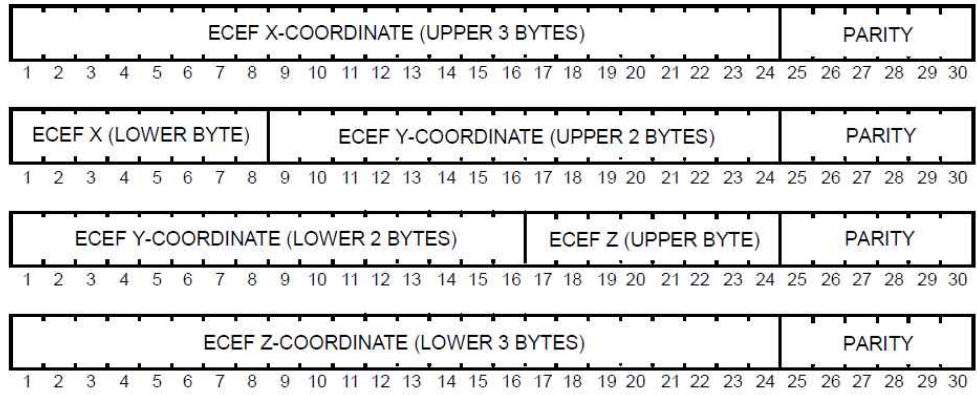


그림 64 RTCM Message Type 3 구조(word 3~6)

제 7 장 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		○
결정 사유	창의도전연구 공고 및 2차 평가접수 안내서 참조	

제 8 장 국가과학기술종합시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

해당사항 없음

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

1. 연구실 안전 조치 이행 계획

본 연구에서는 참여 연구원들이 컴퓨터를 이용한 프로그래밍과, 수신기 등 전자 장비와 차량 등 기계를 다루므로 관리위험등급 분류상 이화학실험을 수행하지 않는 전기, 설계, 컴퓨터 관련 실험실인 C등급에 속한다. 실험실의 책임자(정)는 연구책임자인 박병운 교수가, 안전관리자(부)는 신동현 학생이 맡고, 1단계의 점검은 매일 1회, 2/3단계는 연 1회씩 수행하도록 한다. 실험실의 등급상 정밀안전진단의 실시는 불필요하나, 본교의 관리자 시설과와 협의후 담당자가 필요하다고 판단시 정밀안전진단을 수행한다.

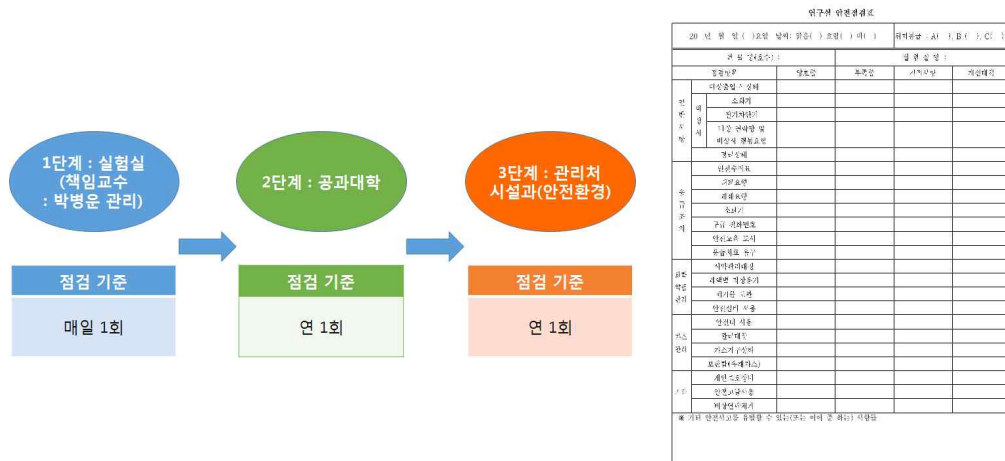


그림 65 안전 점검 실시 빈도(좌) 및 안전점검표(우)

실험실의 안전을 확보하고 종사자의 건강을 보호하여 실험 및 연구활동에 기여하기 위하여, ‘연구실 안전 환경 조성에 관한 법률’ 제 18조, 시행령 제 17조 및 시행규칙 제9조, ‘안전환경관리규정’ 제13조에 근거하여, 교수 1인과 학부생 2인, 외부연구원 1인 모두 환경안전교육을 의무적으로 수강한다.

정기 교육과정으로 상기 인원들은 모두 1차 집체식 안전교육을 수강하고, 2차로 온라인 연구실 안전교육을 통하여 사고 예방과 더불어 안전 사고 발생시 연구자들이 신속하게 처리하도록 능력을 배양한다. 집체식 안전 교육은 책자, 팜플릿, 동영상 등 다양한 방법으로 수행되고, 온라인 교육은 아래 그림과 같이 평가 문제 풀이를 통해 최종 수료증을 발급받는다.



그림 66 온라인 연구실 안전 교육 과정

온라인 안전 교육은 필수2+선택4 코스를 의무화하고 있는데 ‘연구실 사고대처’, ‘연구실 안전 보건’의 필수 2과목과 함께 본 연구의 특성에 적합하게 ‘전기적 위험과 안전’, ‘기계적 위험과 안전’, ‘소방설비 사용요령’, ‘화재시 행동요령’의 4과목을 선택하여 수강한다.

본 연구는 이러한 실험실내 안전보다도 2차년도에 주로 수행할 예정인 야외 테스트에서의 안전이 더욱 우선시되므로, 야외 실험에 대한 안전 대책을 수립한다. 우선 연구진이 드론 조종에 익숙해질 때까지 세종대 인근 나루터 등 인적이 드문 개활지에서 충분한 연습과 실험을 수행한다. 이후 SBAS 차폐 지역에서의 활용성 제시를 위해 건물 밀집 지역에서 테스트를 수행하여

야 하므로, 사람의 유동이 상대적으로 적은 야외 운동장에서 실험을 수행하되, 그 횟수를 최소화하고 FAA의 규정대로 LOS 확보 조건 하에서만 실시하도록 하였다.

또한 세종대학교 산학협력단은 아래와 같이 학부생, 대학원생, 교직원을 대상으로 아래와 같은 보상을 포함하는 보험을 가입하여 만약의 사태에 대비하고 있다.

보 상 내 용	대 상
상해사망, 후유장해(1급) : 1억원 부상 : 1천만원	학부생, 대학원생, 교직원

2. 연구실 정기 안전교육 이수

2016년 10월 및 2017년 6월 이수

2017. 6. 16,
연구실환경안전망


세종대학교
 SEJONG UNIVERSITY

안전교육 이수증명서

1. 교육생 정보

성명	박병준	학(사)번	615157	소속	항공우주공학전공
----	-----	-------	--------	----	----------

2. 안전교육 이수정보

번호	교육과정	과정명	이수일자	이수시간	이수번호
1	정기교육	2016년 2학기 연구실안전교육	2016.10.06	6	세종대학교_20161006_00290
2	정기교육	2017년 1학기 연구실안전교육	2017.06.16	6	세종대학교_20170616_00407
총 이수시간				12	

위와 같이 안전교육을 이수하였음을 증명합니다.

2017년 06월 16일

세종대학교 총장 (인)


그림 67 안전교육 이수증명서

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기 타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	Position Accuracy Improvement by Implementing the DGNSS-CP Algorithm in Smartphones	Sejong University	주저자	Sensors	2.033	2016.06.18	단독사사	SCIE
2	논문	드론의 저가형 GPS 수신기용 SBAS 보강 정보 전송 시스템 제안	Sejong University	주저자	한국 항행학회 논문지		2016.06.12	단독사사	
3	특허	위성기반보강 메시지를 이용하여 위치 측정 성능을 향상하는 장치 및 방법	세종대학교 산학협력단	발명자	대한민국		2017.06.09	단독사사	
4	기타	위성기반 위성항법 보강시스템 메시지 디코딩 툴	세종대학교 산학협력단	개발자	대한민국		2016.06.23	단독사사	

제 11 장 기타 사항

해당 사항 없음

제 12 장 참고 문헌

- 김수현, “아마존 드론의 좌절...美 FAA 드론 기준 ‘택배’ 는 안 된다.”, 조선일보, 2015. 02. 18., Available:http://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2015/02/17/2015021703046.html
- Jiyun Lee, “GPS-Based Aircraft Landing Systems with Enhanced Performance : Beyond Accuracy”, A doctoral dissertation, Graduate school of the Stanford University, March 2005
- 석효정, 박병운, “도심지역에서의 드론 운용을 위한 비행 고도별 SBAS 보강항법 가용 시간 예측”, 지적과 국토정보, 제46권, 제 1호, pp 133-148, 2016년 6월
- RTCA SC-159, Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, DO-229D, 2006
- 석효정, 드론의 운용 확대를 위한 저가형 GPS 수신기 정확도 향상 및 무결성 정보 생성 연구, 석사학위 논문, 세종대학교, 서울, 2016.
- B. W. Park, Comparison of the DGPS Performance by Various PRC Filtering Methods, M.S. dissertation, Seoul National University, Seoul, 2003.
- H. H. Park, A Study on the Ground Based Wide Area Differential GPS Implementation, Ph.D. dissertation, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 2014.
- Y. S. Yun, D. Y. Kim, C. S. Pyong, C. D. Kee, “Performance Analysis of Korean WADGPS Algorithms with NDGPS Data,” Proceedings of the 17th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2004), Long Beach, CA, pp. 1329-1339, September 2004.
- RTCM, Recommended Standards for Differential GNSS (Global Navigation Satellite System) Service, Version 2.3, RTCM Standard 10402.3, 2001.
- B. W. Park, A Study on Reducing Temporal and Spatial Decorrelation Effect in GNSS Augmentation System: Consideration of the Correction Message Standardization, Ph.D. dissertation, Seoul National University, Seoul, 2008.
- RTCA, Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, RTCA DO-229D, 2006.
- Jack, N. (2014) FAA: U.S. Airline Nearly Collided With Drone in March, The Wall Street Journal
- Drone Aviation Corp. (2014) Investor Presentation, 14p
- Bowery Capital. (2014) Opportunities In Vertical Software v1.0 Presentation, 15p
- 박종훈. (2014) 주간기술동향 - 2015년 드론 해금으로 상용 무인 항공기 시장 개화 전망, 20-28p 정보통신산업진흥원
- 박병운, 윤동환. (2014) 위성배치정보와 보정정보 맵핑 알고리즘을 이용한 저가형 GPS 수신기의 DGPS 서비스 적용 방안 연구, 한국항해항만학회지 제38권 제2호
- 국토교통부. (2012) MOF 보도자료 - DGNSS eLORAN : http://www.molit.go.kr/USR/mof_policyData/m_35302/dtl?id=230 [Accessed 29 April 2015].
- National Aeronautics and Space Administration. (2014) UNMANNED AERIAL SYSTEM(UAS) TRAFFIC MANAGEMENT(UTM), NASA Facts
- Transparency Market Research. (2015) Air Traffic Control Equipment Market to Benefit from Rising Demand from Asia Pacific, to Rise to US\$4,137.1 million by 2019, Trade Journals White Papers

- M.Kim et al, High Integrity GNSS Navigation and Safe Separation Distance to Support Local-Area UAV Networks, Proceedings of ION GNSS+ 2014, 2014
- Roberto Sabatini, et al, “Assessing GPS Integrity Augmentation Techniques in UAV Sense-and-Avoid Architectures” , 16th Australian Aerospace Congress, 23-24 February 2015, Melbourne
- RTCA SC-159, Minimum Aviation system Performance Standards for the Local Area Augmentation Systems, RTCA/DO-245A, Dec. 2004.
- 윤영선, 이은성, 허문범, 남기욱, “비항공용 SBAS 사용자를 위한 보호수준 결정”, 2015년 한국위성항법시스템학회 정기학술대회, 2015. 11
- Donghwan Yoon, Changdon Kee, Jiwon Seo and Byungwoon Park, Position Accuracy Improvement by Implementing the DGNSS-CP Algorithm in Smartphones, Sensors 2016, 16(6), 910; doi:10.3390/s16060910

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.