

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘골목길 내비게이션을 위한 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 단말 개발’(연구개발 기간 : 2015. 5. ~ 2016. 4.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2016. 7. 22.

주관연구기관명 : (주)지평스페이스 (대표자) 박 관 동
참여기관명 : (주)지평스페이스 (대표자) 박 관 동



주관연구기관책임자: 박 관 동
참여기관책임자: 박 관 동

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	15TBIP-C092658-01	해당 단계 연구 기간	2015.04.27.~ 2016.04.26	단계구분	1단계/1단계
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화지원사업			
	세부사업명	중소기업 보유기술 사업화 분야			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	골목길 내비게이션을 위한 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 단말 개발			
연구책임자	박 관 동	해당단계 참여 연구원 수	총: 9명 내부: 9명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부:230,000천원 기업:154,000천원 정부 외: 천원 계:384,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 9명 내부: 9명 외부: 명	총 연구개발비	정부:230,000천원 기업:154,000천원 정부 외: 천원 계:384,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)지평스페이스			참여기업명 (주)지평스페이스	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
요약				보고서 면수: 138	
- 골목길 환경에서의 GPS 기반 위치정확도 향상을 위한 요소기술 융합 S/W 개발					
- 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 시작품 개발					
- 사업화 전략 수립					

〈 요약 문 〉

연구의 목적 및 내용	○ GPS, GLONASS, BeiDou 통합 측위 기술, 다중경로오차 저감 기술, 위치보정정보 수신 음영지역을 위한 기술을 융합한 자료처리 S/W를 개발하고 이를 적용한 저가 GPS 모듈 기반의 단말기 시작품을 제작함으로써 GPS 위성신호의 수신이 어려운 좁은 골목길이나 고층건물이 밀집한 도심지역에서 ITS, LBS 등 다양한 목적으로 이용할 수 있도록 함 <u>골목길 환경에서의 GPS 기반 위치정확도 향상을 위한 요소기술 융합 S/W 개발</u> ○ GPS, GLONASS, BeiDou를 포함한 통합 GNSS 시스템 자료처리 S/W 구현 - GPS, GLONASS, BeiDou 통합 자료처리 S/W 구현 - 통합 GNSS 자료처리 시스템 라이브러리 제작 ○ 다중경로오차 저감 기술 적용을 통한 골목길 환경에서의 위치 정확도 향상 S/W 구현 - SNR 특성 기반 다중경로 오차 저감 기술 S/W 구현 - 통합 GNSS 자료처리 S/W에 해당 기술 융합 ○ 위치보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정을 위한 S/W 구현 - 위성 repeat time을 고려한 보정정보 모델링 기술 S/W 구현 - 위치보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정 기술 S/W 구현 - 통합 GNSS 자료처리 S/W에 해당 기술 융합 <u>저가 모듈 기반의 지능형 GPS 시작품 개발</u> ○ 시스템 검증을 위한 PC 기반 측위 기준수신기 개발 및 검증 - 정확도 검증 및 단말기 S/W 검증에 활용하기 위한 PC 기반 기준수신기 제작 - 평가용 개발 보드를 활용한 통신 모듈, 중앙처리장치, 저장장치, 측위결과 외부출력을 위한 디스플레이 구성 및 외장형 GPS 수신기 연동 - 관측환경 및 보정정보 수신환경에 따른 각 기능의 자동전환 기능 구현 ○ 위치정확도 1m 급 저가의 지능형 측위 시작품 개발 - 상용 네비게이션 및 스마트폰에 탑재된 OS를 활용한 통신모듈, GPS 모듈, 디스플레이, RS232 인터페이스 등 구성 및 시작품 보드 내 GPS 모듈 탑재 ○ 국내 테스트베드에서의 시작품 검증 - 관측환경이 좋은 개활지와 관측환경이 좋지 않은 골목길에서 정지 및 이동측위 테스트를 통한 개발 S/W 및 시작품 검증
------------------------	--

	<u>사업화 전략 수립</u> ○ 외부 및 내부 환경 분석 ○ 기술성 분석 ○ 시장 분석 ○ BM 분석 ○ 개발 기술의 국내 실수요처 분석 ○ 국내 실수요처 마케팅 계획 수립
연구개발성과	○ 골목길 환경에서의 GPS 기반 위치정확도 향상 소프트웨어 ○ 골목길 환경에 강건한 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 단말기 시작품 ○ 성과 지표 • 특허출원/등록 3건 • 개량특허 1건 • 논문게재 4건 • 소프트웨어 등록 4건 • 단말기 시작품 제작 1건 • 학술대회발표 2건
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<u>활용계획</u> ○ GPS 수신기능이 탑재된 단말기가 보편화되어 있고 꾸준히 시장이 확대되고 있는 추세이므로 본 연구결과에서 개발되는 제품의 활용성은 매우 클 것으로 예상됨 ○ 본 연구개발 과제로 개발된 기술은 골목길과 도심지 등에서 측위 정확도를 유지하는 것이 주요 기술이며, 이를 활용할 경우 주요 상가들이 밀집한 골목길 환경의 지역에서 보행자 길안내가 용이하여 유동인구 밀집 지역에서의 활용도가 클 것으로 예상되고 테헤란로와 같은 지역에서 내비게이션의 정상작동이 가능할 것으로 판단됨 ○ 주택가가 밀집한 좁은 골목길에서의 치안, 구조 및 구난 작업은 위치정보의 불확실성으로 인해 사고의 위험이 증가하고 피해가 확대되는 경향이 있음. 본 연구개발 과제의 성과물로 골목길 환경에서 위치 정확도가 확보될 경우 주택가에서 사고 지점을 정확하게 파악할 수 있으며, 여성과 아동, 노약자 등 사회적 약자를 위한 안전망 구축에 활용할 수 있음 <u>기대효과</u> ○ 차량 내비게이션 단말기에 탑재되는 전자지도의 정밀도가 높아짐에 따라 정확한 측위 기술의 필요성도 함께 높아지고 있는 수요를 반영하여 개발 기술을 통해 위치정보의 정확도를 개선함으로써 자동차 운전자의 편익을 증대할 수 있음

	○ 개활지에 비해 측위 오차가 크게 나타나는 도심지, 주택가 골목 등 GPS 위성신호의 수신에 어려운 지역에서 측위 오차를 줄임으로써 보행자 및 교통약자를 위한 길안내 기술의 발전에 기여할 수 있음 ○ ITS/C-ITS, 스마트카, 자율주행 등의 분야에서 차량 간 통신 또는 차량/기지국 간 통신을 통해 각종 정보를 교환하는 어플리케이션이 보급되는데 있어서 차량의 위치를 정확하게 확보할 수 있음 ○ 정밀 측위 기술이 보편화 되면 그에 따라 전자지도 구축 산업, GIS DB 구축산업, 교통정보 수집체계, ITS/C-ITS, 스마트카 등의 산업에서 기술 개발을 촉진시켜 산업 활성화 속도와 산업 규모 증대에 기여할 수 있음 ○ 또한 선박, 건설, GIS, 농업 등의 다양한 분야에서 정밀 측위 기술이 효과적으로 활용될 수 있어 관련 산업의 활성화에 크게 기여할 수 있음 ○ 본 기술은 특정 인프라에 종속되지 않고 측위 기술을 필요로 하는 보편적인 분야에 적용할 수 있으므로 국내뿐 아니라 해외시장의 다양한 수요에 적용할 수 있는 기술임 ○ 따라서 해외 시장에서도 경쟁력을 확보할 수 있고 국내 시장에서의 기술 적용 사례를 토대로 해외 시장에서 수익 창출을 기대할 수 있음				
핵심어 (5개 이내)	위성항법시스템	위성항법 보정시스템	내비게이션	멀티패스	신호세기

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents

- By developing GPS, GLONASS, BeiDou integrated positioning technology, multi-path error reduction technology and data processing S/W that combine techniques for shadow area of positional correction information reception and by producing a low-cost GPS module-based terminal prototype, it is able to use for a variety of purposes like ITS, LBS, etc. in narrow alley where GPS satellite signal's reception is difficult or urban area where high-rise buildings are dense.

Developing Fusion S/W of elemental technologies for improving the GPS-based position precision at alley

- Materializing Data processing S/W of integrated GNSS system, including GPS, GLONASS, BeiDou
 - Implementation of GPS, GLONASS, BeiDou integrated data processing S/W
 - Production of Integrated GNSS data processing system library
- Implementing S/W for improvement of position accuracy in alley through applying to technology for multi-path error reduction
 - Implementing multi-path error reduction technology S/W based on SNR characteristics
 - Corresponding technology fusion to the integrated GNSS data processing S/W
- S/W implementation for positional correction at the location correction information in reception shadow area
 - Implementation of Correction information modeling technology S/W considering satellite repeat time
 - Implementation of positional correction technology S/W in positional correction information's reception shadow area
 - The technology fusion to the integrated GNSS data processing S/W

Development of intelligent GPS prototype based low-cost module

- Development and validation of PC-based positioning reference receiver for the system verification
 - PC-based reference receiver production in order to make the verification of accuracy and terminal S/W
 - Communication module that utilizes the development board for evaluation, the central processing unit, storage device, display configuration and external GPS receiver's linkage for positioning result's external output
 - Implementing automatic switching function of each function in accordance to the observation and correction information's reception environment
- Developing low-cost intelligent GPS prototype of 1-meter level positional

	accuracy - Loading GPS module in prototype board and configuration of communication module, GPS module, display and RS232 interface, etc. utilizing OS in common navigation and smartphone. ○ Prototype verification at the domestic testbed - Verification of developing S/W and prototype through the stop and kinematic positioning test at open area where observation environment is good and alley where observation environment is not good <u>Business strategy establishment</u> ○ External and internal environment analysis ○ Technology analysis ○ Market analysis ○ BM analysis ○ Domestic actual demand analysis of the developing technology ○ Establishment of domestic demand marketing plan
Results	○ GPS-based position accuracy improvement Software in an alley ○ Robust low-cost module-based intelligent GPS terminal prototype in an alley ○ Performance Indicators • Three patent applications/registrations • One improvement patent • Four published theses • Four software registrations • One terminal prototype manufacture • Two conference announcements
Expected Contribution	<u>Application plan</u> ○ Because a terminal equipment had GPS receiving function becomes more common and the market is constantly being expanded, it is expected the utilization of the product developed in this study will be very large. ○ The technology developed in this study is the major technology to maintain the positioning accuracy in alley and downtown. If it is used, it is easy to show the way to pedestrians in an dense alley with main shopping streets. So, it is expected to make better use of in a populated areas, and it is possible to operate the navigation normally in the region such as Teheran-ro. ○ Public security, rescue and salvage operations in the narrow alleys crowded residential areas increases the risk of accidents due to the uncertainty of location information and the damage tends to be enlarged. In the case of to be ensured

location accuracy in an alley environment through this study's outcomes, it enables to pinpoint the accident point in residential areas and to use by building a safely net for the underprivileged such as women, children, and the elderly, ect.

Expected effects

- According to getting higher the precision of the electronic map on a vehicle navigation's terminal, the need for accurate positioning technology gets higher together. So, the developing skill can increase the convenience of the vehicle driver by reflecting the need and improving the accuracy of the location information.
- Downtown and residential alley appear larger positioning error than open space. Because it is difficult from receiving GPS satellite signal, by reducing the positioning error, it can contribute to the development of navigation technology for pedestrians and the mobility handicapped.
- In the fields of ITS/C-ITS, smart car, autonomous navigation, there is a wide-spread application to exchange various kinds of information via a vehicle and vehicle or a vehicle/base station communication, and it can be accurately secured in the position of the vehicle.
- Once the precise positioning technology is universal, it promotes accordingly the development of technology in an electronic map and GIS DB building industry, traffic information collection systems, ITS/C-ITS, and smart car industries, etc. So, it can contribute to the speed and increasing scale of the industry.
- Also, it can be utilized effectively in a variety of fields such as vessels, construction, GIS, agriculture, so it can contribute greatly to the activation of the related industry.
- The techniques can be applied to universal fields which require a positioning technology not dependent on a specific infrastructure. So, it is applicable to a variety of demands of foreign markets as well as domestic.
- Therefore, it can be more competitive in overseas market, and the revenue generation is expected in overseas markets on the basis of the applications of technology in the domestic market.

Keywords	GPS (Global Positioning System)	DGPS (Differential GPS)	Navigation	Multi-path	SNR (Signal strength)
-----------------	--	-------------------------------	------------	------------	-----------------------------

< CONTENTS >

Chapter 1 Overview of the research and development subject	1
Section 1 Necessity and objective of the R&D	1
Section 2 Scope and contents of the R&D	3
Section 3 Strategies and promotion plans of the R&D	5
1. Project strategies	5
2. Project plans	5
Chapter 2 Domestic and overseas status of technology developments	6
Section 1 Status of technology development	6
1. Status of integrated satellite navigation system for positioning technology developments	6
2. Trends of multi-path error reduction technology	10
3. DGNSS Services	14
Section 2 Domestic environmental changes and market conditions	18
1. Analysis of domestic and international market	18
2. Status of domestic and foreign companies	25
3. Overall conclusions	26
Chapter 3 Contents and result of the project	28
Section 1 Implement of S/W for integrated GNSS data processing	28
1. Integration of satellite navigation system	28
2. Method of data processing	31
3. Factor of the positioning error and correction method	34
4. Verification of positioning accuracy for S/W	36
Section 2 Implement of S/W for multipath error reduction	38
1. Weight of the existing model	38
2. HK model	39
3. Performance comparison of weight for each model	41
Section 3 Implementation of S/W for the position correction in reception shadow area of correction information	45
1. Algorithm for the parameters generation of correction information	45
2. Calculation of the satellite trajectory's repeat cycle	47
3. PRC modeling	51
4. Parameters	54
Section 4 Performance verification of developed technology in the domestic test bed	57
1. Building a test-bed	57
2. Accuracy evaluation of static positioning	59
3. Accuracy evaluation of kinematic positioning	60

4. Review hardware compatibility and applicability	62
Section 5 Development of intelligent GPS terminal based low-cost module	63
1. Development and validation of PC-based positioning reference receiver for system verification	64
2. Development of low-cost and intelligent positioning prototype device	67
3. Performance verification of the prototype device	71
Section 6 Establishment of commercialization strategy	96
1. Environment analysis	96
2. Technology analysis	103
3. Leading patent analysis	104
4. BM analysis	106
5. Actual demand analysis	108
6. Marketing plan for actual demand	111
Section 7 Commercialization plans and sales plans	112
1. Annual sales plan	112
2. Annual sales marketing strategy	114
3. Commercialization result	116
4. Commercialization plans and sales performance	116
Section 8 Result of R&D	117
1. 4 theses publications	117
2. 1 patent registration and 3 patent applications	118
3. 4 S/W registrations	119
4. 1 prototype device	120
5. 1 sales commitment	120
6. 2 conference presentations	121
7. Commercialization implementation performance	121
Chapter 4 Goals achievement and contribution in related fields	122
Chapter 5 Utilization plan of research results	125
Section 1 Utilization plan of R&D results	125
Section 2 Expected effects of R&D results	125
1. Technical aspects	126
2. Social and economic aspects	126
3. Political aspects	127
Chapter 6 Collected informations in R&D process regarding international science technology	129
Section 1 GPS/GLONASS/BDS integrated positioning	129
1. GPS ICD	129
2. GLONASS ICD	130

3. BDS ICD	130
Section 2 Multipath error reduction technology	130
1. Shadow-matching technique	130
2. Weight model	130
Section 3 Technique for position correction in reception shadow area	
of position correction information	131
1. Prediction technique of correction information	131
2. RTCM international standards	133
Chapter 7 The typical research performance of R&D project	134
Chapter 8 References	135
Appendix. Result report of technology commercialization consulting	

〈 목 차 〉

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 1 절 연구개발 필요성 및 목적	1
제 2 절 연구개발의 범위 및 내용	3
제 3 절 연구개발의 추진체계 및 추진계획	5
1. 연구개발 추진체계	5
2. 연구개발 추진계획	5
제 2 장 국내외 기술개발 현황	6
제 1 절 기술개발 현황	6
1. 통합위성항법시스템 측위 기술개발 현황	6
2. 다중경로오차 저감 기술 동향	10
3. DGNSS 서비스	14
제 2 절 국내 환경변화 및 시장 현황	18
1. 국내외 시장분석	18
2. 국내외 기업 현황	25
3. 종합결론	26
제 3 장 연구수행 내용 및 결과	28
제 1 절 통합 GNSS 자료처리 S/W 구현	28
1. 위성항법시스템 통합	28
2. 자료처리 방법	31
3. 측위오차 요소와 보정방법	34
4. 소프트웨어 측위 정확도 검증	36
제 2 절 다중경로오차 저감 S/W 구현	38
1. 가중치 기준 모델	38
2. HK 모델	39
3. 가중치 모델별 성능 비교	41
제 3 절 보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정 S/W 구현	45
1. 보정정보 매개변수 생성 알고리즘	45
2. 위성궤적 반복주기 계산	47
3. PRC 모델링	51
4. 매개변수	54
제 4 절 국내 테스트베드에서의 개발기술 성능 검증	57
1. 테스트베드 구축	57
2. 정지측위 정확도 평가	59
3. 이동측위 정확도 평가	60
4. 하드웨어 호환 및 적용 가능성 검토	62
제 5 절 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 단말 개발	63

1. 시스템 검증을 위한 PC 기반 측위 기준수신기 개발 및 검증	64
2. 저가의 지능형 측위 단말기 시작품 개발	67
3. 단말기 시작품 성능 검증	71
제 6 절 사업화 전략 수립	96
1. 환경 분석	96
2. 기술성 분석	103
3. 선행 특허 분석	104
4. BM 분석	106
5. 실수요처 분석	108
6. 실수요처 마케팅 계획	111
제 7 절 사업화 계획 및 매출 계획	112
1. 연도별 판매계획	112
2. 연도별 판매 마케팅 전략	114
3. 사업화 성과	116
4. 사업화 계획 및 매출 실적	116
제 8 절 연구개발성과	117
1. 논문 게재 4건	117
2. 특허 등록 1건 및 출원 3건	118
3. 소프트웨어 등록 4건	119
4. 시작품 제작 1건	120
5. 판매계약 1건	120
6. 학술대회 발표 2건	121
7. 사업화를 위한 이행 실적	121
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	122
제 5 장 연구결과의 활용계획	125
제 1 절 연구개발결과 활용계획	125
제 2 절 연구개발결과 기대효과	125
1. 기술적 측면	126
2. 사회·경제적 측면	126
3. 정책적 측면	127
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	129
제 1 절 GPS/GLONASS/BDS 통합측위	129
1. GPS ICD	129
2. GLONASS ICD	130
3. BDS ICD	130
제 2 절 다중경로오차 저감 기술	130
1. 그림자 맞춤 기법	130
2. 가중치 모델	130

제 3 절 위치보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정 기술	131
1. 보정정보 예측기술	131
2. RTCM 국제표준	133
제 7 장 연구개발과제의 대표적 연구실적	134
제 8 장 참고문헌	135
부록. 기술사업화컨설팅 결과보고서	

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 필요성 및 목적

GPS(Global Positioning System)를 이용한 위치정보는 개인, 기업 및 공공분야에 이르기까지 다양한 분야에서 활용되고 있다. 과거에는 단순한 위치확인 및 길안내 서비스에 국한되어 활용되었지만 최근에는 교통·항법 서비스, 물류·관제 서비스, 안전·구난 서비스, 엔터테인먼트 및 광고 서비스 등 점차 많은 분야에서 다양한 형태로 그 활용범위가 확대되고 있다. 특히 IT(Information Technology) 선진국인 국내의 경우 이동통신과 인터넷의 발달로 위치기반서비스(LBS, Location Based Service)에 대한 인프라가 잘 갖춰져 있기 때문에 위치기반서비스의 확산이 빠른 속도로 진행되고 있으며 이에 따라 위치기반서비스 사업자도 급격하게 증가하고 있다.

현재 대부분의 모바일 단말기에서는 위치정보를 수집하는 다양한 측위 기술 중에서 실외측 위에는 GPS로 대표되는 위성항법시스템(GNSS, Global Navigation Satellite System)을 이용하는 위성신호 기반의 측위 기술을, 그리고 실내측위에는 그 외의 기술들을 복합하여 위치정보를 수집할 수 있도록 하고 있다. 특히 실외측위를 위한 위성신호 기반의 측위 기술은 다른 측위 기술에 비해 정확도가 높고 별도의 인프라가 필요 없기 때문에 가장 대표적이고 널리 쓰이고 있다. GPS 위성신호를 수신하여 위치를 계산하는 GPS 수신 칩(chip)은 과거에는 주로 차량용 내비게이션에 장착되어 길안내를 목적으로 사용되었으나 최근에는 스마트폰, 태블릿 등을 비롯한 모바일 단말기에도 GPS 수신 기능이 거의 필수적으로 탑재되고 있다. GPS 기능이 탑재된 모바일 단말기의 보급이 확산됨에 따라 위치정보를 이용한 애플리케이션의 개발 및 활용도 증가하고 있는 추세이며, 동시에 위치정보의 정확성과 안정성에 대한 개선 요구도 함께 증가하고 있다.

이러한 모바일 단말기에 탑재되어 있는 저가형 GPS 수신 칩의 성능은 위성신호 수신환경이 좋을 때는 수 미터, 수신환경이 좋지 않을 때는 수십 미터 혹은 수백 미터까지 위치 오차가 발생한다. 특히 위치정보는 주택가와 도심지와 같은 유동인구 밀집지역에서 다양한 형태로 활용이 되는데 이러한 도심지에서는 GPS 위성신호를 차폐하는 장애요소들이 많아 위치정보의 정확도 확보가 어려운 실정이다. GPS의 경우 기술의 특성상 4개 이상의 위성신호를 수신해야 위치계산이 가능한데 도심지나 좁은 골목길과 같은 난수신환경에서는 위치결정에 필요한 4개 이상의 위성이 관측되지 않아 측위가 불가능한 상황도 발생하게 된다. 또한 이러한 가시위성의 확보 문제 이외에도 건물 등의 장애요소에 반사되어 수신되는 다중경로 신호는 위치정확도 저하에 큰 요인이 되며 도심지에서의 GPS 활용에 가장 큰 한계로 인식되고 있다. 특히 국내의 경우 타 국가들에 비해 좁은 골목길이나 고층 빌딩숲이 많기 때문에 어느 국가보다도 위성신

호의 수신에 취약한 환경에서 GPS의 한계를 극복할 수 있는 기술개발의 필요성이 절실하다.

이처럼 골목길 환경에서의 GPS의 한계를 극복하고 위치정확도를 향상시키기 위하여 다양한 측면에서 이를 해결하기 위한 방법들이 연구개발 및 활용되고 있다. 가장 기본적으로는 GPS 외에 GLONASS, BeiDou, Galileo 등 타 위성항법시스템을 함께 활용하여 통합위성항법시스템 체계를 이용하는 방법이 있다. 통합위성항법시스템을 이용할 경우 가시위성의 개수가 대폭 증가하기 때문에 골목길 환경에서의 가시위성 부족 문제를 일부 해소할 수 있다. GPS와 함께 위치결정에 활용할 수 있는 타 위성항법시스템으로는 러시아의 GLONASS(GLObal Navigation Satellite System), 유럽의 Galileo, 중국의 BDS(Beidou Navigation Satellite System) 등이 있으며 일본 자국에서의 활용을 위해 구축된 QZSS(Quasi-Zenith Satellite System) 등이 있다. GPS 위성 32기, GLONASS 위성 24기, Galileo 위성 4기, BDS 위성 14기가 운영되고 있으며 향후 Galileo 위성은 30기까지, 그리고 BDS 위성은 36기까지 발사할 예정이기 때문에 국내에서 관측할 수 있는 위성의 개수가 크게 증가하고 그 효과가 클 것으로 기대된다.

통합위성항법시스템을 활용하는 것 외에 골목길 환경에서의 위치 정확도 향상을 위한 방안으로는 위치를 산출하는 자료처리 기술 자체에 대한 성능 개선 방안이 있다. 난수신환경에서 가시위성의 개수를 확보하지 못할 경우 4개 미만의 관측자료를 기반으로 자료처리가 가능하도록 하기 위하여 칼만필터 기반, TDOA(Time Differential of Arrival) 기반 자료처리 기법 등을 활용할 수 있다. 또한 자료처리 과정 중에 다중경로 오차의 영향을 최소화 하고 정확도를 향상시키기 위하여 제약조건 및 가중치를 부여할 수 있으며, 필터 등을 사용하여 다중경로 신호를 분리하는 방법을 적용할 수도 있다. 또한 신호차폐요소인 건물 등의 3차원 공간정보의 활용을 통해 위치 정확도를 향상시키는 방법이 있으며, 다중경로 오차의 영향을 최소화 할 수 있도록 수신기 및 안테나를 제작하는 방안도 있다. 지금까지 언급한 다양한 기술들에 대한 기술개발 동향은 2장에 보다 상세히 기술하도록 한다.

앞서 설명한 통합위성항법시스템으로의 확대는 위성항법시스템 개발에 따라 점차 적용이 되고 있는 추세이지만, 이 밖에 소개한 다양한 기술들은 다양한 측면에서 연구개발이 진행되고 있을 뿐 일반 사용자들이 활용하는 단말기 등에 실제로 적용되고 있지는 않기 때문에 골목길 환경에서의 정확도 문제는 여전히 위치정보 활용에 큰 제약사항으로 작용하고 있다. 따라서 이 연구개발을 통해 세계 최초로 골목길 환경에서의 위치정확도 향상 기술을 개발하여 골목길 환경에서 GPS가 무용지물이 되는 문제를 해결하고자 하며 즉각적으로 사업화하여 현장에 적용할 수 있는 S/W 및 시작품을 개발하고자 한다.

제 2 절 연구개발의 범위 및 내용

이 연구개발의 최종 목표는 본사에서 보유하고 있는 GPS, GLONASS, BeiDou 통합 측위 기술, 다중경로 오차 저감 기술, 위치보정정보 수신 음영지역을 위한 기술 등을 융합하여 골목길이나 도심지와 같은 난수신환경에 강건한 측위 S/W를 개발하고 이를 적용한 저가 GPS 모듈 기반의 단말기 시작품을 제작하는 것이다. 이를 통해 GPS 위성신호의 수신에 어려운 좁은 골목길이나 고층건물이 밀집한 도심지역에서 ITS, LBS 등 다양한 목적으로 이용할 수 있는 위치정보를 확보할 수 있도록 한다.

이 연구개발의 범위 및 내용은 크게 융합 S/W 구현, 시작품 개발, 사업화 전략 수립, 이렇게 총 세 가지 파트로 구분할 수 있으며 이 중에서 핵심이 되는 융합 S/W는 GPS, GLONASS, BeiDou를 포함한 통합 GNSS 시스템 자료처리 S/W 구현, 다중경로 오차 저감 기술 적용을 통한 골목길 환경에서의 위치 정확도 향상 S/W 구현, 위치보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정을 위한 S/W 구현으로 구성된다. 이 연구개발의 세부내용은 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 골목길 환경에서의 GPS 기반 위치정확도 향상을 위한 요소기술 융합 S/W 개발

- GPS, GLONASS, BeiDou를 포함한 통합 GNSS 시스템 자료처리 S/W 구현
 - GPS, GLONASS, BeiDou 통합 자료처리 S/W 구현
 - 통합 GNSS 자료처리 시스템 라이브러리 제작
- 다중경로오차 저감 기술 적용을 통한 골목길 환경에서의 위치 정확도 향상 S/W 구현
 - SNR 특성 기반 다중경로 오차 저감 기술 S/W 구현
 - 통합 GNSS 자료처리 S/W에 해당 기술 융합
- 위치보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정을 위한 S/W 구현
 - 위성 repeat time을 고려한 보정정보 모델링 기술 S/W 구현
 - 위치보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정 기술 S/W 구현
 - 통합 GNSS 자료처리 S/W에 해당 기술 융합

2. 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 시작품 개발

- 시스템 검증을 위한 PC 기반 측위 기준수신기 개발 및 검증
 - 정확도 검증 및 단말기 S/W 검증에 활용하기 위한 검증용 PC 기반 기준 수신기 제작

- 평가용 개발 보드를 활용한 통신 모듈, 중앙처리장치, 저장장치, 측위결과 외부출력을 위한 디스플레이 구성 및 외장형 GPS 수신기 연동
 - 관측환경 및 보정정보 수신환경에 따른 각 기능의 자동전환 기능 구현
- 위치정확도 1m급 저가의 지능형 측위 시작품 개발
 - 상용 내비게이션 및 스마트폰에 탑재된 OS를 활용한 통신모듈, GPS 모듈, 디스플레이, RS232 인터페이스 등 구성 및 시작품 보드 내 GPS 모듈 탑재
 - 국내 테스트베드에서의 시작품 검증
 - 관측환경이 좋은 개활지와 관측환경이 좋지 않은 골목길에서 정지 및 이동측위 테스트를 통한 개발 S/W 및 시작품 검증

3. 사업화 전략 수립

- 환경 분석
 - 외부 환경 분석
 - 내부 환경 분석
 - SWOT 분석
- 기술성 분석
 - 기술성 분석
 - 특허 분석
 - 기술성 및 권리성 평가
- 시장 분석
 - 산업 및 시장 동향, 업체 동향
 - 정책 및 규제 동향
 - 시장성 및 사업성 분석
- BM 분석
 - 비즈니스 모델 수립
- 개발 기술의 국내 실수요처 분석
 - 실수요처 발굴전략의 수립
 - 예상수요처 발굴 및 실수요처 분석
- 국내 실수요처 마케팅 계획 수립

제 3 절 연구개발의 추진체계 및 추진계획

1. 연구개발 추진체계

주관연구기관인 (주)지평스페이스에서는 연구개발의 최종 목표를 달성하기 위한 충분한 기술력을 갖추고 있기 때문에 별도의 불필요한 공동 및 협동기관을 배제하였다. 다만 성공적인 사업화를 위하여 사업영역 및 경영상태 진단, 개발 기술의 실수요처 발굴, 국내 실수요처 마케팅 계획 수립 및 지원 등에 대한 컨설팅이 가능한 컨설팅 전문 업체와 협력체계를 구성하여 효율적으로 연구개발을 진행하였다.



그림 2. 연구기관 구성 및 추진체계

2. 연구개발 추진계획

구 분	(주)지평스페이스	(주)테크란
1차년도	- 골목길 환경에서의 GPS 기반 위치 정확도 향상을 위한 요소기술 융합 S/W 개발 - GPS/GLONASS/BeiDou 복합측위 S/W 구현 - 다중경로 오차 저감 기술 S/W 구현 - 위치보정정보 수신 음영지역에서의 측위 S/W 구현 - 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 시작품 개발 - 시스템 검증을 위한 PC 기반 측위 기준수신기 개발 및 검증 - 위치정확도 1m 급 지능형 프로토타입 단말 개발 - 국내 테스트베드에서의 시작품 검증	- 사업화 전략 수립 - 환경분석 - 시장분석 - 기술성 분석 - BM 분석 - 국내 예상수요처 분석 - 국내 실수요처 마케팅 계획 수립

제 2 장 국내외 기술개발 현황

이 장에서는 국내외 기술개발 현황에 대한 조사 결과를 기술하였으며 국내 환경변화 및 시장 현황에 대한 조사 분석을 통해 연구개발의 필요성을 파악하고 개발 방향을 도출하였다.

제 1 절 기술개발 현황

이 절에서는 본 연구개발과제의 과업 내용과 관련이 있는 기술들에 대한 국내외 기술개발 현황을 조사·분석하였다. 세부적으로는 GPS, GLONASS, BeiDou 등 통합위성항법시스템 측위 기술 개발 현황과 다중경로 오차 저감 기술 개발 현황, 그리고 DGPS 서비스 및 기술 개발 동향에 대해 정리하였다.

1. 통합위성항법시스템 측위 기술개발 현황

통합위성항법시스템 측위 기술의 개발 동향은 시스템의 운용 기간이 길었던 GPS(Global Positioning System)와 GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System)를 결합하는 분야의 연구개발이 2000년대 초반부터 수행되어 다수를 이루고 있으며, 비교적 운용 기간이 짧은 Galileo와 BDS(BeiDou System)를 활용한 연구개발은 최근 활발히 수행되어 뒤를 잇고 있다.

GLONASS의 경우 국내외 환경에서 GPS만 사용하는 것보다 GLONASS를 함께 사용하여 자료 획득률 및 측위 정확도가 향상됨을 확인한 연구가 다수 진행되었다. 이인수 등(2002)은 GPS만을 측위에 사용할 경우 도심지 등에서 가시위성이 부족한 단점을 보완하기 위해 GPS/GLONASS 결합항법시스템을 이용하여 차량의 동적위치를 결정하는 연구를 진행한 바 있다. 해당 연구는 차량의 동적위치를 구하기 위해 측량기를 이용하여 차량의 이동궤적을 구하고, GPS/GLONASS 결합항법시스템으로 구한 차량의 이동궤적과 차이를 계산하여 수치지도 작성 작업내규의 표준편차와 비교하여 정확도를 평가하였다. 연구 결과 GLONASS의 결합으로 관측 자료 획득률이 6.5-8.1% 상승했으며, 측위 정확도가 도심지역에서 2.5m, 평야지역에서 0.2m로 나타나 수치지도 허용오차에 근접할만큼 우수한 측위 성능을 나타냈다. 그러나 이 연구는 수신기에 내장된 RTK(Real-Time Kinematic) 기능을 활용한 실험논문에 해당되는 한계를 지닌다. 최근 이호석 등(2012)이 GPS/GLONASS 통합 이중차분 상대측위 알고리즘을 구현하고 그 효과를 검증하기 위해 시뮬레이션으로 신호차폐 상황을 재현하고 그림 2와 같이 GPS만을 이용했을 때보다

GPS와 GLONASS를 활용한 통합 이중차분 상대측위를 통해 측위 성능이 향상되는 것을 검증한 바 있다.

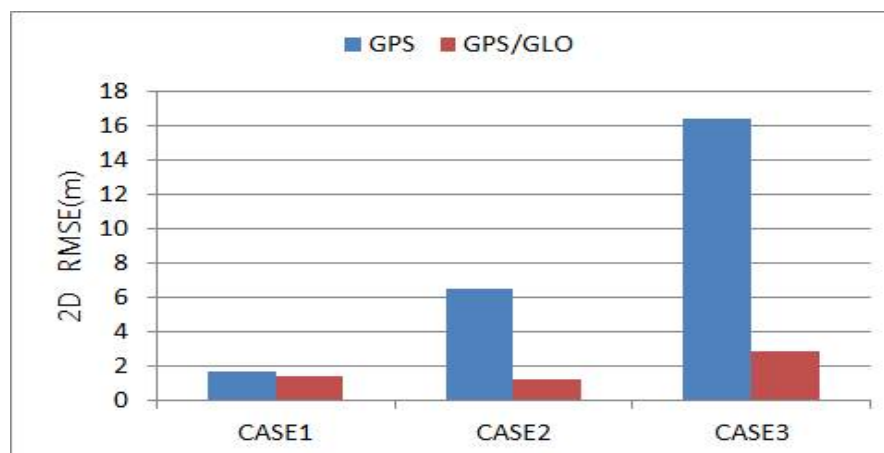


그림 3. RMS errors by case of signal blockage simulation(m)(이호석 등, 2010)

Galileo는 2013년에 4개의 위성이 정상운영됨에 따라 시뮬레이터를 이용한 연구개발이 국내외에서 주를 이루었다. 서기열 등(2014)은 Galileo의 E1 의사거리 보정정보 생성 알고리즘을 연구하였으며, GPS/Galileo 보정정보를 분석하고 측위 성능을 검증하였다. 그 결과 GPS/Galileo 통합측위 시 0.5m의 측위 오차가 나타났으며, 보정정보 적용 시 측위 오차가 1cm로 감소하는 것을 확인하여 RTCM에서 요구하는 RSIM 성능표준(85cm 이내)을 만족할 수 있는 측위 성능을 검증하였다. 하지만 이 연구는 실제 DGNSS(Differential Global Navigation Satellite System) 기준국 환경이 아닌 시뮬레이터를 이용한 결과이기 때문에 향후 Galileo 항법신호가 가용하게 될 경우 관측 데이터를 이용한 성능검증이 필요하다는 한계를 지닌다. 또한 Shengyue Ji 등(2010)은 도심환경에서 GPS/GLONASS/Galileo 통합 측위 시스템의 가용성과 가용범위, 지속성 등을 정의하고 자료처리 결과를 분석하는 연구를 진행하였다. 해당 연구에서는 자체적으로 홍콩의 실제 3차원 건물 정보에 기반한 가상의 도시를 모델링하여 홍콩 도심에서의 측위 성능을 분석하고 평가하였다. 표 1과 같이 주요 도로(Major Road), 세부 도로(Minor Road), 인접 지역(Conjunction Area) 등 3개 영역으로 구분하여 GNSS 시스템을 조합하여 가용성을 분석하였으며, 그 결과 GPS와 GLONASS, Galileo를 모두 활용하였을 때 주요 도로와 인접 지역에서 가용성이 매우 뛰어난 것을 확인하였다.

표 1. Availability in different urban environment(Shengyue Ji, 2010)

	GPS	GPS+ GLONASS	GPS+ Galileo	GPS+ GLONASS + Galileo
Major Road	1%	6%	17%	44%
Minor Road	1%	1%	1%	3%
Conjunction Area	5%	28%	63%	84%

BDS는 2012년에 시스템이 정상화됨에 따라 최근 국내외에서 GPS, GLONASS 등과 통합하는 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 태현우 등(2015)은 개활지 환경과 난수신 환경에서 GPS/GLONASS/BDS를 각각 단독 측위한 것과 통합 측위한 것의 측위 정확도를 비교하였다. 개활지 환경에서의 측위 결과, 표 2와 같이 세 개의 시스템을 통합하여 측위한 것이 수평 1.16m, 수직 1.95m, 3차원 2.27m의 오차가 발생하여 GPS, GLONASS, BDS를 각각 사용하여 측위한 것보다 높은 측위 성능을 보였다.

표 2. Comparison of positioning errors of single systems and integrated system in open land environment(m)(태현우 등, 2015)

	GPS	GLONASS	BDS	GPS+ GLONASS + BDS
Horizontal	1.39	2.51	2.55	1.16
Vertical	1.84	2.75	5.12	1.95
3-D	2.31	5.12	5.72	2.27

난수신 환경에서의 측위 결과 또한 통합 측위시 가장 높은 측위 성능을 나타냈으며 특히 난수신 환경에서 GPS의 관측률은 66%, GLONASS의 관측률은 47%, BDS의 관측률은 33%를 나타냈으나 통합측위 시에는 관측률이 100%를 나타내어 통합 측위를 함으로써 난수신 환경에서의 가시위성 확보에 유리함을 확인한 연구를 수행하였다(그림 3).

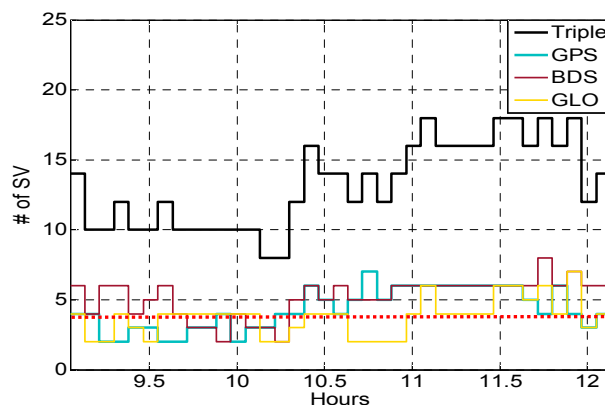


그림 4. Number of visible satellite in poor reception environment(태현우 등, 2015)

Tegedor 등(2014)은 GPS와 GLONASS, Galileo, 그리고 BDS까지 4개 시스템을 이용한 측위 및 정밀 궤도 결정에 관한 연구를 수행하였다. 연구를 위해 IGS(International GNSS Service) Multi-GNSS Experiment(MGEX) network 내에서 Galileo 및 BDS 데이터의 수신에 가능한 4개의 관측소(그림 4)의 자료를 처리하였으며 각 시스템 간의 조합

별 측위 결과 및 가용성을 그림 5와 같이 비교 분석하였다. 해당 연구에서 자체적으로 제시한 모델을 통해 정밀도 약 10cm 이내의 궤도 정보를 산출할 수 있었으며, 이를 기반으로 통합 측위를 수행한 결과 GPS만 사용한 단독 측위에 비하여 통합 측위 시 성능이 향상됨을 확인하였다.

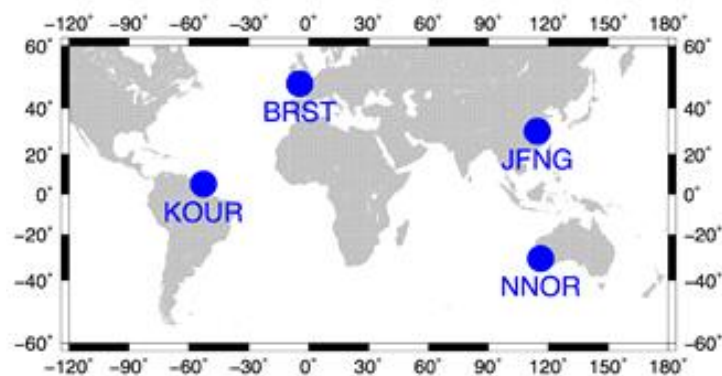


그림 5. MGEX stations selected for multi-GNSS PPP(Tegedor, 2014)

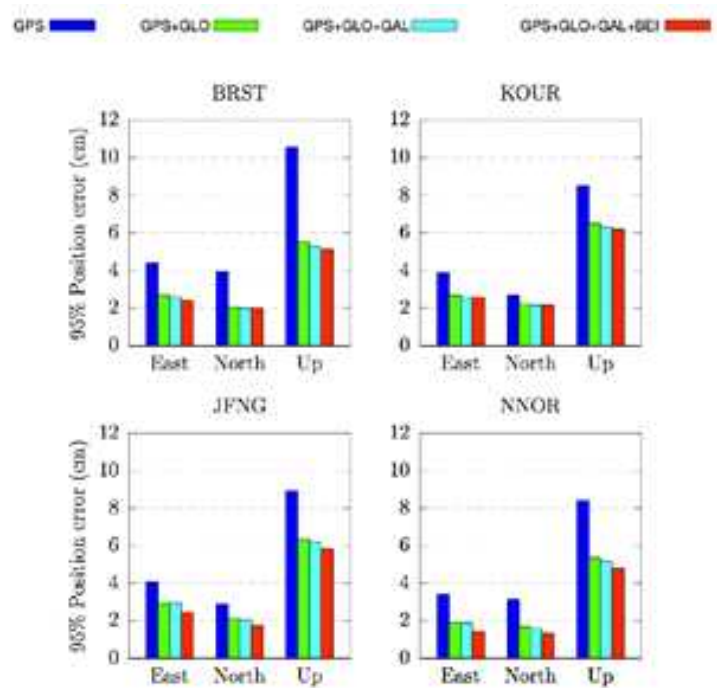


그림 6. Multi-constellation kinematic positioning statistics for several stations in MGEX(Tegedor, 2014)

이와 같이 세계 각국에서는 GPS의 뒤를 이어 자체적인 위성항법시스템을 구축 및 개발하고 있으며, 국내외에서는 이를 활용한 다양한 연구개발이 수행되고 있다. 대부분의

연구에서 GPS와 다른 시스템을 결합하였을 때의 측위 성능을 분석하였으며, 그 결과 시스템 통합시 가시위성이 증가하여 시스템의 가용성 또한 증가함을 분석하였다. 통합 측위는 개활지 환경에서도 측위 성능의 향상을 가져오지만 특히 도심 환경과 같이 위성이 차폐되는 환경에서 GPS 단일 시스템 측위에 비해 매우 우수한 성능이 구현되었다. 이에 본 연구개발에서는 골목길과 같은 난수신 환경에서 높은 측위 성능을 구현하기 위해 GPS, GLONASS, BDS를 통합하여 위치를 결정하는 알고리즘을 구현하였다.

2. 다중경로오차 저감 기술 동향

다중경로 신호는 위성으로부터 송신되는 위성신호가 한 개의 경로 이외에 여러 경로를 거쳐서 수신되는 신호를 의미하며 주로 수신기 인근의 지표면 또는 장애요소 등에 의해 반사되는 신호에 의해 발생한다(Hofmann-Wellenhof et al., 2008). Elosegui et al.(1995)에 의하면 이러한 다중경로 신호는 여러 가지 요인들에 의해 반사(reflection), 회절(diffraction), 산란(scattering)되는 신호들을 모두 포함한다. 좁은 골목길이나 도심지와 같이 신호차폐요소가 많은 환경에서는 그림 6과 같이 다중경로 신호가 빈번하게 발생하게 되며 이는 오차 요인으로 작용한다.

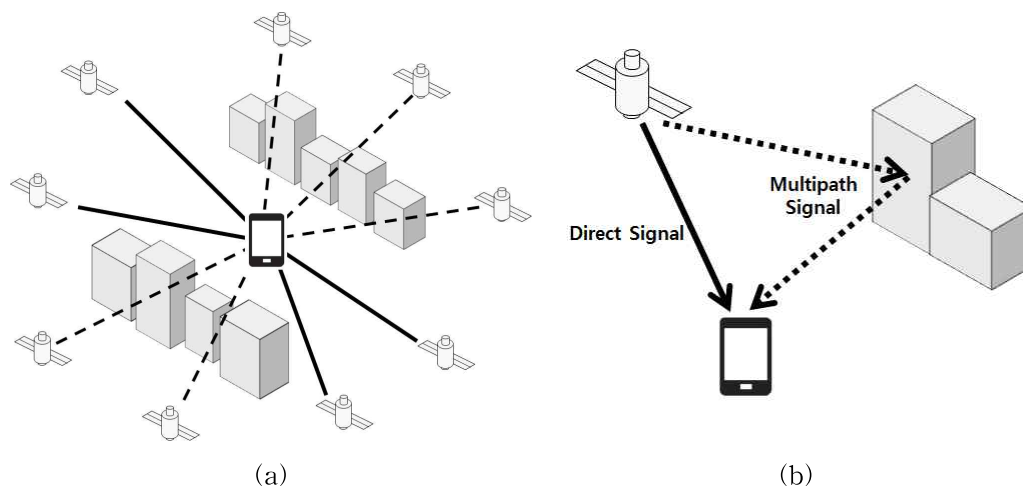


그림 7. 난수신환경에서의 신호차폐 현상(a)과 다중경로 오차 발생 현상(b)(김혜인, 2015)

다중경로 신호에 의한 오차는 측점 인근의 환경에 의해 발생하는 국지적인 현상이기 때문에 DGPS와 같은 상대측위 방법을 통해서도 제거할 수 없으며 GPS 주요 오차요인들을 모델링한 후에는 가장 큰 오차요인으로 작용하기 때문에 위치 정확도에 큰 영향을 미친다. 다중경로 오차를 감소시키기 위한 기법으로는 안테나에서 다중경로 신호를 차단하는 기법, 칼만필터나 ML(Maximum Likelihood) 등을 이용한 신호 추정기법, 기존 상

관기 구조의 변경기법으로 구분할 수 있다(신미영 등, 2007; Phelts, 2001). 안테나를 이용한 기법은 다중경로 신호의 고도각이 낮은 특성이나 편파(polarization)특성을 이용하기 때문에 난수신환경과 같이 높은 고도각을 가지는 다중경로 신호는 효과적으로 차단할 수 없다는 단점이 있다(Parkinson and Spilker, 1996). 신호 추정기법은 장시간 관측 자료와 현재 관측된 자료를 비교함으로써 다중경로 신호의 변화특성, 지연시간, 관측자료 등을 추정하여 오차를 계산하는 방법으로 오차를 제거하는 효과는 있으나 계산 효율성이 떨어지고 장시간 관측 자료가 필요하다는 단점이 존재한다(Requet, 2002). 마지막으로 기존의 상관기 구조를 변경하는 방법은 긴 지연시간을 갖는 다중경로 오차는 효과적으로 제거할 수 있으나 짧은 지연시간을 갖는 다중경로 오차에 대해서는 성능이 떨어진다고(Van Dierendonck and Braasch, 1997).

이처럼 다중경로 오차 저감을 위하여 안테나 설계와 관련한 연구를 비롯하여 다양한 알고리즘들에 대한 연구가 진행되어 왔으며, 도심환경에서의 실시간 측위시 이러한 기술들을 기반으로 다중경로 오차를 감쇄시키기 위해서는 장비의 크기, 비용, 자료처리 시간 등의 제약조건을 고려하여 기술을 개발 및 적용해야 한다. 그 예로 신미영 등(2007)은 가중 상관기 구조를 소프트웨어 기반 GPS 수신 장비에 설계하여 난수신환경이나 해양 환경, 또는 DGPS 기준국용 수신기에 적용하고자 하였다. 해당 연구에 따르면 일반 상관기를 사용한 경우 의사거리 오차가 350m까지 발생하는 반면 협대역 상관기를 이용한 경우 80m 이내로 향상되었고 가중 상관기를 사용한 경우 협대역 상관기보다 더 향상된 성능을 갖는 것을 확인한 바 있다. 이처럼 해당 기술의 적용을 통해 다중경로 오차를 저감시켜 측위 성능이 향상되는 것은 확인하였지만 이 연구개발과제에서 목표로 하고 있는 일반 사용자들을 위한 골목길 내비게이션 등의 서비스 등에 활용하기에는 성능이 매우 낮은 수준이다.

다중경로오차 저감을 위한 또 다른 기술로는 자료처리 과정에 가중치 모델을 적용하는 방법이 있다. 위치결정을 위한 자료처리 시 정상적으로 수신되는 신호에 비해 다중경로 신호에 대해 가중치를 낮게 부여함으로써 다중경로 신호가 자료처리에 미치는 영향을 최소화하는 것이다. 다중경로 신호로 인한 GNSS 위성신호의 품질을 판단하기 위한 지표로(index)는 SNR(Signal to Noise Ratio), 고도각(elevation angle) 등을 사용할 수 있다. 관측 자료의 사용 여부를 결정하는 기준으로 사용하기도 하고 자료처리 과정에서 SNR이나 고도각을 기반으로 잡음의 분산 또는 가중치를 부여함으로써 자료처리의 정확도와 신뢰성을 높이기도 한다. 가중치 모델은 기본적으로 위성 고도각 기반의 Elevation 모델, 그리고 SNR 기반의 Exponential 모델, Sigma 모델 등이 있으며, 이러한 기본 모델들을 변형시키거나 조합하여 다양한 형태의 가중치 모델들을 만들어 사용하고 있다. Hartinger and Brunner(1999)는 Sigma- ϵ 를 소개하였으며, 이후 고도각에 따른 SNR 예

상치를 이용한 template function을 적용한 Sigma- Δ 모델을 개발하였다. Wieser and Brunner(2000) 등은 Sigma 모델의 한계를 파악하고 Danish Method를 이용한 extended Sigma 모델을 개발하고 그 정확도를 평가하였다. Li and Wu(2009)는 exponential 모델식에 사용되는 파라미터들을 변화시켜가면서 위치 정확도를 분석하여 Sigma 모델과 비교하는 연구를 수행하였으며, Tay and Marais(2013)은 SNR과 고도각을 동시에 고려하는 가중치 모델을 제안하고 도심환경에서의 정확도를 평가하였다.

기존에 여러 연구들을 통해 제시된 가중치 모델들은 수식의 형태와 파라미터에 따라 가중치를 부여하는 방식이 조금씩 상이하기는 하지만, 공통적으로 일반적인 고도각 또는 SNR의 변화경향에 따라 가중치를 부여하는 방식이다. 따라서 일반적인 고도각 및 SNR 변화경향을 나타내는 개활지 환경(open sky)에 적용하기에는 문제가 없으나 난수신환경과 같이 다중경로 신호가 많이 수신되어 고도각 및 SNR의 변화경향이 일반적이지 않고 변칙적으로 나타나는 환경에서는 효용성이 낮을 수 있다. 예를 들어 난수신환경에서는 고도각 또는 SNR이 높은 위성신호임에도 불구하고 다중경로 신호일 수 있기 때문이다. 따라서 보다 효율적으로 가중치를 부여하기 위해서는 위성으로부터 직접 수신되는 신호(direct signal)와 다중경로 신호를 구분하여 가중치를 부여할 필요가 있다. 김혜인(2015)은 수신기종별, 관측환경별 SNR의 특성과 재현성(repeatability) 분석 결과를 기반으로 난수신환경에서의 효과가 큰 새로운 가중치 모델인 HK 모델을 개발하였으며, 이 모델을 통해 직선경로 신호와 다중경로 신호를 구분하고 각 신호특성에 적합한 가중치를 부여할 수 있도록 하였다.

이 밖에도 다중경로오차 저감을 위해 건물과 같은 주변의 신호차폐요소의 3차원 공간 정보를 추가로 활용하는 방안이 있으며 이와 관련한 국내외 관련 연구동향은 다음과 같다. 유경호 등(2007)과 김혜인(2009)은 3차원 건물 모델을 기반으로 통합측위 가시성과 정밀도 저하율 등을 분석함으로써 향후 통합측위가 가능할 경우의 도심에서의 가시위성의 개수, 정밀도 저하율 등을 분석하였다. 서용철과 이양원(2007)과 Suh and Shibasaki(2007)은 3차원 GIS(Global Information System) 모델과 위성궤도모델을 조합하여 다중경로 신호를 반영한 시뮬레이션 프로그램을 만들고 일본의 특정지역을 대상으로 통합측위에 관한 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 또한 UCL(University College London) 연구팀의 Groves(2011)는 3차원 건물 정보를 이용하여 위치결정 정확도를 향상시키는 방법으로 그림자맞춤(Shadow Matching) 기법을 제안한 바 있으며, 이후 이 기법은 Groves et al.(2012a, 2012b)와 Wang et al.(2012a, 2012b, 2013)에 의해 개선되어 왔다. 그림자맞춤 기법은 GNSS 자료처리 알고리즘 자체에 관한 내용은 아니며, 그림 7에 나타낸 바와 같이 도심환경에서 부정확하게 결정된 위치좌표를 초기값으로 3차원 건물 모델 기반의 가시성 분석 결과를 이용한 확률통계학적 분석을 통해 위치 정확도를 향상

시키는 것이다. 가장 최근에는 Wang(2014)이 그림자맞춤 방법에 다양한 필터를 적용하여 이동측위 테스트를 진행하였으며 그 결과 GNSS 초기값 11.3m에서 최대 2.4m까지 향상되는 것을 확인하였다. 또한 스마트폰에 이 알고리즘을 구현 및 탑재하여 테스트를 수행한 바 있다.

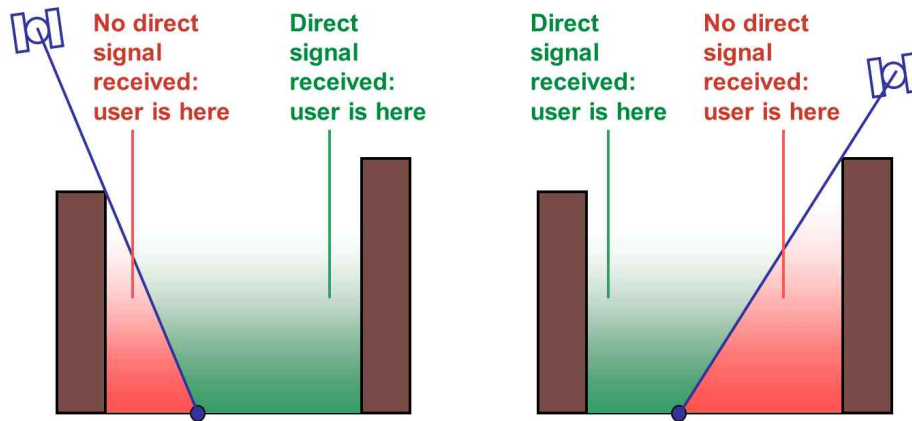


그림 8. 그림자맞춤 기법 원리(Groves, 2011)

김혜인(2015)은 기존의 그림자 맞춤 기법에서 초기좌표 산출 방법, 득점지도 계산 방식, 후보 검색지역의 검색범위 및 격자간격 설정 방식을 개선하여 좌표추정 정확도를 향상시켰다. 그러나 이러한 3차원 공간정보를 부가적으로 이용하는 방법의 경우 3차원 공간정보의 확보 문제와 방대한 데이터량의 문제로 일반 사용자를 위한 단말기에 당장 적용하기에는 무리가 있는 실정이다.

위의 연구동향에서 살펴보았듯이 국내외에서는 다중경로 오차의 영향을 최소화하여 위치 정확도를 높일 수 있는 다양한 연구들이 꾸준히 진행되어 왔다. GPS 칩 제조사를 비롯한 관련 업계에서는 구체적으로 자사의 기술을 공개하고 있지는 않지만 난수신환경에서의 위치 정확도 향상을 위한 다양한 기술들을 자체적으로 개발하여 적용하고 있지만 그 효과가 크지 않다. 또한 앞서 소개한 다양한 연구결과들에 대한 검증 및 적용이 이루어지지 않고 있다. 따라서 위성신호 취약환경에서의 측위 정확도에 대한 문제는 여전히 난제로 남아있는 실정이다. 이 연구에서는 국내외에서 수행되었던 다양한 연구결과들을 토대로 난수신환경에서 위치정확도를 높일 수 있는 다중경로 오차 저감 S/W를 구현하고 이를 적용한 시작품을 개발하였다.

3. DGNSS 서비스

가. DGPS 서비스 현황

코드신호기반의 의사거리 보정정보를 이용한 DGPS (Differential GPS) 측위 기법은 실시간으로 서브 미터에서 수 미터 수준의 정확도를 산출할 수 있어 육상, 해상, 항공의 교통 서비스, 측량, 물류 등 다양한 분야에 사용되고 있다. 그래서 기술 선진 국가들은 DGPS를 기반으로 한 서비스를 운영하고 있다.

(1) 국외 현황

대부분의 기술 선진국들은 DGPS를 기반으로 한 서비스를 운영하고 있다. 대표적으로 미국의 경우에는 해안경비대(US Coast Guard)에서 1999년 3월부터 서비스를 시작하여 중파의 무선표지(radio beacon) 시설을 이용하여 항행중인 선박이나 항공기 등에 제공하고 있다. 현재는 미국 본토, 5대호 주변, 알래스카, 하와이, 푸에토리코, 미시시피강 연안 등에 분포한 83개소 DGPS 기준국을 이용하여 DGPS 서비스를 제공하고 있다. 캐나다도 해안경비대에서 태평양과 대서양 연안지역에 20개 GPS 기준국을 운영하고 있으며 이를 기반으로 DGPS 네트워크를 구축하여 DGPS 서비스 운영하고 있다. 측위정확도는 NAD83좌표계를 기준으로 10미터 수준으로 나타난다. 일본은 해상보안청에서 전국에 설치되어 있는 27개의 기준국을 이용하여 DGPS 서비스를 제공하고 있다. 중파의 무선신호를 이용하여 해상 200km까지 제공함으로써 해상연안 선박들이 이용한다.

표 3. 국가별 DGPS 서비스 현황

국가	DGPS 서비스 현황
미국	해안경비대(US Coast Guard)에서 미국 전역에 설치한 83개소의 DGPS 기준국을 이용하여 DGPS 서비스 제공
캐나다	해안경비대(Canadian Coast Guard)에서 연안지역에 20개 기준국을 기반으로 DGPS 네트워크를 구축하여 DGPS 서비스 운영
스위스	SWIPOS(Swiss Positioning Service)에서 전 국토를 커버하는 30개의 기준국을 기반으로 사용자에게 유·무료 서비스를 통해 DGPS 보정정보 제공
독일	약 300개 이상의 기준국으로 구성된 네트워크를 통해 DGPS, RTK, 네트워크 RTK 등 다양한 서비스 제공
스웨덴	SWEPOS에서 총 21개 기준국을 이용하여 DGPS 서비스 제공
일본	해상보안청(Japan Coast Guard)에서 전국에 설치되어 있는 27개의 기준국을 이용하여 DGPS 서비스 제공

국가별 DGPS 서비스는 각 나라별 지형, 기반시설 등에 맞게 보정정보를 전송하는 매체가 상이하다. 해양분야의 경우에는 국제해사기구 (International Maritime Organization, IMO), 국제항로표지협회 (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, IALA)와 같은 국제기구에서 GPS 운영장비 성능, DGNSS 표준화 등에 대해 규정하고 있다. 보정정보 전송에 대해 DGNSS 해상 무선비콘 수신기는 ITU-R M.823에 따라서 1지역에서는 283.5~315 KHz 대역, 2지역과 3지역에서는 285~325 KHz로 운영되는 것을 포함하는 기본적인 구성과 성능표준안을 규정하고 있다.

해양분야의 사용자가 많은 일본, 미국, 캐나다, 인도는 비콘을 공통으로 이용하고 있고, 추가적으로 FM DARC(Data Radio Channel), NTRIP 등을 이용하고 있다. 내륙 사용자가 많은 독일은 GSM(Global System for Mobile Communication)과 NTRIP, 스위스는 CSD(Circuit Switched Data)와 GPRS(General Packet Radio Service)를 이용하고 있으며 스웨덴은 RDS(Radio Data System)와 FM DARC를 이용하고 있다. DGPS를 서비스를 제공하는 대표적인 국가들의 전송매체를 요약하면 다음과 같다.

표 4. 국가별 DGPS 서비스 전송매체

국가	DGPS 서비스 전송매체	비고
일본	비콘, FM DARC	연안 포함한 국가
미국	비콘	
캐나다	비콘	
인도	비콘	
독일	GSM, NTRIP	내륙 국가
스위스	CSD, GPRS	
스웨덴	RDS, FM DARC	

(2) 국내 현황

국내에서는 해양수산부 산하 국립해양측위정보원에서 우리나라 해상연안을 항해하는 선박의 안전을 위하여 1995년 5월부터 서비스를 시작하여 현재는 해안가와 내륙에 총 27개의 기준국 및 감시국을 구축 및 운영하고 있다. DGPS 서비스는 국제해사기구 및 국제항로표지협회의 권고사항에 따라 우리나라 인근연안 및 항만 등에 운항하는 선박뿐만 아니라 육상 사용자들에게도 제공되고 있다. 서비스 범위는 해상의 경우 약 185km, 육상의 경우 약 80km까지 이용 가능하다. DGPS 보정정보는 중파기반의 비콘, 인터넷 기반의 NTRIP을 통해 전파되고 있다. 그리고 최근에는 2012년 인하대학교에서 개발한 ‘지상파 DMB 기반 DGPS 서비스 광역화 및 상용화 기술’을 통해 추가적으로 지상파 DMB를 기반으로 보정정보를 전송하고 있다.



그림 9. 국내 NDGPS 서비스

(3) 한계점

사용자 단말기에서 DGPS를 이용하여 정확한 좌표를 산출 및 유지하기 위해서는 전송 매체를 통해 보정정보를 끊임없이 지속적으로 수신해야한다. 그러나 비콘, LTE 등의 무선통신망, 인터넷, DMB 등의 전송매체에 따라 통신장애나 두절, 수신 음영지역이 발생하는 경우에는 위치 정확도가 크게 저하된다. 특히 도심지와 같이 고층건물이 밀집되어 있는 지역이나 산간지역은 GNSS 관측자료 뿐만 아니라 보정정보도 수신하기 어려운 상황이 발생할 수 있다. 상황에 따라 수 초에서 수 시간까지 보정정보를 수신할 수 없는 상태에서 사용자의 위치오차는 증가하게 된다. 그림 9와 10은 무선 통신사별 서비스범위와 DMB 서비스 영역을 나타낸 것으로써 서비스제한지역이 있음을 보여준다.

향상된 위치정확도를 유지하기 위해서는 통신음영 지역이나 서비스 범위를 벗어난 지역에서도 보정정보를 수신 또는 생성하는 보완책이 필요하다. 더불어 정보통신의 급속한 발달과 다양한 전송매체를 통한 정보전달 기술이 발전하고 있는 상황에서 중파 방송(비콘) 뿐만 아니라 더욱 다양한 통신기술을 혼용하여 다중 위성항법 시스템의 보정정보를 방송하는 방법이 모색되어야 한다.

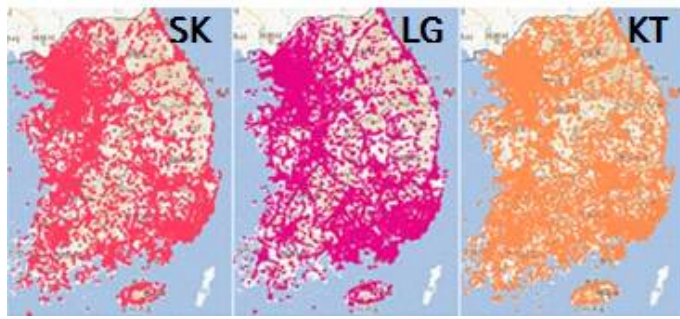


그림 10. LTE 서비스 범위

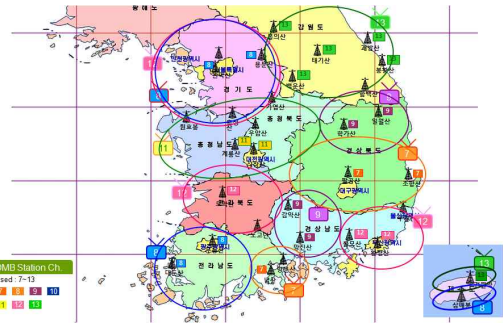


그림 11. DMB 서비스 범위

나. 다중 위성항법 보정정보 메시지

DGPS에 사용되는 보정정보는 RTCM SC-104 (Radio Technical Commission for Maritime Services, Special Committee 104)의 포맷형식에 따라 MSK (Minimum Shift Keying) 변조 방법으로 중파(283.5~325 KHz)를 방송하여 일반 수신기 사용자들에게 제공된다. 방송되는 메시지는 200Bps 속도로 RTCM SC-104 형식에 맞게 전송된다. 현재 한국에서 서비스 중인 RTCM 2.3 메시지에는 DGPS 보정정보가 1번 메시지에 기록되어 있고 DGLONASS 보정정보가 31번 메시지에 기록되어 있다.

표 5. RTCM 2.3기반 메시지타입

메시지 타입	설명
1	Differential GPS Corrections
2	Delta Differential GPS Corrections
...	...
31	Differential GLONASS Corrections
32	Differential GLONASS Reference Station
...	...

그러나 RTCM 2.3 메시지에는 GPS와 GLONASS 정보만 수록되어 있어 그 외 위성항법 시스템에 대한 정보는 제공할 수 없다. 최근 다중 위성항법 시스템들이 정상 운영됨에 따라 이들 시스템에 대한 정보도 필요한 상황이다. 이에 RTCM에서는 다중 위성항법 시스템에 대한 정보 서비스를 제공하기 위해 RTCM 2.4 버전의 표준을 제정하였다. 이 메시지에는 GPS, GLONASS, GALILEO, QZSS, SBAS(Satellite Based Augmentation System)에 대한 정보 서비스가 가능하도록 설계되어 있고, 중국의 BeiDou까지 지원할 수 있도록 진행 중에 있다. 특히, RTCM 2.4 버전의 41번 메시지에는 다중 위성항법에 대한 시스템별 보정정보가 기록되어 있다. 아래 표는 41번 메시지에 기록된 헤더정보와 제공데이터를 간략히 정리한 것이다.

표 6. RTCM 2.4기반 41번 메시지 헤더정보

변수	비트	범위
GNSS System ID	4	1~5
GNSS Signal ID	4	0~15
Ephemeris Type	2	0~2
Use Flag	2	0~3
Iono Present	1	0 또는 1

표 7. RTCM 2.4기반 41번 메시지 제공 데이터

변수	비트	범위
GNSS Satellite ID	6	1~5
GNSS UDRE	4	0~15
GNSS IOD	8	0~2
GNSS PRC	14	0~3
Ionospheric Delay	12	0 또는 1

제 2 절 국내 환경변화 및 시장 현황

이 절에서는 국내외 GNSS 관련 시장 현황에 대한 조사 결과를 기술하였으며 LBS와 자율주행, 무인이동체 분야에 따른 시장 전망에 대한 조사 결과도 포함하였다. 또한 국내외 GNSS 관련 주요업체들의 현황에 대해 조사하였다.

1. 국내외 시장분석

가. 전 세계 GNSS 시장전망

GSA(Global Navigation Satellite Systems Agency)의 2015 GNSS Market Report에 따르면 2023년까지의 GNSS 시장규모를 그림 11과 같이 예측하고 있으며, 2019년까지는 연평균 성장률을 8.3%로 전망하고 2019년 이후에는 4.6%의 연평균 성장률을 예측하고 있다. 특히 GNSS 기술의 핵심이 되는 단말기 및 서비스 수익을 의미하는 'Core Revenue'의 증가 이외에도 'Core Revenue'를 포함하여 GNSS를 활용한 모든 플랫폼의 수익을 의미하는 'Enabled Revenue'의 증가율도 클 것으로 예상되어 진다. 또한 그림 12에 나타난 것처럼 2023년 GNSS 분야에서 LBS와 Road분야가 전체 시장의 약 90% 이상

으로 큰 비중을 차지할 것으로 예측되어 진다.



그림 12. 전 세계 GNSS 시장규모 전망(GSA,2015)

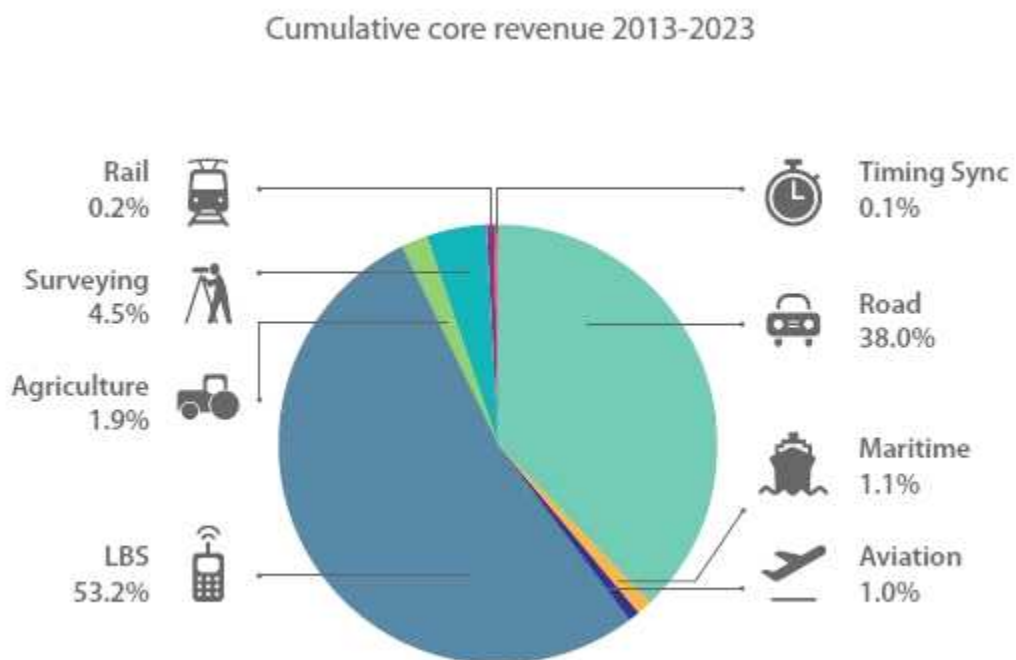


그림 13. GNSS 분야별 시장 전망(GSA,2015)

나. LBS 분야 시장 전망

차후 GNSS 시장에서 전체시장의 50%이상을 차지할 것이라 예상되는 LBS분야의 시장을 분석한 결과는 다음과 같다. 그림 13에 나타난 바와 같이 GNSS 장치의 출하량은

꾸준히 증가할 것이며, 그 중에서도 특히 스마트폰과 태블릿을 활용한 LBS의 사용이 주를 이루게 될 것이다. 이와 더불어 모바일 폰의 GNSS 내장률 또한 지속적으로 증가하여 GNSS의 활용은 더욱 중요시 될 것으로 전망되어진다. 또한 그림 13과 14에서도 확인할 수 있듯이 앞으로도 지속적으로 스마트폰, 태블릿, 카메라 등 다양한 플랫폼에 GNSS 기능이 활용되어 질 것으로 예측되며, 2023년에는 80억 개 이상의 어플리케이션에 활용되어 질 것으로 예상된다. 이러한 폭넓은 활용에 따라 GNSS의 장치 판매 또는 서비스 제공으로 발생하는 핵심 수익 또한 점차적으로 증가하여 2023년에는 예상 수익이 2015년 300억 달러에서 두 배 이상 증가한 700억 달러 이상으로 증가될 것으로 보인다.

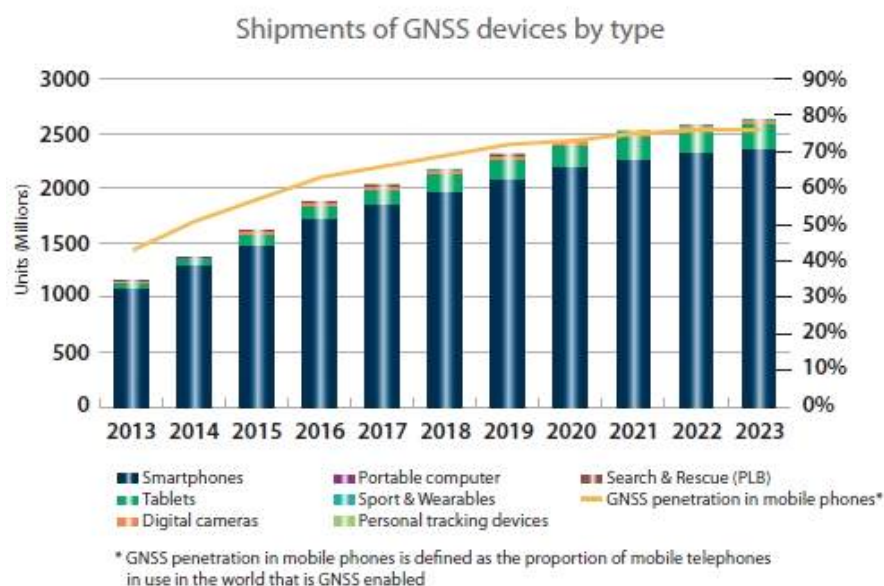


그림 14. 플랫폼에 따른 GNSS 장치 출하량(2013-2023)

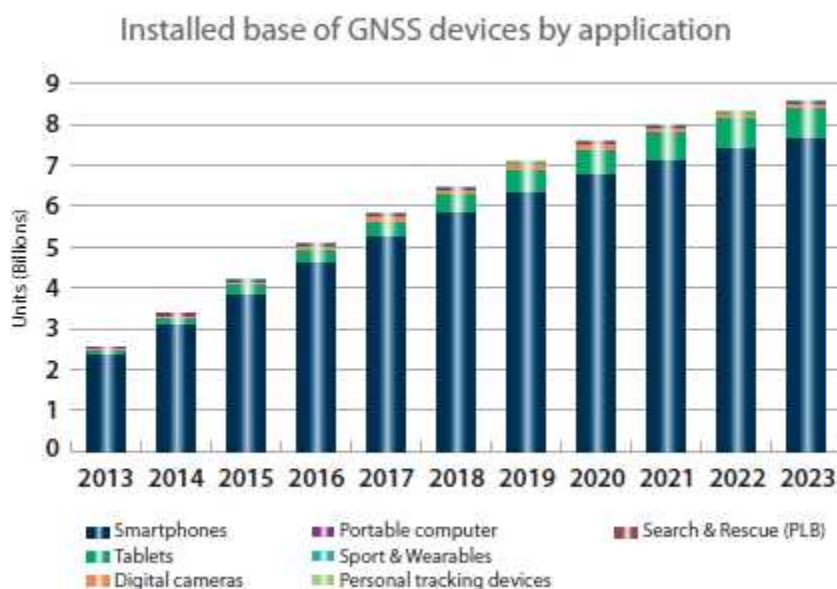


그림 15. 플랫폼에 따른 GNSS 설치 기기 수 전망

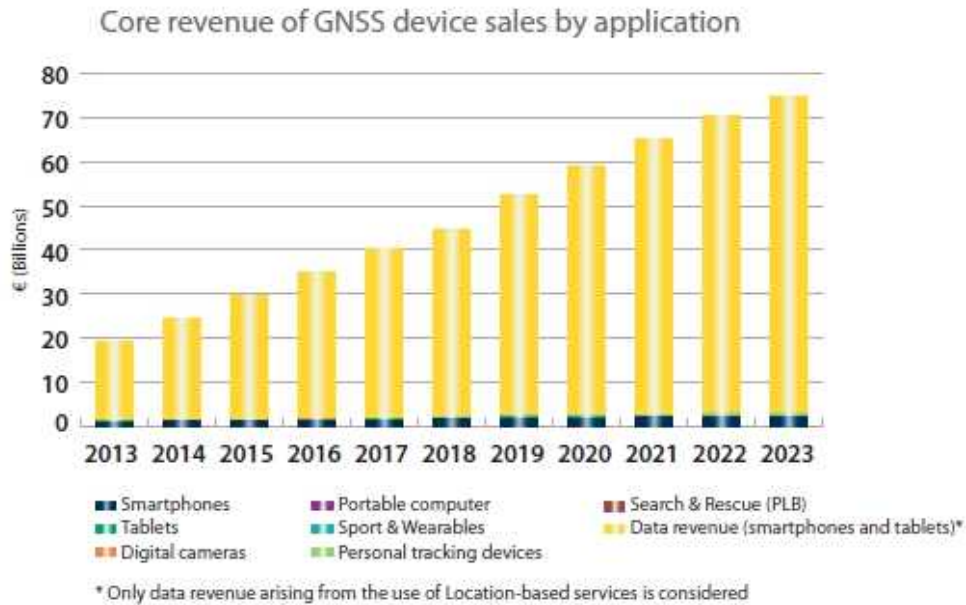


그림 16. 플랫폼에 따른 GNSS 장비 판매 및 서비스 핵심 수익 전망

다. Road 분야 시장 전망

GNSS Market Report에서 LBS 분야와 함께 가장 많은 비중을 차지하는 교통/차량 분야의 시장 및 사업화 전망을 살펴보면 그림 16과 같다. 그림에서 나타나듯이 2023년 개인용 내비게이션의 활용은 점차적으로 축소되어질 것이고 IVS(In-Vehicle System)와 eCall(emergency Call) 등의 활용이 증가되어 질 것으로 예측되어 지고 있다. 이러한 현상은 개인용 내비게이션 장치가 차량 매립형으로 바뀌어지고, 스마트폰 내비게이션 시장의 확대에 따른 현상으로 볼 수 있다. 또한 GNSS 기능이 장착된 기기들은 현재 약 6억 개 수준에서 2023년까지 지속적으로 증가하여 2023년에는 GNSS 기능이 장착된 기기들이 두 배 이상 증가된 12억 개에 육박할 것으로 예상되어 지고 있다.

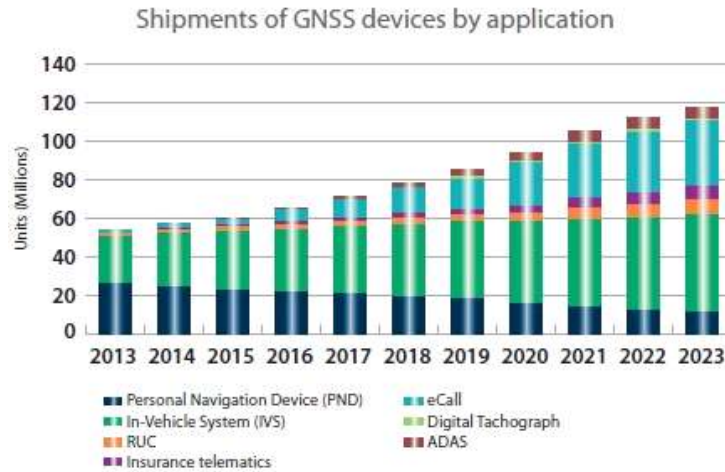


그림 17. 응용분야에 따른 GNSS 장비 출하량(2013-2023)

라. 무인이동체 시장전망

무인이동체는 기존의 이동체에 외부환경을 인식하고 스스로 이동하거나 원격조종으로 동작 가능하도록 하는 기술을 적용하여 사람이 탑승하지 않고 이동하는 기체로서 항공기, 자동차, 선박 및 잠수정에 적용되어 다양한 환경에서 활용되어 지고 있다. 이러한 무인이동체는 센서, 카메라, 소프트웨어, 관련 여러 하드웨어 등의 부품으로 구성되며 폭넓은 산업망을 형성하고 있다. 이러한 무인이동체의 시장규모는 2015년 251억 달러에서 연평균 성장률 20%로 2025년 1537억 달러에 달할 것으로 예상되어 진다. 국내에서는 2025년 세계 시장 10% 점유를 목표로 ‘글로벌 무인이동체 산업강국 실현’이라는 국내 정책을 시행중이다. 이러한 무인이동체의 시장은 대부분 무인기와 자율주행자동차 분야로 나누어진다. 그 중 무인기는 임무수행이 가능한 고부가가치 임무탑재장비를 장착한 무인기를 말하며, 이러한 복합측위모듈을 포함하는 임무탑재장비는 무인기 전체 가격의 40%이상을 차지한다. 또한 자율주행 자동차는 지능형(인지, 판단, 제어) 부품이 자율주행 자동차의 핵심 경쟁력으로 부각 중이며 전자부품과 S/W의 원가비중은 지속적으로 증가될 것으로 전망된다.

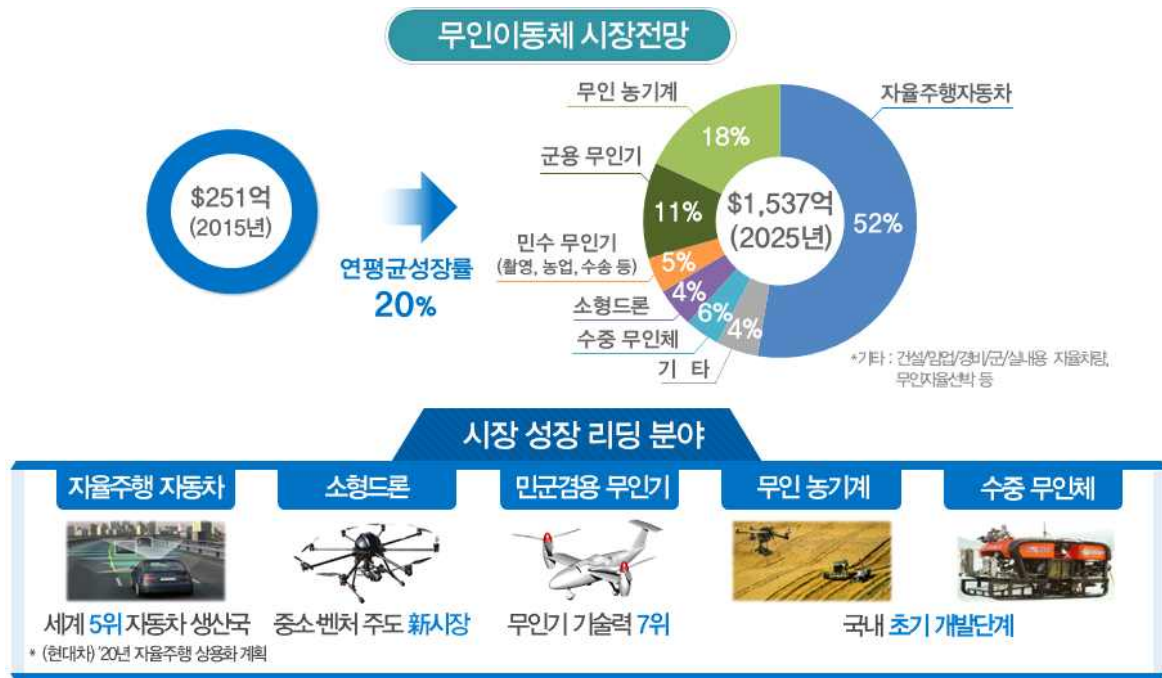


그림 18. 무인이동체 시장전망

마. 무인기 시장전망

무인기의 세계 시장규모는 2013년 66억 달러(7조원)로 조사되어졌으며, 2022년 114억 달러(13조원)으로 증대될 것이라 전망하고 있다. 이러한 무인기 시장은 2003년 이후 항공 업계의 신시장 중 가장 빠른 성장세를 기록해왔으며 2003년부터 2012년까지의 연간 성장률이 21.8%에 달한다. 그림 18에서도 확인할 수 있듯이 무인항공기의 세계시장은 2012년 기준, 미국이 70% 이상을 차지하였지만, 2021년에는 미국의 비중이 50% 이하로 축소되고, 아시아태평양 지역과 EU의 비중이 상대적으로 높아질 것으로 전망되어진다. 이러한 초기 미국의 세계시장 독점현상은 미국의 글로벌 항공우주 방산 업체가 전체 무인기 생산의 60% 이상을 점유하며 전체 시장을 주도하고 있어서 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 유럽 방산 업체의 점유율은 4%이하이나 향후 점유율이 지속적으로 확대되어질 전망이다. 이스라엘의 업체들은 최근 공격적인 마케팅 통하여 무인항공기시장의 점유율을 급속히 확대하고 있는 상황이다.



그림 19. 주요 국가/대륙별 무인항공기 시장 점유율 현황 및 전망

기존 무인기는 군사용 위주(90%이상)로 시장이 형성되었지만 택배, 농업, 재난관리 등의 민간용 시장에 활용될 것으로 기대되면서 시장규모 확대가 전망된다. 국내 무인항공기 관련 기술력은 세계 7위 수준으로 확인되며, 일부 분야(틸트로터)에서는 세계 최고 수준의 기술력을 보유하고 있다. 하지만 그 외의 항법, 통신, 운영기술, Power Source, 엔진, 이착륙 등 주요 핵심 기술 분야에서는 선진국 대비 기술력이 상대적으로 취약한 것으로 나타난다. 이러한 현상은 국내 기술개발을 위한 전문인력 및 장비, 제원 등 인프라 부족으로 인하여 다양한 분야의 기술개발에 한계를 갖고 있기 때문이라고 분석되어진다. 극소수의 대기업 및 국책연구기관 위주로 기술개발이 추진되고 주로 군사용 무인항공기 위주의 기술개발 및 사업이 대부분이어서 민간 부문의 기술개발 및 사업화의 여건이 취약한 상황이다. 이러한 여건을 개선하고 핵심 기술 확보를 위해 국내에서는 최근 “무인항공기 실용화 기술개발사업”을 추진하고 있으며, 2022년까지 연구개발비를 총 1700억원 가량 지원할 예정으로 앞으로 무인기 관련 시장은 빠르게 성장할 것으로 전망할 수 있다.

바. 자율주행 서비스

자율주행자동차는 무인이동체 분야 중 가장 주목 받고 있는 분야이며 구글, 벤츠, 아우디 등 다수 업체가 일반도로 상에서 주행 테스트를 진행 중에 있다. 2014년 12월에 구글에서 완전 자율주행차의 컨셉트 모델을 발표하기도 하였다. 구글은 자율주행차 프로젝트를 가장 먼저 시작하며, 현재 가장 앞선 기술력을 가진 것으로 평가되어 지고 있으며, 벤츠, 아우디 등 완성차 제조업체들도 상용화를 목표로 개발에 매진하고 있는 상황이다. 국내 기업의 자율주행자동차 기술수준은 구글이나 벤츠등에 비해서는 다소 뒤쳐진 것으로 평가되어진다. 현대, 기아차의 경우 차간거리유지(ACCS, Adaptive Cruise Control System), 차로유지지원(LKAS, Lane Keep Assist System) 등 2단계 자율주행에 필요한 핵심기술을 개발하여 상용화를 앞두고 있다. 2015년 3월 서울 모터쇼 프리뷰 행사에서 발표한 ‘자율주행 기술 상용화 로드맵’에 따르면 2020년까지 고속도로와 도심을 포함한 다양한 도로환경에서 구현 가능한 자율주행 기술의 상용화에 나설 계획이다. 그림 19는

자율주행 시스템 서비스의 시장전망을 나타낸다. 완전 자율주행 자동차는 2020년 이후부터 시판될 것으로 예상되어지며, 2020년 8000대 이후 기하급수적인 성장을 통해 2035년 예상 판매량은 9540만대로 예측하고 있다. 이러한 수치는 IEEE가 2012년도에 발표했던 2040년경 자율주행자동차가 전 세계 차량의 75%를 차지할 것으로 전망한 수치와 유사하다고 볼 수 있다.

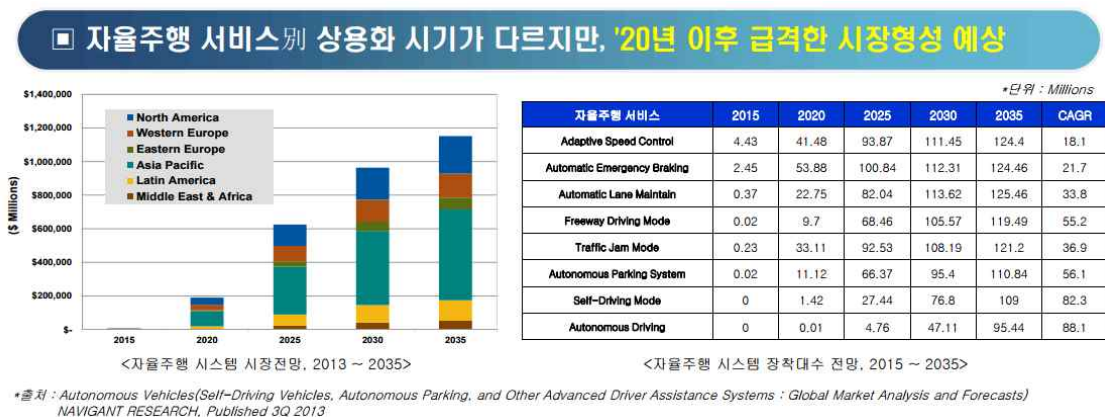


그림 20. 자율주행 시스템 시장전망

2. 국내외 기업 현황

가. 국외 업체 동향

미국은 GPS 탑재 휴대폰의 높은 보급률로 인해 위치 기반 콘텐츠 서비스 및 지역 광고 관련 업체가 활발하게 활동하고 있다. 주 기업으로는 Facebook Places, Google Latitude 등 SNS기반의 위치 정보 콘텐츠 서비스 업체가 있으며, AT&T, Verizon Wireless, Sprint 등 자체 위치 기반 콘텐츠 서비스를 제공하는 이동통신사업자와 Apple, Motorola 등의 스마트폰 제조업체들이 활발하게 활동 중이다. 유럽은 안정적인 수익 성장을 위해 부가가치 서비스산업에 집중하고 있으며, 위치 정보 기반 모바일 광고가 주요 수익 원천이 될 것으로 기대하고 있다. 이에 따라 무료 내비게이션 서비스 및 증강현실 게임을 제공하는 영국의 Vodafone, 6개국 무료 지도 서비스를 제공하는 프랑스의 Orange, 지역 기반 할인 쿠폰 서비스를 제공하는 독일의 Telefonica 등의 이동통신사업자들이 활발히 활동 중이며, 세부 도로 및 자동차 내비게이션, 음성 안내, 위성지도, 멀티미디어 도시안내 등 자체 서비스 및 이용자의 움직임을 추적하여 훈련 일지 및 운동량을 관리해주는 프로그램 등을 제공하는 Nokia, 내비게이션 전문 솔루션 업체인 네덜란드의 TomTom 과 같은 단말기업체들 또한 빠르게 발전하고 있다. 일본은 경로 검색 및 내비게이션과 같은 Routing 서비스가 시장을 주도하고 있으며, 사회안전망 강화를 위해 GPS 측위기술 업체 등이 시장을 견인하고 있으며, SNS와 결합한 생활형 콘텐츠 서비스가 급

부상중이다.

나. 국내 업체 동향

국내의 위치 기반 서비스 업계는 위치정보사업자, 위치기반서비스사업자, 솔루션/플랫폼 벤더 등으로 구분할 수 있다. 위치정보사업자는 위치정보를 수집하여 위치 기반 서비스를 제공하는 위치기반서비스사업자에게 정보를 제공하는 사업자를 말하며, 위치기반서비스사업자는 수집한 위치정보를 기반으로 다양한 서비스를 이용자에게 제공하는 사업자를 말한다. 솔루션/플랫폼 벤더는 위치정보사업자, 위치기반서비스사업자가 서비스를 수행하는데 있어 필요한 플랫폼 및 솔루션을 개발하거나 제공, 이동통신사의 위치 기반 시스템을 구축하거나 구축 후 서비스 운용을 담당하는 경우가 일반적이다. 국내 위치 기반 서비스는 기존에는 내비게이션 업체와 이동통신사업자 중심의 산업이었으나, GPS를 탑재한 고성능 스마트폰의 확산에 따른 위치 기반 애플리케이션 개발 및 사용의 증대, 대형 인터넷 포털 업체의 적극적인 시장 진출에 따라 다양한 부문의 위치 기반 콘텐츠와 서비스의 확대로 기존 가치 사슬과 사업 영역에서 많은 변화가 발생하였다. 국내의 기존 내비게이션 관련 업체들은 수많은 경쟁업체간 과열 경쟁 시기를 거친 후, 현재는 텅크웨어, 파인디지털, 현대엠엔소프트 정도만이 내비게이션 업체로서의 명맥을 유지하고 있다. 이러한 기존 내비게이션 업체들은 고 사양 신제품 출시와, 매립형 제품군의 확대, 스마트 디바이스와의 연동, 타 분야와 연동 등을 통해 새로운 도약을 노리고 있는 상황이다. 모바일 내비게이션 업체들로는 이동통신 업체들과 록앤올의 국민내비 김기사가 서비스 중이다. 이동통신사들은 네트워크 레벨에서 축적된 방대한 위치정보를 활용한 ‘실시간’ 지도 업데이트와 교통정보 제공, 무료 제공등 차별적인 요소로 소비자들을 공략하고 있으며, 김기사는 1천여만 명이 가입한 스마트폰 내비게이션 서비스로, 실시간 교통정보를 바탕으로 과거와 현재의 차량 흐름을 분석해 1분 단위의 길 안내를 제공하는 등의 공격적인 서비스를 통해 발전해왔으며 다음카카오가 인수한 상태이다.

3. 종합결론

앞서 GNSS 분야별 국내외 시장전망과 국내외 업체 동향을 알아보았다. 위에서도 볼 수 있듯이 전 세계적으로 GNSS 탑재 단말기의 확산, 단말기 가격의 하락, 구글 등 포털 업체의 시장참여와 같은 위치정보 서비스의 꾸준한 이용증가로 인해 GNSS 관련 기술의 중요성은 더욱 커질 것이고 GNSS 탑재 단말기 시장은 지속적으로 증가할 것으로 예상되어진다. GPS와 실내측위기술의 원천기술 분야는 초기 미국과 유럽이 세계 시장을 선점하였고 현재 측위 원천기술 분야는 퀄컴, 스카이룩, 구글이 세계시장을 주도하고 있다. 우리나라는 GPS분야, 측위분야에서 세계 시장을 주도하지는 못하지만 세계 최고 수준의

IT 응용기술을 보유하고 있어 글로벌 기업들과 충분히 경쟁이 가능하다. 따라서 국내 기술의 경쟁력 확보를 위해서도 GNSS 관련 원천기술 연구와 지속적이고 적극적인 기술개발이 필요하며, 이동통신사와의 협력을 통해 기술 개발과 수익성 있는 비즈니스 모델 개발이 필요한 상황이다.

제 3 장 연구수행 내용 및 결과

이 장에서는 연구수행의 내용과 결과에 대해 기술한다. 먼저 골목길 환경에서의 GPS 기반 위치정확도 향상을 위한 요소기술 융합 S/W 개발과 관련하여 요소기술이 되는 통합 GNSS 자료처리 S/W, 다중경로 오차 저감 S/W, 위치보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정을 위한 S/W 구현 내용에 대해 각각 기술한다. 그리고 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 시작품 개발 내용에 관해 기술하며, 사업화 전략과 관련하여 수행한 연구 내용과 결과를 기술한다.

제 1 절 통합 GNSS 자료처리 S/W 구현

이 연구에서 구현한 통합 GNSS 자료처리 소프트웨어는 2016년 현재 정상 운영되고 있는 위성항법시스템인 미국의 GPS와 러시아의 GLONASS, 그리고 중국의 BDS의 원시 데이터를 동시에 활용하여 측위 정확도를 향상시킨 것이다. 각 위성항법시스템을 통합하기 위해서는 시스템 간의 서로 다른 부분을 일치시키는 과정이 필요하다. 각 시스템 간의 차이를 고려해준 다음, 최소제곱법과 칼만필터를 활용하여 자료를 처리함으로써 사용자의 위치좌표를 계산하는 과정을 수행하였다. 그리고 위성항법시스템을 이용한 측위 시 발생하는 오차 요소들을 보정함으로써 측위 정확도가 향상되도록 하였다.

1. 위성항법시스템 통합

GPS와 GLONASS, BDS는 서로 다른 국가에서 구축한 위성항법시스템이기 때문에 시스템마다 차이가 존재한다. 각 시스템은 사용하고 있는 기준시가 다르며, 다른 좌표계를 사용하고 있다. 또한 위성의 좌표를 계산하기 위한 궤도력의 전송 형태가 다르기 때문에 시스템 별로 나누어 위성 좌표를 계산해 주어야 한다.

가. 시간계

GPS와 GLONASS, BDS는 서로 다른 시간계를 기준으로 채택하고 있다. GPS의 기준 시간계는 UTC 1980년 1월 6일 0시를 기준으로 하는 GPST(GPS Time)이며, GLONASS는 UTC(SU) 자체를 기준 시간계로 채택하였다. Habrich(1999)에 따르면 GPST와 GLOT(GLONASS Time)은 식 (1)과 같은 변환을 통하여 일치시켜야 한다. 식 (1)에서 τ_c 는 UTC(SU)와 GLOT의 차이로, 방송궤도력에서 하루마다 갱신되어 전송되며 τ_u 는 UTC와 UTC(SU) 사이의 차이이다. Ineichen et al.(2000)에 따르면 UTC와 UTC(SU)는

100ns 미만의 시간차가 발생한다. τ_g 는 관측 시점의 GPST와 UTC 사이의 윤초이다. UTC는 윤초 발생시 이를 반영하지만 GPST는 기준 시각 이후의 윤초를 반영하지 않는다. 따라서 GPS와 GLONASS는 1980년 1월 6일 0시부터 현재까지 발생한 윤초만큼 시간차가 존재하기 때문에 이 차이를 고려해 주어야 한다.

$$\begin{aligned}
 GPST &= GLOT + \tau_c + \tau_u + \tau_g \\
 \tau_c &: UTC(SU) - GLOT \\
 \tau_u &: UTC - UTC(SU) \\
 \tau_g &: \Delta tLS_{1980-2016}
 \end{aligned} \tag{1}$$

BDS는 UTC 2006년 1월 1일 0시를 기준으로 한 BDST(BDS Time)를 기준 시간계로 채택하였다. 식 (2)는 BDST를 UTC에 대하여 나타낸 것이며, $\Delta tLS_{2006-2016}$ 은 2006년부터 현재까지 발생한 윤초를 의미한다.

$$BDST = UTC + \Delta tLS_{2006-2015} \tag{2}$$

BDST도 GPST와 같이 기준 시각 이후에 발생한 윤초를 반영하지 않는다. 따라서 GPST와 BDST는 식 (3)과 같이 1980년 1월 6일 0시부터 2006년 1월 1일 0시까지 발생한 14초의 윤초만큼 시간차가 존재하므로 이를 고려해야 한다.

$$GPST - BDST = \Delta tLS_{1980-2006} \tag{3}$$

나. 좌표계

GPS는 기준 좌표계로 WGS84(World Geodetic System 1984)를 사용하는 반면 GLONASS는 PZ90(Parametry Zemli 1990)을 기준 좌표계로 사용하고 있으며, BeiDou는 CGCS2000(China Geodetic Coordinate System 2000)을 사용하고 있다. 시간계와 마찬가지로 시스템별로 다른 좌표계를 변환하여 통합하는 과정이 필요하다. 식 (4)를 통해 PZ90의 좌표를 WGS84 좌표로 변환하는 과정을 수행하였다(Bazlov et al., 1999). 한편 Dou(2015)에 의하면 BDS의 기준 좌표계인 CGCS2000과 WGS84의 좌표 차이는 위경도에 따라서 0-0.105mm에 불과하다. 따라서 본 연구에서는 이 차이를 무시하고 시스템 통합을 진행하였다.

$$\begin{bmatrix} X_{WGS84} \\ Y_{WGS84} \\ Z_{WGS84} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.1m \\ -0.3m \\ -0.9m \end{bmatrix} + (1 - 0.12 \times 10^{-6}) \times \begin{bmatrix} 1 & -0.82 \times 10^{-6} & 0 \\ 0.82 \times 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{PZ90} \\ Y_{PZ90} \\ Z_{PZ90} \end{bmatrix} \tag{4}$$

다. 위성 좌표 계산

GPS와 BDS의 방송궤도력은 케플러 궤도요소와 섭동량 보정계수 등이 포함되어 있으며, 각각 2시간과 1시간 간격으로 전송한다. 방송궤도력에 포함된 파라미터를 이용하여 케플러 방정식을 통해 GPS 위성과 BDS 위성의 좌표 계산이 가능하다. 모든 GPS 위성은 20,200km의 중궤도 위성인 반면, BDS 위성은 정지궤도 위성, 경사지구동기궤도 위성, 중궤도 위성 세 종류로 구성되어 있다. BDS의 경사지구동기궤도 위성과 중궤도 위성의 좌표는 GPS 위성의 좌표를 계산하는 방식과 같은 방법으로 계산할 수 있지만 BDS의 정지궤도 위성의 좌표는 다른 과정을 통해 계산해야 한다. BDS의 정지궤도 위성의 좌표를 구하기 위한 승교점 적경 Ω_k 를 식 (5)로 나타낼 수 있다(CSNO, 2013). 식 (5)에서 Ω_0 는 춘분점에서 승교점까지의 각이며 $\dot{\Omega}$ 는 적경 변화율, $\dot{\Omega}_e$ 는 CGCS2000 기준의 지구 자전속도이다. t_k 는 위성으로부터 신호를 송신한 시각이며, t_{oe} 는 궤도력의 기준 시각이다.

$$\Omega_k = \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \dot{\Omega}_e)t_k - \dot{\Omega}_e t_{oe} \quad (5)$$

승교점 적경 Ω_k 를 이용하여 초기 시스템의 정지궤도 위성의 좌표 X_{Gk} , Y_{Gk} , Z_{Gk} 를 구하면 식 (6)과 같다. 식 (6)에서 x_k , y_k 는 궤도 평면의 위치 좌표이며 i_k 는 보정된 궤도 경사각이다.

$$\begin{aligned} X_{Gk} &= x_k \cos \Omega_k - y_k \sin \Omega_k \\ Y_{Gk} &= x_k \sin \Omega_k + y_k \cos \Omega_k \\ Z_{Gk} &= y_k \sin i_k \end{aligned} \quad (6)$$

이를 이용한 BDS의 정지궤도 위성의 좌표 X_k , Y_k , Z_k 는 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{bmatrix} = R_Z(\dot{\Omega}_e t_k) R_X(-5^\circ) \begin{bmatrix} X_{Gk} \\ Y_{Gk} \\ Z_{Gk} \end{bmatrix} \quad (7)$$

식 7에서 R_X 와 R_Z 는 식 (8)과 식 (9)와 같다.

$$R_X(\phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$R_Z(\phi) = \begin{bmatrix} \cos\phi & \sin\phi & 0 \\ -\sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

GLONASS의 방송궤도력은 매 시 15분과 45분마다 전송 시점의 좌표, 속도, 그리고 태양과 달에 의한 가속도 등을 전송한다. GPS와 BDS은 방송궤도력으로 제공되는 궤도 요소를 이용하여 케플러 방정식으로 위성 좌표를 계산하지만 GLONASS의 경우 수치적분법으로 위성 좌표를 산출해야 한다. GLONASS의 위성 좌표 계산에는 다양한 수치적분법이 사용되고 있으나, 본 연구에서는 4차 Runge-Kutta 수치적분법을 사용하여 위성 좌표를 계산하였다(RISDE, 2008).

2. 자료처리 방법

본 연구에서는 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위를 수행하기 위해 확장형 칼만 필터를 기반으로 자료처리를 수행한다. 그러나 확장형 칼만 필터만을 이용하여 자료처리를 수행할 경우 초기 수렴 전까지 측위 정확도가 떨어지기 때문에 이를 보완하기 위해 초기에는 최소제곱법으로 자료처리를 수행하였다. 또한 GNSS 측위 시에 발생하는 오차 요소에 대해 조사하고 오차를 보정하기 위해 위성항법 시스템 별로 고려해야 할 사항에 대해 조사하여 이를 적용하였다.

가. GNSS 측위 원리 및 최소제곱법

최소제곱법은 GNSS 측위 시 일반적으로 사용하는 방법으로, 실제로 관측된 값과 계산된 값의 잔차의 제곱합을 최소로 함으로써 미지수를 추정하는 과정을 거친다. GNSS 측위 시 발생하는 모든 오차를 고려할 때, 코드 의사거리 PR 은 식 (10)과 같이 위성과 수신기 간의 기하거리 ρ 와 수신기 시계오차 δt_r , 위성 시계오차 δt^s , 이온층 오차 δI , 대류권 오차 δT , 다중경로 오차 δM , 수신기 하드웨어 오차 δ_r 과 위성 하드웨어 오차 δ^s , 그리고 확률오차 ϵ 에 대한 식으로 나타낼 수 있다. 또한 기하거리 ρ 는 식 (11)과 같이 수신기 좌표 (x_r, y_r, z_r) 와 위성의 좌표 (x^s, y^s, z^s) 로 나타낼 수 있다.

$$PR = \rho + c(\delta t_r - \delta t^s) + \delta I + \delta T + \delta M + \delta_r + \delta^s + \epsilon \quad (10)$$

$$\rho = \sqrt{(x^s - x_r)^2 + (y^s - y_r)^2 + (z^s - z_r)^2} \quad (11)$$

이 중에서 위성 좌표 (x^s, y^s, z^s) 는 방송궤도력을 이용하여 계산이 가능하며 위성 시계

오차 δt^s 또한 방송케도력으로 계산하여 대부분 보정이 가능하다. 그리고 이온층과 대류권에 의한 신호지연 오차는 보정모델을 이용하여 개선이 가능하다. 이 외의 하드웨어에 의한 오차와 다중경로 오차를 무시한다면, 미지수의 개수는 수신기의 좌표 (x_r, y_r, z_r) 와 시계오차 δt_r 까지 4개이다. 따라서 4개의 미지수를 구하기 위해서는 식 (12)와 같이 4개의 방정식이 필요하지만, 4개보다 많은 수의 위성이 관측되었다면 최소제곱법을 사용하여 미지수를 추정하는 과정이 필요하다.

$$\begin{aligned}\rho_r^{s_1}(t) &= \sqrt{(x^{s_1} - x_r)^2 + (y^{s_1} - y_r)^2 + (z^{s_1} - z_r)^2} + c\delta t_r \\ \rho_r^{s_2}(t) &= \sqrt{(x^{s_2} - x_r)^2 + (y^{s_2} - y_r)^2 + (z^{s_2} - z_r)^2} + c\delta t_r \\ \rho_r^{s_3}(t) &= \sqrt{(x^{s_3} - x_r)^2 + (y^{s_3} - y_r)^2 + (z^{s_3} - z_r)^2} + c\delta t_r \\ \rho_r^{s_4}(t) &= \sqrt{(x^{s_4} - x_r)^2 + (y^{s_4} - y_r)^2 + (z^{s_4} - z_r)^2} + c\delta t_r\end{aligned}\quad (12)$$

미지수를 추정하기 위한 정규방정식의 해 $\hat{x}$ 은 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다. 식 (13)에서 y 는 앞서 언급했듯이 관측된 거리값과 계산된 거리값의 차이이며, 설계 행렬 H 는 관측방정식을 편미분하여 나타낸 것으로 이 연구개발에서는 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위를 수행하기 때문에 GPS와 GLONASS, 그리고 BDS의 시계오차를 각각 추정 해주어야 한다. 따라서 설계 행렬 H 는 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다. 관측된 위성에 대한 관측방정식의 편미분 값을 누적하여 설계 행렬을 구성하고, 관측된 거리값과 계산된 거리값의 차를 이용하여 반복계산을 통해 구하고자 하는 수신기의 좌표와 각 위성항법시스템에 대한 시계오차의 추정이 가능하다.

$$\hat{x} = (H^T H)^{-1} H^T y \quad (13)$$

$$H = \begin{bmatrix} \frac{-x^{GPS} + x_r}{\rho_r^{GPS}} & \frac{-y^{GPS} + y_r}{\rho_r^{GPS}} & \frac{-z^{GPS} + z_r}{\rho_r^{GPS}} & c & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{-x^{GLO} + x_r}{\rho_r^{GLO}} & \frac{-y^{GLO} + y_r}{\rho_r^{GLO}} & \frac{-z^{GLO} + z_r}{\rho_r^{GLO}} & 0 & c & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{-x^{BDS} + x_r}{\rho_r^{BDS}} & \frac{-y^{BDS} + y_r}{\rho_r^{BDS}} & \frac{-z^{BDS} + z_r}{\rho_r^{BDS}} & 0 & 0 & c \end{bmatrix} \quad (14)$$

나. 확장형 칼만 필터

칼만필터는 현재의 값을 추정하기 위해 특정시점의 측정값과 선형관계를 갖는 바로 이전시점의 추정값을 활용하여 반복적으로 조정하는 알고리즘이다. 그러나 GNSS 측위에서의 항법해는 비선형 구조이기 때문에 확장형 칼만필터를 이용하여 자료처리를 수행해야 한다. 확장형 칼만필터의 운동방정식과 관측방정식은 식 (15)와 식 (16)으로 정의할 수 있다.

$$x_{k+1} = f(x_k) + w_k \quad (15)$$

$$z_k = h(x_k) + v_k \quad (16)$$

여기서 f 는 특정 시점 k 에서 시스템의 움직임을 정의하는 행렬이며, h 는 측정값 z_k 와 상태변수 x_k 의 관계를 정의하는 행렬이다. w_k 는 시스템 잡음이며, v_k 는 관측 잡음을 의미한다. 확장형 칼만필터의 전체적인 알고리즘은 그림 20과 같다. 그림 20에서 윗첨자 ‘ $\hat{\cdot}$ ’는 추정값을 의미하고 ‘ $\bar{\cdot}$ ’는 예측값을 의미한다. 각 자료처리 단계에 사용되는 행렬 중 x 는 상태변수, P 는 오차 공분산, A 는 상태전이행렬, Q 는 시스템 잡음 w_k 의 공분산 행렬, R 은 관측 잡음 v_k 의 공분산 행렬, K 는 칼만 이득, H 는 설계 행렬, 그리고 z 는 관측값을 의미한다. 그림과 같이 측정값 z_k 를 입력받아 알고리즘을 거쳐 추정값 $\hat{x}_k$ 를 출력하게 된다.

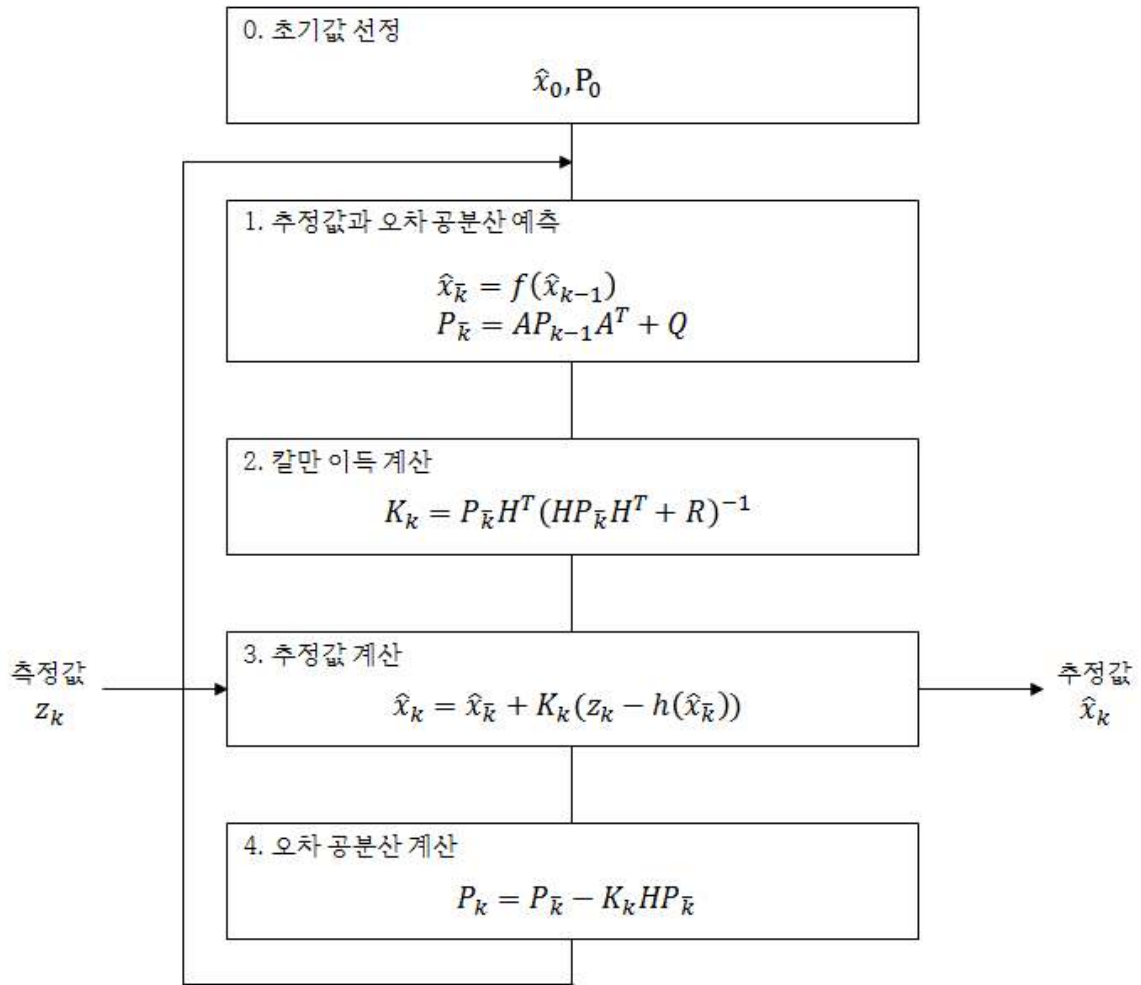


그림 21. 확장 칼만 필터 알고리즘

3. 측위오차 요소와 보정방법

GNSS 측위 시 발생하는 오차는 위성 부문 오차, 수신기 부문 오차, 그리고 신호전달 경로 부문 오차로 구분할 수 있다. 이 연구개발에서 구현한 측위 소프트웨어는 위성 부문 오차에 해당하는 위성 시계오차와 위성 궤도오차, 그룹 딜레이를 실시간으로 제공하는 방송궤도력으로 계산 및 적용하였으며, 상대성 효과는 보정 모델을 적용하였다. 앞서 언급한 바와 같이 신호전달경로 부문 오차인 전리층 오차와 대류권 오차는 보정 모델을 사용하였으며, 사용자 부문 오차인 수신기 시계오차는 오차 추정에 포함하였다. 이 연구개발에서 보정한 오차에 대해 아래에 설명하였고, 각 시스템 별로 다르게 적용되는 부분을 정리하였다.

가. 상대성 효과

상대성 효과는 위성과 수신기 사이의 상대운동에 의해 발생하며 위성 궤도, 위성 신

호, 위성 시계에 대한 상대성 효과와 지구 자전에 의한 상대성 효과로 구분된다. 이 연구 개발에서는 위성 시계에 대한 상대성 효과만을 고려하였다. GPS와 BDS의 상대성 효과는 식 (17)과 같이 방송궤도력에서 제공하는 위성 궤도이심률 e , 궤도장반경 a , 이심근점 이각 E 를 이용하여 계산한다(Misra and Enge, 2011). 그러나 GLONASS의 경우 방송궤도력으로 위치, 속도, 가속도 등을 제공받기 때문에 식 (18)을 이용하여 상대성 효과를 계산한다(Xu, 2007). 식 (18)에서 c 는 빛의 속도, (x, y, z) 는 위성의 위치, (v_x, v_y, v_z) 는 위성의 속도를 의미한다.

$$\delta t_R = -4.4428076333 \times 10^{-10} e \sqrt{a} \sin E \quad (17)$$

$$\delta t_R = \frac{1}{c^2} (xv_x + yv_y + zv_z) \quad (18)$$

나. 전리층 오차

전리층 오차는 GNSS 측위에서 가장 큰 오차 요인 중 하나로, 위성의 신호가 전리층을 통과하면서 전리층에 존재하는 전자와 이온에 의해 신호가 굴절되어 신호지연 현상이 발생함으로써 오차로 작용하게 된다. 이중주파수 수신기를 이용하여 관측할 경우 무전리층(ionosphere-free) 선형 조합을 통해 전리층 오차를 제거할 수 있으나 이 연구개발에서는 단일주파수 기반의 저가형 단말기를 개발하는 것이므로 보정모델을 사용하여 전리층 오차를 보정하였다.

이 연구개발에서 적용한 전리층 오차 보정모델은 Klobuchar 모델로, GNSS 측위에 가장 일반적으로 사용하는 모델이다. Klobuchar 모델은 항법메시지를 통해 전리층 보정계수를 제공받아 전리층 오차를 계산할 수 있기 때문에 실시간으로 전리층 보정이 가능하며 전리층 오차의 약 50-60%를 제거할 수 있다.

GPS와 BDS의 경우 Klobuchar(1987)가 제안한 방법을 그대로 적용하여 전리층 오차를 보정할 수 있으나, GLONASS는 위성마다 다른 주파수를 갖기 때문에 위성별로 주파수를 고려하여 전리층 오차를 계산해 주어야 한다. 본 연구개발에서 사용하는 GLONASS L1 영역의 주파수는 식 (19)와 같이 채널 번호 CN 에 따라 결정되며, 주파수에 따른 전리층 오차 δI_{freq} 는 식 (20)을 통해 계산할 수 있다.

$$f_{GLONASS_{L1}} = (1602 + CN \times 0.5626) MHz \quad (19)$$

$$\delta I_{freq} = \left(\frac{1575.42}{f_{GLONASS_{L1}}} \right)^2 \times \delta I \quad (20)$$

다. 대류권 오차

대류권 오차는 위성 신호가 대류권을 통과할 때 건조공기와 수증기에 의해 신호가 굴절되어 발생하는 신호지연 오차이다. 대류권 오차는 건조공기에 의한 건조지연과 수증기에 의한 습윤지연이 있으며, 전체 지연의 90%를 차지하는 건조지연은 물리적으로 안정되어 있기 때문에 정밀하게 산출할 수 있다. 그러나 10%를 차지하는 습윤지연은 기상조건에 따라 매우 변화가 크기 때문에 정밀한 산출이 불가능하다. 대류권 오차는 주파수와 상관없이 신호지연이 동일하게 나타나므로 이중주파수 수신기로도 오차를 보정할 수 없다. 따라서 대류권 오차는 통계적 추정 모델을 통해 오차를 제거해야 한다.

이 연구개발에서는 시스템에 상관없이 GPT(Global Pressure and Temperature) 모델을 이용하여 천정방향의 건조지연량 ZHD(Zenith Hydrostatic Delay)를 산출하였으며, 식 (21)과 같은 모델을 이용하여 산출할 수 있다. 식 (21)에서 P_s 는 사용자 위치에서의 지상기압이며 ϕ 와 h 는 사용자 위치의 위도와 고도(km)를 의미한다.

$$ZHD = \frac{(2.2779 \pm 0.0024) \times P_s}{1 - 0.00266 \times \cos 2\phi - 0.00028 \times h} \quad (21)$$

산출된 ZHD를 GMF(Global Mapping Function) 사상함수를 이용하여 시선방향의 건조지연량 SHD(Slant Hydrostatic Delay)로 산출하는 과정을 수행하였으며, 산출된 SHD를 자료처리 과정 중에 보정하였다.

4. 소프트웨어 측위 정확도 검증

이 연구에서 개발된 통합 GNSS 자료처리 소프트웨어의 정확도 검증을 수행하였다. 검증 방법은 인하대학교에서 운영하고 있는 JPRT 상시관측소로부터 1시간 동안 획득한 GPS, GLONASS, BDS의 관측 데이터를 1초 간격으로 자료처리하였다. JPRT 상시관측소는 JAVAD사의 Alpha-G3 수신기와 GrAnt-G3T 안테나로 구성되어 있다. 최소제곱법으로 반복계산을 수행하여 산출된 좌표값을 이중주파수로 산출한 정밀좌표값과 비교하였으며 시스템의 통합에 따른 측위 성능을 비교하기 위하여 GPS, GLONASS, BDS의 단일 시스템 측위 결과와 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위 결과를 비교하였다.

그림 21은 GPS, GLONASS, BDS를 각각 측위한 결과와 통합하여 측위한 결과의 수평 오차와 시계열 오차를 함께 나타낸 것이다. GPS의 경우 북쪽 방향으로 미소하게 편향된 것을 확인할 수 있으며, GLONASS는 남동쪽 방향, BDS는 서쪽 방향에서 남북으로 길게 분포된 것을 확인할 수 있다. 이에 비하여 각 시스템을 통합하여 측위한 결과 이와 같은 편향이 개선되었으며, 정밀도 또한 향상된 것을 그림을 통해 확인할 수 있다.

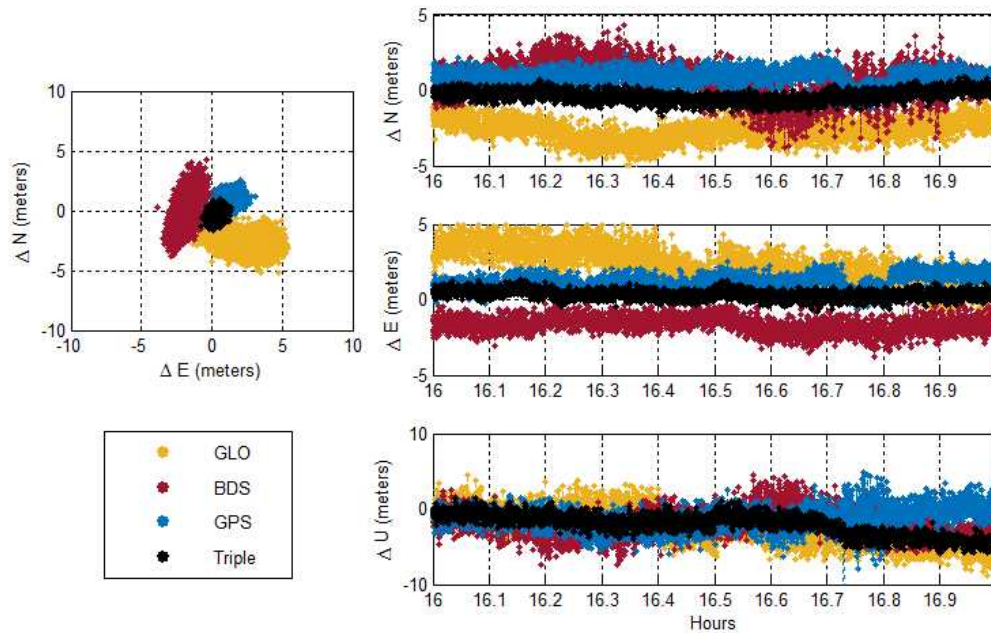


그림 22. GNSS 단일 및 통합 자료처리 결과 수평 오차(좌)와 시계열 오차(우)

표 8. GNSS 단일 및 통합 자료처리 오차(m)

	GPS	GLONASS	BDS	GPS+GLONASS S+BDS
Horizontal	1.15	1.56	1.31	0.71
Vertical	1.66	2.63	2.07	1.62
3-D	1.99	3.05	2.45	1.80

표 8은 각 시스템의 단일 및 통합 측위한 결과의 오차를 나타낸다. 표 8과 같이 단일 시스템만을 이용하여 측위할 경우 GPS는 수평 1.15m, 수직 1.66m, 3차원 1.99m의 오차가 발생하여 세 단일 위성항법시스템 중 가장 높은 측위 정확도를 나타낸 것을 알 수 있다. GLONASS는 수평 1.56m, 수직 2.63m, 3차원 3.05m로 다른 시스템에 비해 낮은 측위 정확도가 나타났으며 BDS는 수평 1.31m, 수직 2.07m, 3차원 2.45m의 오차를 나타냈다. 이에 비해 GPS/GLONASS/BDS를 통합하여 측위할 경우 수평 오차가 0.71m로 단일 시스템에 비해 38~54% 오차가 감소한 것으로 나타났으며, 수직 오차와 3차원 오차 또한 통합 측위를 했을 때 가장 측위 성능이 좋은 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 이 연구에서 개발한 GPS/GLONASS/BDS 통합 자료처리 소프트웨어의 알고리즘이 우수한 성능을 구현하는 것을 확인하였다.

이 연구에서는 골목길과 같은 난수신 환경에서 충분한 가시위성 개수를 확보할 수 있도록 GPS, GLONASS, 그리고 BDS를 통합한 측위 알고리즘을 구현하였으나, 현재 GPS/GLONASS/BDS 세 시스템의 원시데이터를 수신할 수 있는 저가형 모듈이 개발되지 않았기 때문에 이 연구에서 최종적으로 개발되는 골목길 내비게이션 단말기에는

BDS를 제외한 GPS/GLONASS 통합 측위 기술만을 적용하였으며, 추후 BDS 원시데이터까지 수신 가능한 모듈이 출시되면 개발된 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위 기술을 적용하도록 할 것이다.

제 2 절 다중경로오차 저감 S/W 구현

이 절에서는 다중경로오차의 영향을 최소화하기 위한 방법 중에서 각 GNSS 위성으로부터 수신한 관측자료에 가중치를 부여하는 기존의 가중치 모델들에 대해 살펴보고, 그 중 골목길 환경에서 성능이 가장 높게 나타난 HK 모델 구현에 대하여 기술하였다. 또한 각 모델들을 자료처리 과정에 적용했을 때 관측환경에 따라 성능이 어떻게 나타나는지 비교·분석하였다.

1. 가중치 기존 모델

각 GNSS 위성으로부터 수신한 관측자료에 가중치를 부여하는 가중치 모델로는 가중치 부여 방식에 따라 고도각 모델, 지수함수 모델, 시그마 모델, SNR-고도각 모델, HK 모델 등이 있다.

고도각 모델은 고도각 ϵ 에 따라 가중치를 부여하는 가장 간단한 사인함수 기반의 모델이다. 모델식은 식 (22)와 같으며, 고도각이 커질수록 잡음의 분산을 나타내는 σ_i^2 값이 작아지는 방식으로 가중치가 부여된다. 확장형 칼만필터에서는 σ_i^2 로 구성된 대각행렬을 잡음행렬로 사용하게 된다.

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{\sin^2(\epsilon_i)} \quad (22)$$

이 모델의 경우 간단한 방법으로 고도각에 따라 분산 또는 가중치를 잘 부여할 수 있는 장점은 있지만, 고도각이 낮음에도 불구하고 상대적으로 SNR이 높게 나타나거나 고도각이 높음에도 불구하고 상대적으로 SNR이 낮게 나타나는 위성신호에 대해서는 고려되지 않는다는 단점이 있다.

지수함수 모델은 SNR에 따라 가중치를 지수함수 형태로 모델링하는 것으로 Li and Wu(2009)에 의해 제시된 바 있다. 모델식은 식 (23)과 같으며 a , b , k 는 모델 파라미터,

SNR_i 는 해당 위성신호의 SNR 값, $SNR_{\min}$ 은 SNR의 최소값을 의미한다. 모델 파라미터인 a , b , k 는 수신기, 안테나 등의 하드웨어적인 차이, 그리고 관측 장소 등에 따라 다르게 설정할 수 있는 경험적인 수치이다.

$$\sigma_i^2 = a + b \times e^{k(SNR_{\min} - SNR_i)} \quad (23)$$

시그마(Sigma) 모델은 Langley(1997), Hartinger and Brunner(1999), Li and Wu(2009), Wieser and Brunner(2000) 등에 의해 제시되었던 모델이며 식 (24)와 같이 나타낼 수 있다. 식 (24)에서 a , b 는 다른 모델들과 마찬가지로 모델 파라미터이며 SNR_i 는 해당 위성신호의 SNR 값을 의미한다. 분산 값 자체의 크기는 모델파라미터 a , b 의 설정을 통해 조절할 수 있다.

$$\sigma_i^2 = a + b \times 10^{-0.1 \times SNR_i} \quad (24)$$

앞서 살펴본 모델들이 고도각 하나만 고려하거나 SNR 하나만 고려하여 가중치를 부여하는 방법들인 반면 SNR-고도각 모델은 이 두 가지를 동시에 고려하여 가중치를 부여하는 방법이다. 이 방법은 Tay and Marais(2013)에 의해 제안되었다. 모델식은 식 (25)와 같으며, 이 때 SNR_i 는 해당 위성신호의 SNR을 나타내고 ϵ 는 고도각을 의미한다. k 는 모델 파라미터인데 Tay and Marais(2013)에서는 LOS 분석 결과에 따라 다르게 설정하도록 제안하고 있다. 즉 해당 위성신호가 직접 수신되는 신호(direct signal)일 경우 k 를 1로 설정하도록 하고 해당 위성신호가 직접 수신되는 신호가 아닌 다중경로 신호일 경우에는 k 에 변화를 주도록 제안하고 있다. 이는 다중경로 신호에 잡음의 분산값을 크게 부여할 수 있도록 하여 정확도를 높일 수 있도록 하는 것이다. 이 모델을 이용할 경우, 고도각과 SNR을 모두 고려하여 가중치를 부여하기 때문에 앞서 소개한 다른 모델들의 단점을 보완하기도 하지만 고도각에 따라 이미 가중치가 부여된 상태임에도 불구하고 SNR에 따라 가중치를 중복해서 부여하게 되는 문제가 발생할 수 있다.

$$\sigma_i^2 = k \times \frac{10^{(-0.1 \times SNR_i)}}{\sin^2(\epsilon_i)} \quad (25)$$

2. HK 모델

HK 모델은 가장 최근에 개발된 모델이며 SNR을 기반으로 다중경로 신호와 직선경로 신호를 구분해 가중치를 부여하는 것이 가장 큰 특징이다. 해당 모델을 이용할 경우

SNR의 표준편차가 크게 나타나 다중경로 신호로 예상되는 위성신호를 대상으로 측정잡음을 크게 부여함으로써 위치추정 결과에 미치는 영향을 최소화한다. 또한 SNR의 표준편차가 작게 나타나 직선경로 신호로 예상되는 위성신호에 대해서도 SNR의 크기에 따라 측정잡음을 다르게 적용함으로써 위치추정 정확도를 향상시킬 수 있게 된다.

HK 모델은 식 (26)과 같이 나타낼 수 있으며 식 (26)에서 σ_{SNR} 는 10개 에폭의 SNR 값의 표준편차를 나타내며 SNR_{min} 은 SNR의 최소값이다. 이 값은 관측환경에 따라 한 가지 값으로 고정하여 파라미터화 할 수 있다. 또한 식 (26)에서 A, B, α, β 는 개발 모델의 파라미터이다. 모델식은 기본적으로 SNR의 일반적인 변화경향을 모델링할 수 있는 지수함수 형태를 근간으로 하고 있다. 지수함수의 형태로 모델링하되 SNR 표준편차가 1.0보다 큰 경우 측정잡음을 매우 크게 설정하여 추정값이 측정값의 영향을 적게 받도록 하였다.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{SNR} > 1.0, \\ \sigma_i^2 = A \cdot e^{\alpha(SNR_{min} - SNR)} \\ \sigma_{SNR} \leq 1.0, \\ \sigma_i^2 = B \cdot e^{\beta(SNR_{min} - SNR)} \end{array} \right. \quad (26)$$

그림 22는 자료처리 과정에서 측정잡음이 모델식에 의해 어떻게 반영이 되었는지를 파악하기 위해 가중치 모델별로 자료처리 과정 중에 부여된 측정잡음을 나타낸 것이다. 그림 22(a)는 난수신환경 자료처리 과정 중에 사용된 위성 중 PRN 17 위성신호의 SNR 값을 나타낸 것이며 가로축은 관측시간, 세로축은 SNR이다. 해당 SNR과 모델식을 이용하여 산출된 측정잡음은 그림 22의 (b), (c), (d)와 같으며 가로축은 관측시간, 세로축은 측정잡음을 의미한다. 그림 22(b)는 시그마 모델, 그림 22(c)는 지수함수 모델, 그림 22(d)는 HK 모델의 경우이다. 그림에서 보듯이 시그마 모델은 직선경로 신호와 다중경로 신호를 분리해서 측정잡음을 부여하긴 하지만 그 값의 범위가 0-0.04 범위로 매우 작은 것을 알 수 있다. 즉 직선경로 신호와 다중경로 신호의 측정잡음 차이가 매우 작은 것이다. 따라서 자료처리에 크게 영향을 미치지 않는다. 지수함수 모델의 경우 시그마 모델에 비해서는 상대적으로 측정잡음의 범위가 10배 이상 크긴 하지만 직선경로 신호와 다중경로 신호의 구분이 확연하게 되지 않는 문제가 있다. 그러나 HK 모델의 경우 다중경로 신호를 구분하고 확실하게 측정잡음을 크게 부여하고 있음을 알 수 있다.

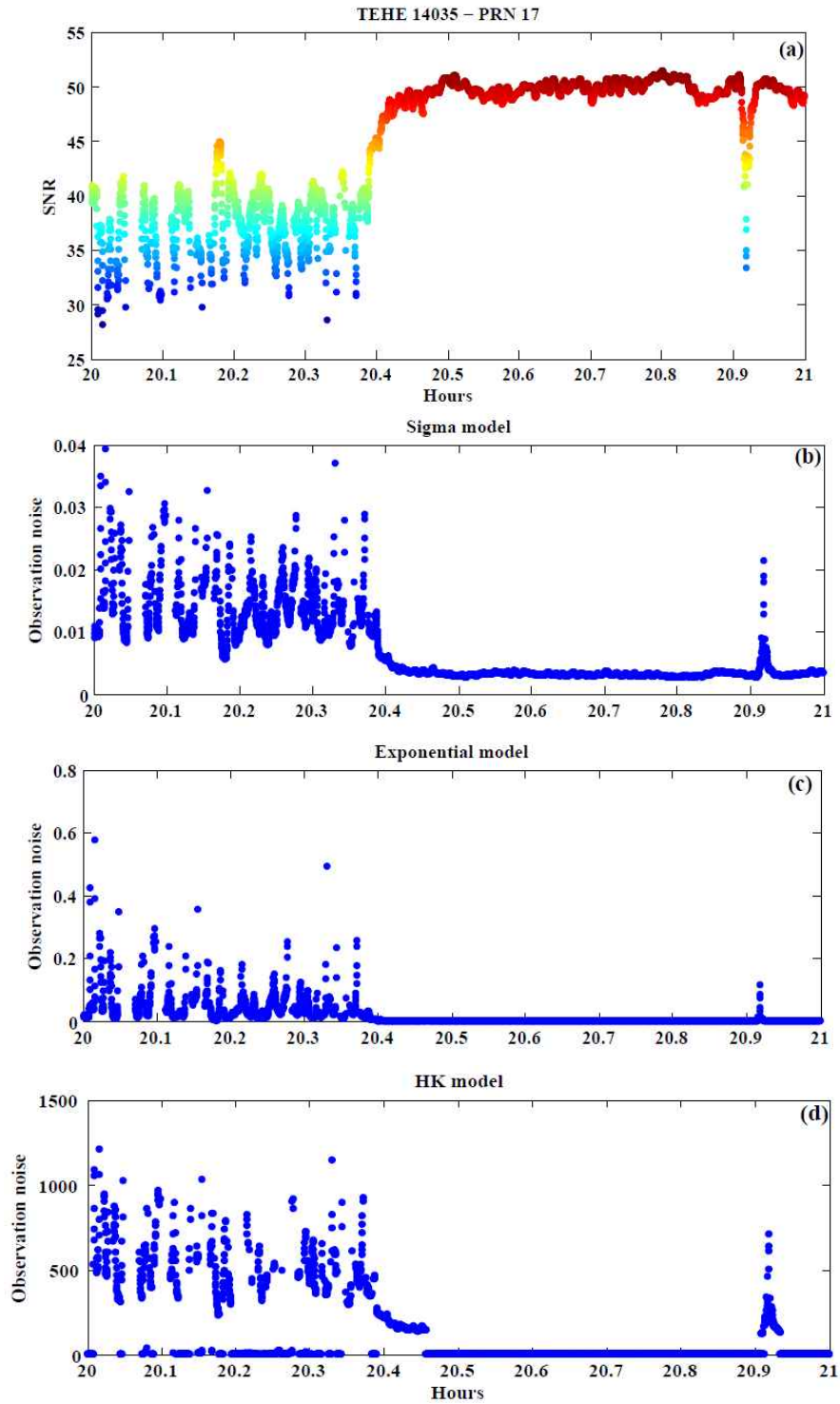


그림 23. PRN 17의 SNR 값과 SNR에 따른 가중치 모델별 측정잡음(김혜인, 2015)

3. 가중치 모델별 성능 비교

앞서 소개한 기존의 다양한 가중치 모델들의 성능은 김혜인(2015)에서 비교·분석한 바 있으며 해당 내용을 정리하여 제시하였다. 정확도 평가는 관측환경에 따라 개활지

(IHU4), 일반 도심환경(SOND), 난수신환경(TEHE)을 대상으로 수행하였으며 확장형 칼만필터 기반 자료처리에 각 가중치 모델을 적용하여 측정잡음을 부여하였다. IHU4는 인하대학교에서 울산과학기술대학교 내에 설치한 임시기준국이며 수신기와 안테나 기종은 Trimble사의 NetRS와 Zephyr II이다. 또한 SOND는 인천 송도 신도시 내 설치한 임시기준국, TEHE는 서울 테헤란로에 설치한 임시기준국이며, GNSS 관측자료는 NovAtel사의 OEMStar 수신기와 GPS-701-GG 안테나를 이용하여 수집하였다. IHU4와 TEHE의 관측 자료는 1초 간격의 1시간 자료, 총 24개 데이터세트를 자료처리 하였으며 SOND의 경우는 1초 간격의 1시간 자료 총 3개의 데이터세트를 자료처리 하였다.

자료처리 결과는 CSRS-PPP(Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning) 온라인 자료처리 결과를 참값으로 가정하여 이와 비교하고 수평, 수직, 3차원 RMS 오차를 산출하였다. 각 관측환경 데이터세트별로 산출된 RMS 오차의 평균값을 각 모델별로 비교하여 그림 23, 24, 25에 나타내었다. 그림에서 ‘w/o weight’은 자료처리 과정에서 가중치를 부여하지 않은 경우를 의미하며 ‘HK model’은 HK 모델을 적용했을 경우의 자료처리 결과이다. 그림 23, 24, 25에서 보듯이 기존의 모델들에 비해서 HK 모델을 적용했을 때 정확도가 눈에 띄게 향상되는 것을 확인할 수 있다. 그림 23에 나타난 IHU4의 경우 가중치가 없을 경우 수평 4.6m, 수직 5.3m의 정확도인데 반해 HK 모델을 적용했을 때 수평오차 3.0m, 수직오차 4.0m로 위치정확도가 향상되었으며, 다른 모델들에 비해서도 적게는 30cm에서 크게는 90cm까지 정확도가 높은 것을 확인하였다.

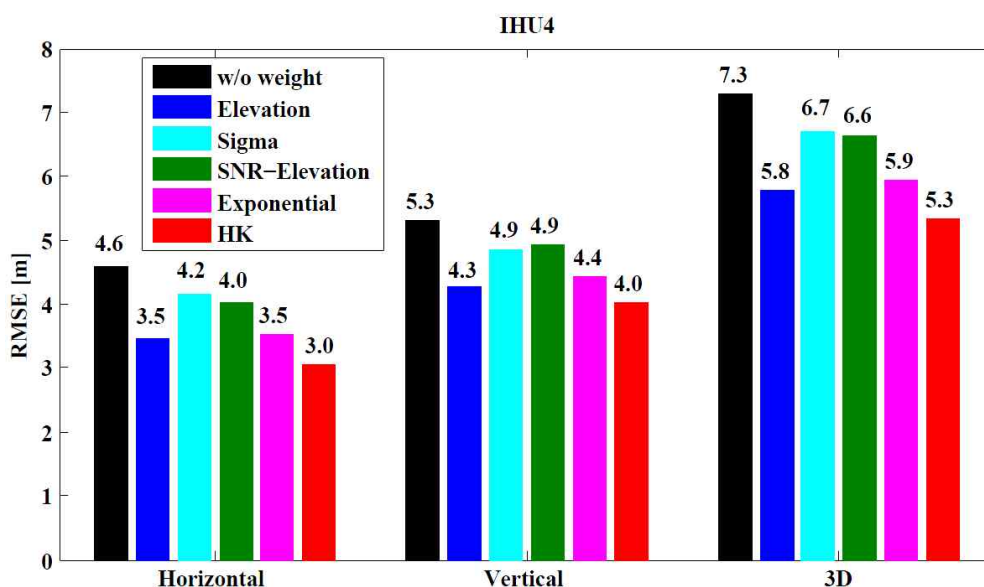


그림 24. 개활지환경 IHU4에서의 가중치 모델에 따른 위치추정 수평, 수직, 3차원 RMS 오차

그림 24에 나타난 SOND의 경우에도 가중치를 부여하지 않는 경우보다 정확도가 3배

이상 크게 향상되어 수평오차 3.8m로 IHU4에서의 정확도와 비슷한 수준의 정확도까지 확보되었다. 특히 다른 모델들에 비해 HK 모델의 성능이 확연하게 뛰어난 것을 확인하였다. 그림 25에 나타낸 TEHE의 경우도 가중치가 없는 경우보다 HK 모델을 이용할 때 정확도가 2배 이상, 3배 가까이 향상되는 것을 확인하였으며, 다른 모델들에 비해 정확도가 약 10m 이상까지도 향상되어 난수신환경에서의 GPS 사용의 한계를 일정수준 극복할 수 있음을 확인하였다. 특히 다중경로 신호의 특성이 반영되는 SNR을 기반으로 가중치를 부여하기 때문에 개활지환경에서보다 일반 도심환경이나 난수신환경에서의 모델의 효과가 더 큰 것을 알 수 있다. HK 모델을 제외한 기존의 모델들 중에서는 지수함수 모델이 가장 정확도가 높게 나타나며 관측환경이 좋지 않을수록 SNR 기반의 모델이 고도각 기반의 모델보다 효과적임을 알 수 있다.

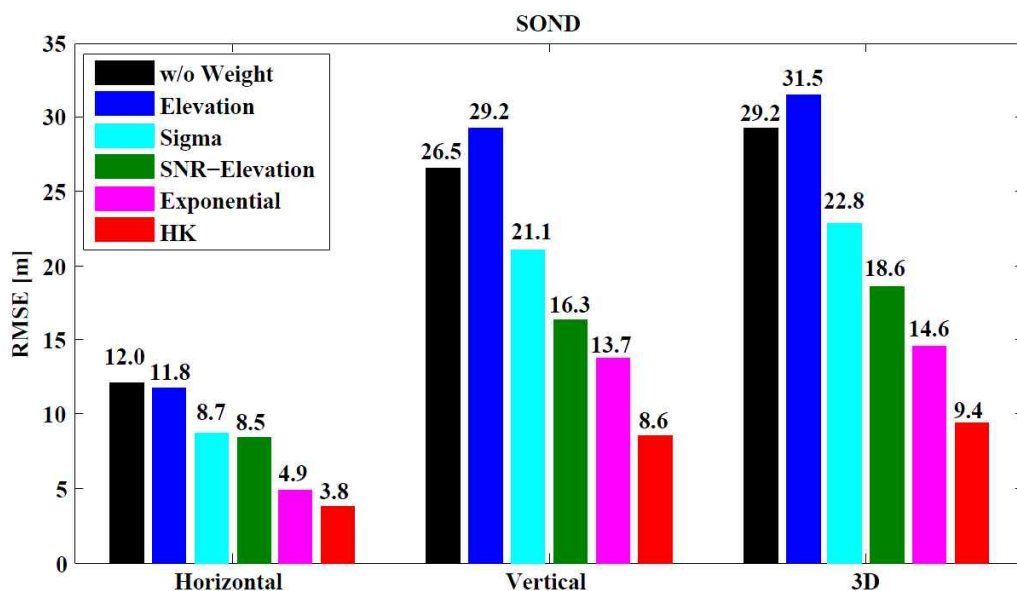


그림 25. 일반 도심환경 SOND에서의 가중치 모델에 따른 위치추정 수평, 수직, 3차원 RMS 오차

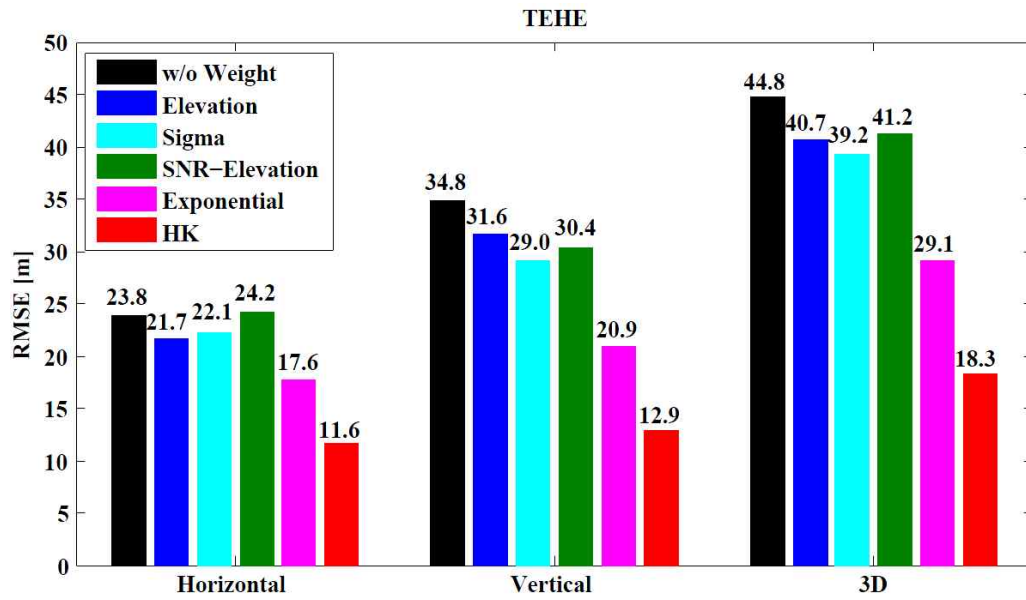


그림 26. 난수신환경 TEHE에서의 가중치 모델에 따른 위치추정 수평, 수직, 3차원 RMS 오차

제 3 절 보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정 S/W 구현

GNSS 사용자들은 측위 정확도, 자료처리 시간, 사용목적 등에 따라 최적의 자료처리 기법을 선택하여 이용한다. 그 중에서 코드신호기반의 의사거리 보정정보 PRC (Pseudo-Range Correction)를 이용한 DGNSS (Differential GNSS) 측위 기법은 실시간으로 사용자의 위치를 서브 미터에서 수 미터 수준의 정확도로 산출할 수 있다. 그래서 미터 수준의 오차를 허용하는 차량용 네비게이션, 위치기반서비스 등의 일상생활 분야뿐만 아니라 측량, 항공, 해상, 물류 등 다양한 분야에 사용되고 있다.

그러나 사용자가 위치한 주변 환경에 따라 통신이 잘 이루어지지 않거나 일시적으로 통신두절, 신호간섭 현상이 나타나 PRC 보정정보를 미수신하는 경우에는 위치정확도가 수십 미터까지 저하된다. Kaplan (1996)에 의하면 보정정보를 사용하면 3m 수준의 위치정확도가 나타나지만 사용하지 않을 때에는 30m 이상 오차가 발생하였다. 그리고 김군택 외 (2011)은 의사거리 보정정보를 사용함으로써 수평오차가 3.8m에서 1.4m로, 수직오차는 5.8m에서 1.7m로 향상됨을 보였다.

이와 같이 위치정확도는 의사거리 보정정보의 사용유무에 따라 크게 달라진다. 그래서 통신음영지역에서도 보정정보를 지속적으로 생성하는 기술이 필요하다. 본 과제를 통해 보정정보를 수신할 수 없는 음영지역에서도 위치보정정보를 생성하는 소프트웨어를 구현하였다.

1. 보정정보 매개변수 생성 알고리즘

보정정보를 자체적으로 생성하기 위해서는 사용자 단말기 저장소에 매개변수가 저장되어 있어야 한다. 이 매개변수는 기준국에서 과거의 PRC 자료와 위성궤도정보를 기반으로 계산되고, 기준국 서버에서 1일 1회 사용자들에게 전파된다.

일반적으로 DGNSS 서비스를 제공하는 GNSS 기준국은 위치 보정정보를 실시간으로 생성하여 전파한다. 이때 NTRIP, DMB, Beacon 등의 전송매체를 이용한다. 사용자들은 전송매체를 통해 수신한 보정정보를 이용하여 향상된 위치정확도를 획득한다. 그러나 통신음영지역에 위치한 사용자들은 보정정보를 수신할 수 없어 위치정확도가 저하되는데 이를 방지하기 위해 보정정보 수신 음영지역에서도 위치를 보정할 수 있게 미리 수신한 PRC 보정정보 매개변수를 이용한다. 시간의 함수로 이루어진 간단한 방정식과 매개변수를 이용하여 보정정보를 자체 생성하고 좌표결정에 사용한다. 이를 통해서 향상되고 신뢰성 있는 위치정확도를 유지할 수 있다.

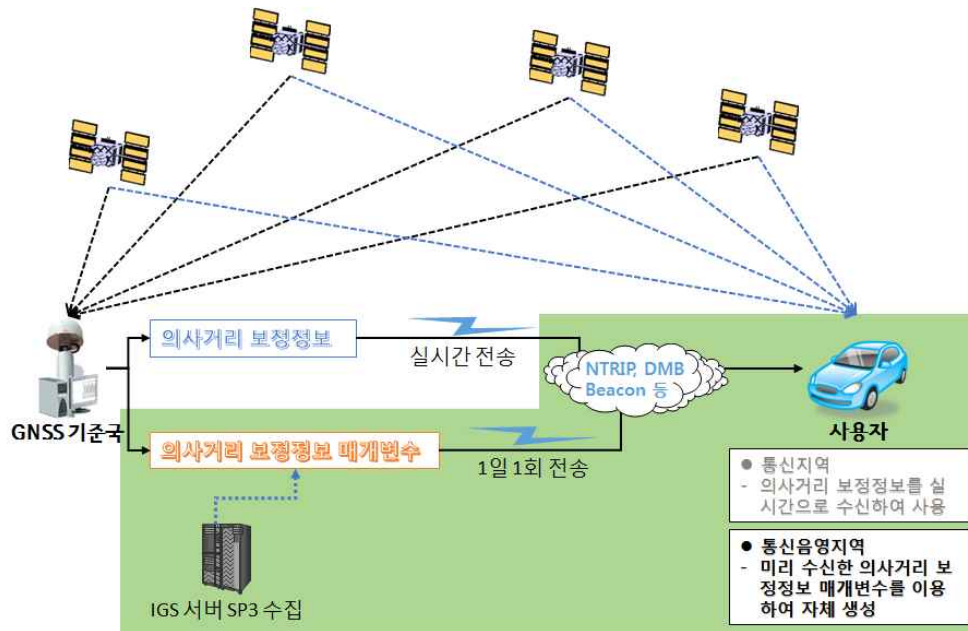


그림 27. PRC 보정정보 제공 개념도

PRC 보정정보 매개변수를 생성하는 알고리즘은 다음과 같다. 기준국 자료처리 서버에서 FTP를 통한 위성궤도력 파일을 매일 정기적으로 내려받아 DB 서버에 저장한다. 내려받은 자료 중 대상날짜 이전의 수일간 자료를 이용하여 위성별 궤적반복주기를 계산한다. 계산된 반복주기값을 반영한 과거 수일간의 PRC 보정정보를 누적하여 취합한다. 취합된 보정정보에 대해 다차원 곡선접합 방정식을 적용하여 모델링하고 방정식의 매개변수를 산출한다. 기준국에서 전파된 매개변수를 사용자 단말기는 처음 접속시에만 1회 수신하여 메모리에 저장한다. 메모리에 저장된 매개변수는 PRC 보정정보를 실시간으로 수신할 수 없는 상황에 사용된다.

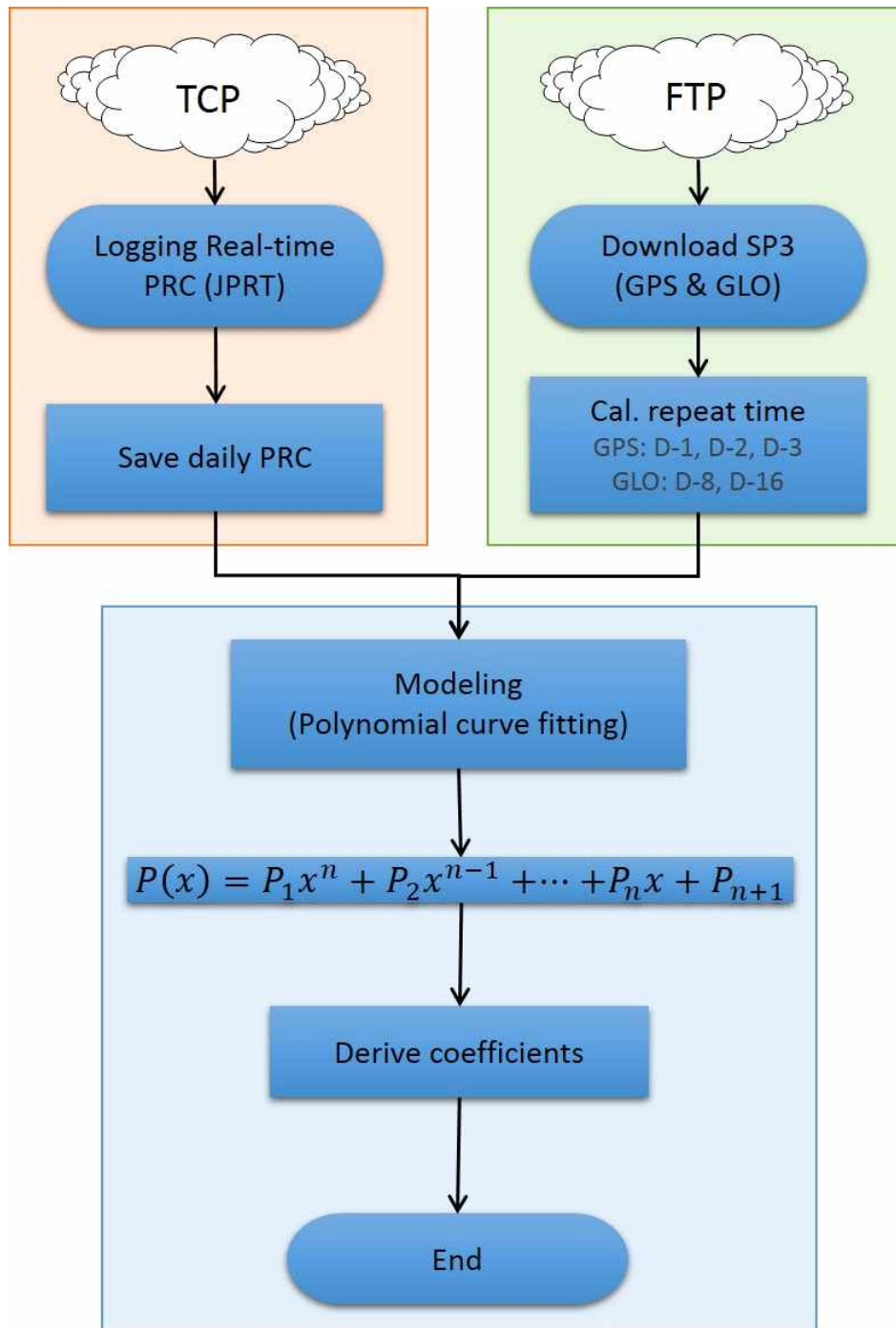


그림 28. PRC 보정정보 매개변수 생성 흐름도

2. 위성궤적 반복주기 계산

GNSS 위성들은 일정한 주기로 지구 주위를 공전하고 있다. 그러나 지구의 자전, 중력, 대기효과 등으로 인하여 위성별 공전주기가 조금씩 차이난다. 그래서 지상에 그려지는 궤적은 조금씩 달라진다. 따라서 지상관측소에서 관측되는 위성들의 동일궤적 반복주기를 계산할 필요가 있다.

본 절에서는 대상 날짜 이전의 수 일 동안 관측된 위성의 정밀궤도력 자료를 기반으

로 시간에 따른 상관관계를 궤도성분별로 계산하여 위성별 궤적 반복주기 값을 산출과정
에 대해 기술한다. 이때 정밀궤도력 자료는 기준국 자료처리서버에서 FTP를 통해 매일
정기적으로 내려받아 DB 서버에 저장된다.

일반적으로 GNSS 위성의 좌표를 계산하고 궤도를 예측하기 위해서는 almanac, 위성
항법메시지, 정밀궤도력 등의 정보를 이용한다. 미국 해안경비대에서 제공하는 almanac
을 이용한 위성의 위치계산에는 케플러 궤도요소와 궤도방정식이 이용되며, 위성 궤도면
기준의 위성 좌표를 계산하고 그것을 지구중심의 3차원 좌표로 변환하여 사용한다. 방송
궤도력 위성항법메시지 정보는 관측위성으로부터 실시간으로 수신 가능한 자료로써,
궤도 생성원리는 almanac을 이용하는 방법과 동일하지만 섭동의 영향을 보정한다는 차
이가 있다. 기준국 수신자료에는 관측위성에 대한 정보만 수록되어 있지만 현재 운영중
인 모든 위성의 정보가 수록된 범용 위성항법메시지 brdc를 인터넷을 통해 내려받아 이
용하기도 한다. 정밀궤도력 SP3는 국제 위성항법서비스 IGS (International GNSS
Service)에서 제공된다. 정확도와 갱신주기에 따라 초정밀궤도력, 신속궤도력, 초신속궤
력으로 분류되지만 일반적으로 하루 정도의 시간지연을 고려하여 초신속궤도력 정보
SP3를 이용한다.

가. GPS

일반적으로 GPS 위성의 공전주기는 약 11시간 58분으로 하루에 두 바퀴씩 지구 주위
를 선회한다. 이런 궤도주기로 인해 GPS 위성들은 며칠이 지나도 동일시각에 관측되는
위성들의 위치가 유사하게 나타난다. 그러나 외부적인 영향으로 인해 위성마다 동일 궤
적을 그리며 나타나는 시간은 조금씩 차이 난다.

위성별 동일궤적 반복 주기값은 IGS에서 제공하는 초신속궤도력 정보파일인 SP3를
이용하여 산출한다. SP3 파일에는 모든 위성 위치에 대해 지구중심 좌표계로 표현된 X,
Y, Z 성분값을 15분 간격으로 기록되어 있다. 위성별 반복주기값은 대상날짜 이전의 3일
간 궤도력 파일을 이용하여 시간흐름에 따른 성분별 상관관계를 계산하여 상관성이 높은
관측시간 차이를 추출하고 하루 단위로 평균하여 산출하였다(이창문 외, 2009).

상관관계를 이용하여 동일궤적이 나타나는 시간을 계산한 결과, 24시간을 기준으로 위
성들의 관측궤적 시간은 하루 전날의 동일 위성에 비해 평균 240초 빨라졌다. 동일한 방
법으로 이틀 전의 동일궤적 시간과 차이를 계산하면 평균 480초로 나타났다. 이를 통해
24시간 기준으로 지상에서 관측되는 GPS 위성들의 동일궤적 반복주기는 하루 전날에 비
해 약 240초씩 빨라지고 있음을 알 수 있다.

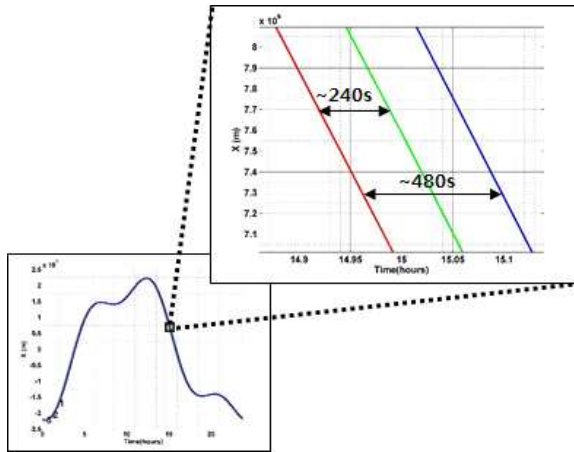


그림 29. GPS 위성궤적 반복주기

표 9. GPS 위성별 반복주기

PRN	D-0 vs. D-1	D-0 vs. D-2
1	242초	487초
2	248초	498초
3	241초	485초
...	...	...
30	236초	476초
31	249초	475초
32	237초	476초
평균	약 240 초	약 480 초

나. GLONASS

GLONASS는 경도 120도 간격으로 3개의 궤도평면에 8개씩 위성들이 배치되어 있다. 궤도경사각이 64.8도이기 때문에 GPS보다 더 극지방쪽으로 지상궤적이 그려진다. 궤도반경은 GPS보다 작은 약 25,510km이고 공전주기도 짧은 약 11시간 16분이다. 그래서 임의의 한 위성이 같은 궤적을 그리며 동일 위치에 나타나기 위해서는 8일의 시간이 소요되고 이 기간 동안 위성은 지구를 17회 공전한다.

정밀궤도력 SP3 파일을 이용하여 9일 동안 기록된 GLONASS 24번 위성의 X 성분을 나타낸 그림에서 위성궤적은 매일 다르게 그리며 진행하다가 8일후에 유사하게 나타난다. 이에 동일궤적을 그리는 8일 간격의 3일치 자료만 다시 표시하였다. 8일마다 관측되는 동일궤적 시간이 약 30분씩 빨라지고 있음을 확인할 수 있다.

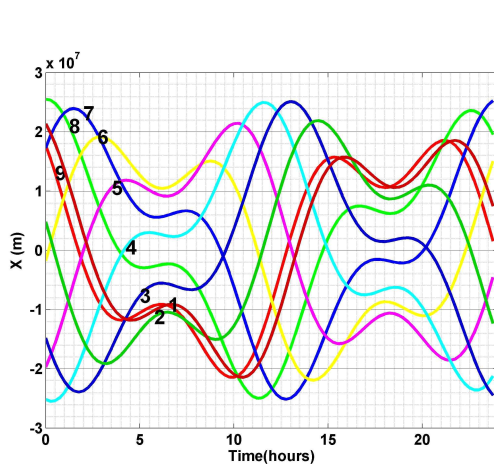


그림 30. GLONASS위성의 9일간 X위치

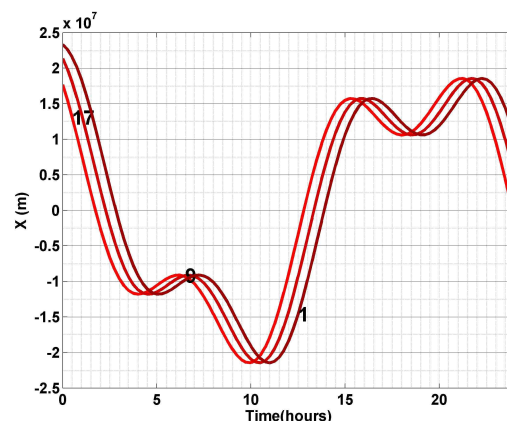


그림 31. GLONASS위성의 8일 간격 X위치

대상일의 SP3 파일을 기준으로 8일전, 16일전과의 성분별 상관관계를 통해 반복주기

를 계산한다. 대상일의 24시간 GLONASS 위성궤적을 기준으로 8일전, 16일전과의 동일 궤적시간차이를 나타낸 아래 그림에서 가로축은 위성번호, 세로축은 동일궤적 시간차이다. 원형심볼(●)은 대상일과 8일전, 사각형(■)은 대상일과 16일전을 각각 표시한다. 대상일과 8일전의 동일궤적 시간차이는 평균 1862초로 나타났고 대상일과 16일전의 시간차이는 평균 3936초로 나타났다. 결과적으로 GLONASS 위성의 동일궤적 반복주기는 8일 간격으로 나타났고 24시간 기준으로 약 1900초씩 빨라지고 있음을 확인하였다.

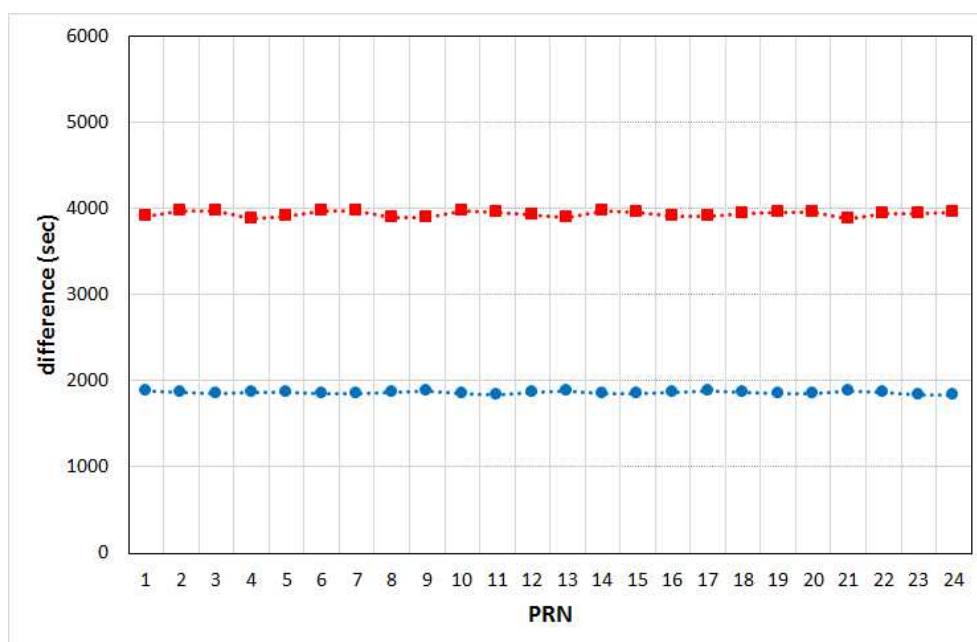


그림 32. GLONASS 위성별 반복주기

다. BeiDou

Beidou는 궤도타입에 따라 크게 세 가지로 분류되며 위성들의 반복주기는 궤도타입에 따라 달라진다(CSNO, 2013). 궤도타입은 크게 정지궤도 (Geostationary Earth Orbit), 경사 지구동기궤도 (Inclined Geo-synchronous Orbit), 중궤도 (Medium Earth orbit)로 분류된다. 적도 상공 35,786km에 위치한 5기의 정지궤도 위성은 동경 58.75°, 80°, 110.5°, 140°, 160°에 각각 배치되어 있어 국내를 포함한 아시아권 상공에서 3~5개의 정지궤도 위성이 항상 관측된다. 경사 지구동기궤도는 정지궤도와 같은 고도에 위치하지만 궤도경사각이 적도면에 대해 55° 기울어져 있고 5기의 위성이 배치되어 있다. 4기의 중궤도 위성은 궤도경사각이 55°인 궤도평면에 고도 21,528km 상공에 배치되어 있다.

위성의 고도와 궤도타입에 따른 반복주기는 상이하다. 정지궤도 위성의 경우에는 약 218초 마다 궤적이 반복되고, 경사 지구동기궤도는 약 239초, 그리고 중궤도 위성은 7일 간격으로 평균 1457초의 차이를 보이며 궤적이 반복된다.

표 10. BDS 궤도타입별 평균 반복주기

Type	D-0 vs. D-1	D-0 vs. D-2	Type	D-0 vs. D-7
GEO	218초	442초	MEO	1457초
IGSO	239초	478초		

3. PRC 모델링

가. PRC 모델링

앞서 계산한 repeat time을 대상 날짜의 PRC 정보에 위성별로 각각 적용하여 취합한다. 아래 그림은 항법시스템별 위성에 대한 repeat time 적용전후를 나타낸 것이다. 적용 전에는 PRC 값의 분포형태가 유사하지만 시간차이가 나타난 반면 적용후에는 시간차이 없이 형태가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

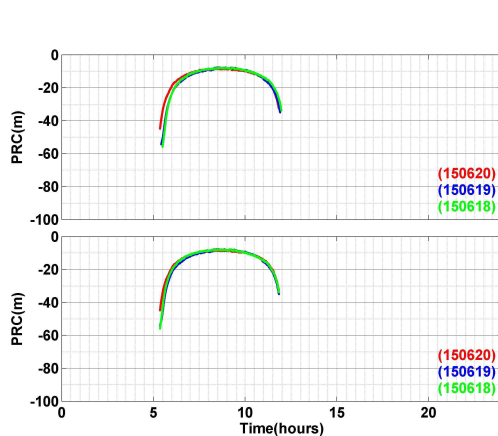


그림 33. GPS PRC repeat time 적용전후

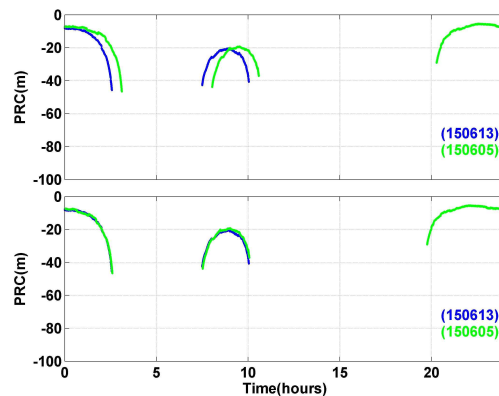


그림 34. GLONASS PRC repeat time 적용전후

시간차이를 적용한 PRC 보정값은 다항식 곡선접합 방정식을 이용하여 모델링하였다. 위성마다 관측되는 시간이 다르기 때문에 24시간 기준으로 보정값이 나타나는 시간을 구간으로 나누고 구간별로 모델링하였다. 4차부터 10차까지의 다차원 곡선접합 차수를 적용한 뒤에 차수별 자료처리 시간과 RMSE(Root mean square error)를 각각 계산하였다. 이때 RMSE는 0에 가까울수록 관측값과 추정값의 오차가 작다는 것을 의미한다.

자료처리 시간은 차수가 증가할수록 조금씩 증가하지만 큰 차이를 보이지 않았고 최적의 차수를 찾기 위한 경계도 불명확하였다. 이에 반해 RMSE는 모델링에 적합한 차수를 찾을 수 있는 경계가 명확히 나타났다. 아래 그림은 GPS와 GLONASS의 모든 위성에 대한 다항식 곡선접합 적용후 RMSE 평균값을 차수별로 나타낸 것이다. 그림에서 세로 막대그래프는 RMSE 평균을 표시하고 꺾은선그래프는 이전차수와 현재차수의 RMSE 차

이를 나타낸다. GPS와 GLONASS의 RMSE값은 6차를 적용하였을 때 다른 차수에 비해 상대적으로 많이 줄어들었다. 그리고 다른 차수와의 경계도 명확히 나타났다. 이런 결과를 기반으로 곡선접합은 6차 다항식 곡선접합 방정식을 이용하여 PRC 보정정보에 대해 모델링하고 위성별로 매개변수를 산출하였다.

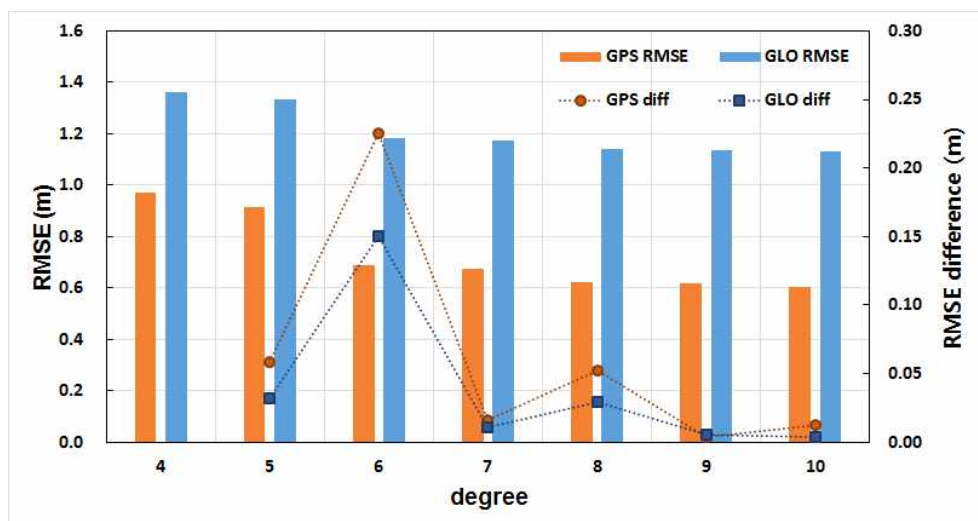


그림 35. 다차원 곡선접합의 차수별 RMSE

김군택 외(2011)는 GPS PRC 구간이 2개 이상 나타날 경우 구간별로 차수를 달리 적용하여 모델링한 바 있다. 그러나 구간에 따라 PRC 관측값의 최적차수가 조금씩 다르지만 모든 구간에 대해 6차를 적용한 결과와 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고 향후 무선 통신을 통해 매개변수를 전송할 경우 데이터전송량을 고려하면 6차 다항식을 이용하는 것이 가장 적합하다고 판단하였다. 아래 그림은 GLONASS 1번 위성에 대해 대상일 이전의 동일궤적 반복일 PRC 관측값(파란점)과 6차 모델링 매개변수를 이용하여 계산한 결과(붉은점)를 일제로 나타낸 것이다.

표 11. 차수별 구간 RMSE

구간 차수	GPS25			GPS26		
	1	2	3	1	2	3
4	0.370	0.340	0.537	0.662	0.408	-
5	0.301	0.339	0.401	0.551	0.389	-
6	0.270	0.339	0.284	0.445	0.389	-
7	0.260	0.328	0.249	0.398	0.389	-
8	0.258	0.326	0.233	0.392	0.389	-
9	0.257	0.325	0.228	0.392	0.388	-
10	0.257	0.325	0.223	0.389	0.388	-

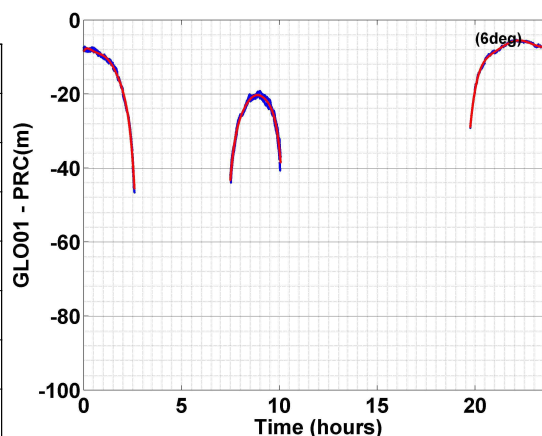


그림 36. PRC 6차 모델링 결과

나. 모델링 정확도 분석

6차 곡선접합 다항식을 적용하여 항법시스템의 모든 위성에 대해 모델링 매개변수를 산출하였다. 산출된 매개변수는 아래 식에 적용하고 대상 날짜의 PRC 값을 추정하여 실제 관측값과 비교 분석하는데 이용된다.

$$PRC(t) = p_1 t^6 + p_2 t^5 + p_3 t^4 + p_4 t^3 + p_5 t^2 + p_6 t + p_7$$

여기서, t 는 임의의 관측시각이고, $p_1, \dots, p_7$ 은 모델링 매개변수이다.

매개변수와 모델 방정식을 통해 산출한 추정값과 실제 관측값을 상호 비교 분석하였다. 아래 그림은 하루 동안 추정값과 관측값의 차이에 대한 평균과 RMSE를 그린 것이다. 그림에서 가로축은 위성번호, 세로축은 평균과 RMSE를 각각 나타내고 원형(●)은 GPS, 삼각형(▲)은 GLONASS를 각각 표시한다.

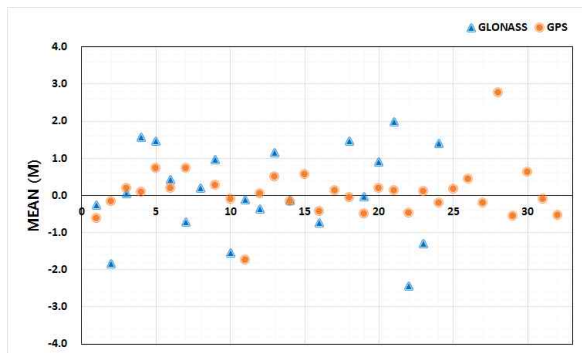


그림 37. 위성별 PRC 차이값의 평균

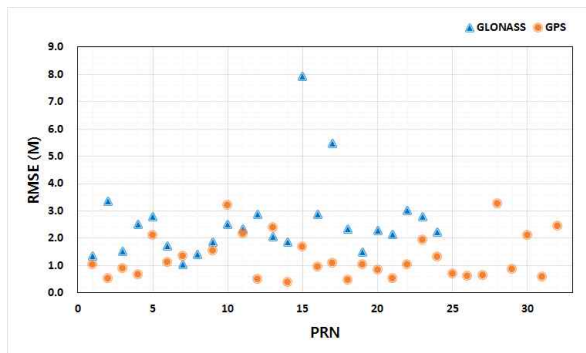


그림 38. 위성별 PRC 차이값의 RMSE

GPS 위성들에 대해 두 값의 차이를 분석한 결과는 평균 0.1m, RMSE 1.3m로 나타났고 대부분의 위성들이 $\pm 1.0\text{m}$ 이내의 편향오차와 3.0m 이내의 RMSE를 보였다. GLONASS의 경우에는 관측값과 추정값의 차이에 대한 평균이 0.2m였고 대부분 위성들이 $\pm 2.0\text{m}$ 이내에 분포하여 GPS 결과에 비해 상대적으로 큰 차이를 보였다. 모든 위성들에 대한 RMSE는 평균 2.6m로 나타났고 3.0m 이상 발생하는 위성들도 보였다. 이와 같이 GLONASS의 오차가 GPS에 비해 더 큰 차이를 보이는 이유는 상대적으로 긴 동일궤적 반복주기인 8일의 시간 차이로 인해 전리권, 대류권 등의 오차 보정값이 상대적으로 크게 달라졌기 때문이라 생각된다.

모델링을 통해 산출한 PRC 추정값이 사용자의 위치정확도를 유지하는데 유효하게 사용될 수 있음을 보이고 있다. 김군택 외(2011)에 의하면 GPS PRC 보정값의 오차가 3.0m 차이나면 0.7m의 수평 측위오차가 발생하였다. 그러나 상대적인 차이는 있지만 대

부분의 위성들이 고도각 낮은 영역에서 PRC 관측값과 모델 추정값이 큰 차이를 보였다. 이는 저고도각에서 위성신호의 대기 투과길이가 짧은 시간에 급격히 변하는 현상을 모델이 제대로 반영하지 못한 것이라 생각된다. 이런 한계점을 해결하기 위해 낮은 고도각 관측값에 대해 가중치를 낮게 설정하여 저고도각 효과를 대처하거나 GNSS 위성들의 위치와 시간을 함께 고려한 PRC 모델링 연구가 필요하다.

4. 매개변수

가. 산출 자동화

위성별 매개변수 산출자동화는 PRC 보정정보 매개변수 생성 흐름도에 따라 매일 1회 00:30 UTC 쯤에 시작한다. 이는 모델링에 필요한 GNSS 관측자료, 위성궤도 자료, PRC 자료를 수집하는 시간이 있기 때문이다. 산출 자동화 시스템은 Windows OS의 스케줄러 프로그램을 이용하여 구축하였다. 매개변수는 ‘○○○polyfitCoeff-yyymmdd.txt’ 형식으로 저장된다. 여기서 ‘○○○’은 위성항법 시스템을 의미하며 GPS, GLO, BDS로 표현된다. ‘yy’는 년도, ‘mm’는 월, ‘dd’는 일을 의미한다. 생성파일은 서버내 정해진 경로(일례로 C:\PRCmodelCoeff\에 저장된다.

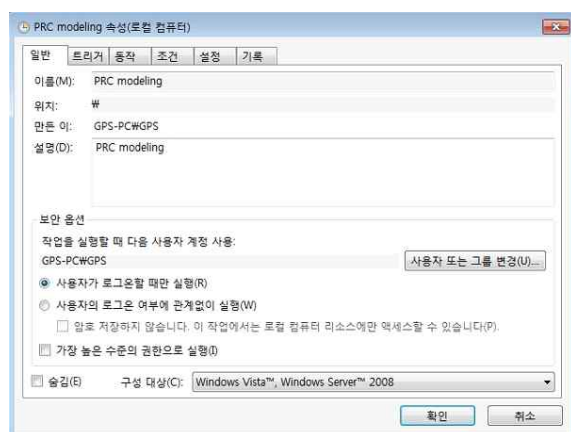


그림 39. 작업 스케줄러 프로그램

GLOpolyfitCoeff-160415.txt	2016-04-15 오전 9:51	TXT 파일	4KB
GPSpolyfitCoeff-160415.txt	2016-04-15 오전 10:02	TXT 파일	4KB
BDSpolyfitCoeff-160415.txt	2016-04-15 오전 10:07	TXT 파일	2KB
GLOpolyfitCoeff-160416.txt	2016-04-16 오전 9:52	TXT 파일	5KB
GPSpolyfitCoeff-160416.txt	2016-04-16 오전 10:03	TXT 파일	4KB
BDSpolyfitCoeff-160416.txt	2016-04-16 오전 10:06	TXT 파일	2KB
GLOpolyfitCoeff-160417.txt	2016-04-17 오전 9:51	TXT 파일	4KB
GPSpolyfitCoeff-160417.txt	2016-04-17 오전 10:00	TXT 파일	4KB
BDSpolyfitCoeff-160417.txt	2016-04-17 오전 10:06	TXT 파일	2KB
GLOpolyfitCoeff-160418.txt	2016-04-18 오전 9:51	TXT 파일	5KB
GPSpolyfitCoeff-160418.txt	2016-04-18 오전 10:02	TXT 파일	4KB
BDSpolyfitCoeff-160418.txt	2016-04-18 오전 10:08	TXT 파일	2KB
GLOpolyfitCoeff-160419.txt	2016-04-19 오전 9:52	TXT 파일	4KB
GPSpolyfitCoeff-160419.txt	2016-04-19 오전 10:02	TXT 파일	4KB
BDSpolyfitCoeff-160419.txt	2016-04-19 오전 10:08	TXT 파일	2KB
GLOpolyfitCoeff-160420.txt	2016-04-20 오전 9:54	TXT 파일	4KB
GPSpolyfitCoeff-160420.txt	2016-04-20 오전 10:03	TXT 파일	4KB
BDSpolyfitCoeff-160420.txt	2016-04-20 오전 10:07	TXT 파일	2KB

그림 40. 항법시스템별 생성 매개변수

나. 매개변수 형식

유·무선 통신을 통해 매개변수를 사용자들에게 전송할 경우 데이터전송량과 사용자 기기의 메모리 용량을 고려하여 매개변수의 크기를 최소화한다. 이를 위해 과거 보정정보를 기반으로 다항식 곡선접합시 오차와 모델링 시간을 고려하여 6차 다항식을 이용하는 것이 가장 적합하다고 생각된다. 향후 기반시설 및 사용자 기기의 성능에 따라 차수가 변경될 수도 있다. 또한 매개변수의 크기 및 자리수를 줄이기 위해 위성이 관측되는

구간의 중간 시간을 y축 절편으로 이동하여 곡선접합하고 매개변수를 산출하였다.

산출된 매개변수는 4개의 정수형과 7개의 실수형 숫자로 구성되어 있다. 아래 표는 GPS PRC 매개변수를 일례로 나타낸 것이다. 매개변수 최대 행렬 크기는 64(행)×11(렬)로써 GPS 경우에만 해당되고 GLONASS, BeiDou 등 다른 위성항법 시스템의 경우에는 실제 운영 위성 수에 따라 크기가 달라진다.

표 12. 매개변수 형식 및 사례

위성 번호	위성관측			매개변수						
	시작	종료	이동	6차	5차	4차	3차	2차	1차	y절편
1	0	24	20	-0.06722	0.05786	0.658718	-0.39409	-2.41344	0.493106	-2.83741
2	13	37	26	-0.02429	0.015104	0.272996	-0.21432	-1.29377	0.276196	-7.90659
3	5	16	13	-2.26327	-2.22488	4.207093	3.215239	-6.46619	-2.8898	-7.98564
3	16	29	22	-0.15857	-0.36333	0.739823	1.464946	-2.2717	-2.4298	-4.27944
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
32	0	16	12	-0.728388	0.470176	3.607420	-1.378014	-6.550401	1.391582	-7.322607
32	16	24	21	-0.494466	-1.154652	1.153474	3.129411	-2.062620	-2.042799	-7.155949
%2d	%2d	%2d	%2d	%f	%f	%f	%f	%f	%f	%f
- 위성번호: GNSS 위성의 고유번호 - 위성관측: 위성마다 관측되는 시간이 다르기 때문에 24시간 기준으로 보정값이 나타나는 시간을 구간으로 나누고 구간별로 모델링함 - 시작,종료: 각 구간별 시작시간과 종료시간(실제 관측되는 시간보다 큼)을 나타냄. 위성별 전체구간의 시간크기는 24시간으로 동일함 - 이동: 매개변수의 크기 및 자리수를 최소화하기 위해 각 구간별로 실제 관측되는 시간의 중간값 정시를 y절편에 맞추려고 이동한 시간임 - 매개변수: 6차 곡선접합 방정식을 이용하여 산출한 7개의 매개변수(적용되는 곡선접합 방정식의 차수에 따라 매개변수 개수가 달라짐)										

다. 매개변수 사용

사용자들은 전송매체를 통해 PRC 보정정보를 실시간으로 수신한다. 그리고 1일 1회 매개변수를 수신한다. 통신이 원활한 환경에서는 전송매체를 통해 실시간으로 수신한 PRC 보정정보를 이용하여 좌표를 결정하지만 PRC 정보를 미수신하는 통신음영지역에서는 사용자 단말기 메모리에 저장해둔 매개변수를 이용한다.

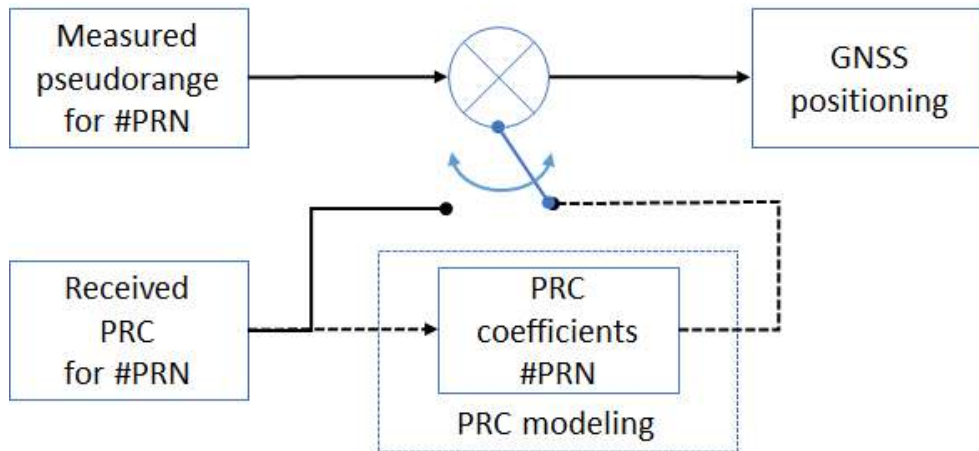


그림 41. PRC 정보 이용 개념도

사용자단에서 매개변수를 사용하여 PRC 보정정보를 산출하는 과정은 다음과 같다. PRC 보정정보가 필요한 시각(년도, 연중일, GPS second)과 대상 위성번호를 입력값으로 사용한다. 그리고 다차원 곡선접합 방정식을 이용한 산출함수를 통해 모델링값을 출력한다. 이때 사용되는 입력값, 출력값, 예시, 서브함수들은 다음과 같다.

표 13. 매개변수산출 입출력 변수 및 함수

Input	년도(2자리 정수형), 연중일(3자리이하 정수형), gps second(정수형), 위성번호(정수형)
Output	PRC 모델링값(실수형)
서브함수	- ydoy2ymd (년도와 년중일을 연, 월, 일로 바꾸는 함수) - load (선택한 파일을 행렬로 저장하기 위해 로딩) - gs2h24 (gps second를 24시간으로 표시하는 함수)
(사용 예시)	dPRCcal = PickGPSPRCcal(15, 143, 36000, 1)

제 4 절 국내 테스트베드에서의 개발기술 성능 검증

앞서 3절에 기술한 통합 GNSS 시스템 자료처리 S/W, 다중경로오차 저감 S/W, 위치 보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정을 위한 S/W를 융합하여 최종적으로 골목길 환경에서 위치정확도 향상을 위한 자료처리 S/W를 구현하였으며 개발기술의 성능을 검증하기 위하여 국내에 소규모 테스트베드를 구축하고 정확도를 평가하였다. 이 절에서는 테스트베드 구축 내용과 개발기술의 성능 검증 결과를 기술한다.

1. 테스트베드 구축

개발기술의 성능을 검증하기 위하여 개활지 환경과 골목길 환경을 대표하는 소규모의 테스트베드를 구축하였다. 개활지 환경으로는 인천 정석항공과학고등학교 운동장에 R1과 R2를 선정하였으며, 골목길 환경으로는 인하대학교 후문에 위치한 도로폭 10m 이내 좁은 골목길을 대상으로 P1에서 P9까지 총 9개의 측점으로 구성하였다.

각 테스트베드 내의 측점은 그림 41에 항공사진과 함께 나타내었다. 그림 41에서 확인할 수 있듯이 R1과 R2는 개활지 환경인 운동장에 위치하고 있으며, P1~P4는 남북방향 도로에, P5~P9는 동서방향 도로에 위치하고 있다. 그림 42(위)는 R1의 환경을 나타낸 것이며, 그림 42(아래)는 P6의 환경을 나타낸 것이다.

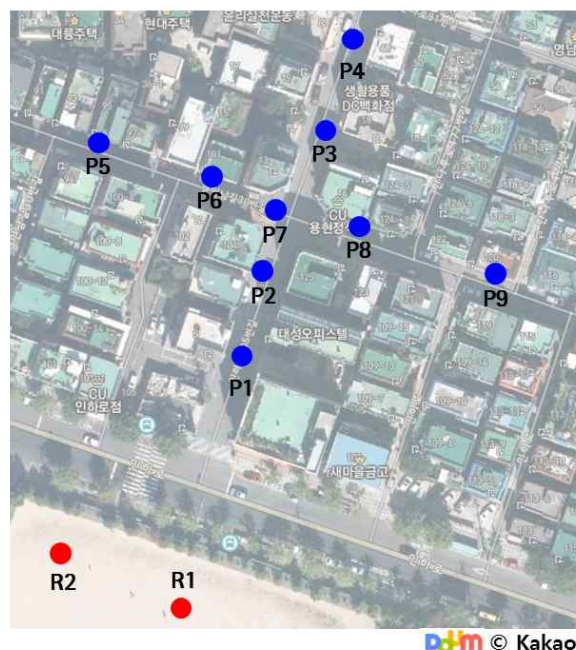


그림 42. 테스트베드 내 측점



그림 43. R1과 P6의 관측환경

GPS 정밀자료처리 및 토탈스테이션 측량을 통해 각 측점의 정밀좌표를 산출하고 측정값과 정밀좌표의 비교를 통해 RMS 오차를 산출하여 개발기술의 측위 정확도를 평가하였다. R1과 R2는 측지용 장비인 JAVAD Sigma 수신기와 JAVAD GrAnt-G3T 안테나를 이용하여 2시간씩 GPS 관측자료를 수집하고 이를 고정밀 자료처리 소프트웨어 GIPSY-OASIS로 자료처리하여 수 cm 정확도의 정밀좌표를 도출하였으며, R1과 R2를 기지점으로 골목길 내 측점 P1~P9로 이어지는 추가 보조점들로 폐합트래버스망을 구성하여 각 측점의 정밀 좌표값을 산출하였다.

정확도 평가를 위한 측량은 2015년 10월 22일에 각 측점당 약 10분씩 진행하였으며 골목길 환경의 경우 주차되어 있는 차량 때문에 측정이 불가능한 측점들은 제외한 P2, P3, P7, P8에서 수행하였다. 관측장비의 구성은 그림 43과 같다. 그림 43(a)에 나타낸 바와 같이 스마트폰과 u-blox 안테나를 나란히 위치하도록 두고 개별적으로 동시 관측을 실시하였으며 이 때 원시자료는 그림 43(b)의 저가 모듈이 탑재되어 있는 u-blox

EVK-M8T를 이용하여 수집하였다. 해당 장비는 GPS/GLONASS 또는 GPS/BeiDou 모드를 지원하며 원시자료 출력 기능이 탑재되어 있다. 제원상 위치 정확도는 2.5m CEP(Circular Error Probability)이며 5Hz까지 위치결정이 가능하다.

개발기술을 이용하여 u-blox EVK-M8T에서 출력되는 GPS/GLONASS 원시자료 중 코드데이터를 처리하였으며, 기존 기술과의 성능 비교를 위해 u-blox EVK-M8T와 삼성 Galaxy Note 2 스마트폰 내 자체 알고리즘을 통해 산출되는 NMEA(National Marine Electronics Association) 결과를 함께 비교하였다. u-blox와 스마트폰에서 출력되는 NMEA 결과 역시 개발기술 자료처리와 마찬가지로 GPS/GLOANSS 코드데이터 처리 결과이다.



그림 44. 정확도 평가를 위한 장비구성

2. 정지측위 정확도 평가

개발지 환경에서의 정지측위 정확도는 표 14에 나타내었다. 표 14에서 ‘JPS’는 이 연구에서 개발한 지능형 GNSS 측위 기술을 나타내며, ‘u-blox’는 u-blox EVK-M8T에서 내부 알고리즘으로 산출된 결과를 의미한다. 그리고 스마트폰에서 출력된 결과는 ‘smartphone’으로 표기하였다. 표 14에 나타낸 바와 같이 지능형 GNSS 측위 기술을 이용할 경우 기존의 장비를 사용할 경우보다 대부분의 경우 정확도가 향상되었으며 u-blox 대비 평균 45%, 스마트폰 대비 평균 52% 3차원 정확도가 향상되는 것을 확인하였다.

표 14. 개활지에서의 정지측위 정확도 평가 결과

	JPS	u-blox	smartphone
수평 RMS 오차(m)			
R1	1.9	1.6	2.3
R2	1.9	1.6	3.5
수직 RMS 오차(m)			
R1	1.2	5.3	5.7
R2	2.6	4.4	4.1
3차원 RMS 오차(m)			
R1	2.3	5.5	6.2
R2	3.2	4.7	5.4

골목길 환경에서의 정지측위 정확도는 그림 44에 나타내었으며, 표 14와 동일하게 ‘JPS’, ‘u-blox’, ‘smartphone’으로 표기하였다. 스마트폰 결과의 경우 측점 P3에서의 테스트 당시 스마트폰의 NMEA 수집 앱의 동작이 불안정하여 결과 데이터 저장에 누락되었다. 그림 44를 통해 골목길 환경에서도 개발기술을 이용할 경우 대부분 정확도가 향상되는 것을 확인하였으며 u-blox 대비 평균 37%, 스마트폰 대비 평균 53% 3차원 정확도가 향상되는 것을 확인하였다.

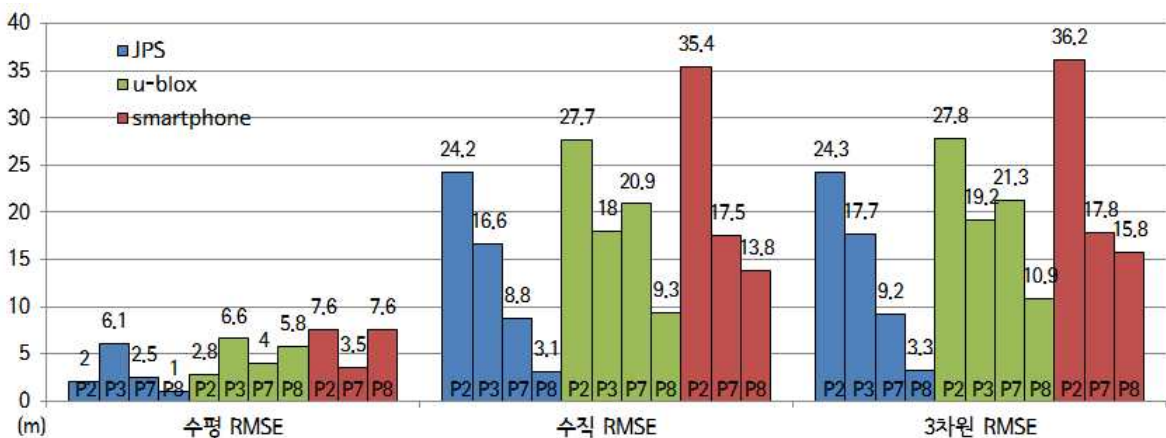


그림 45. 골목길에서의 정지측위 수평, 수직, 3차원 RMS 오차

3. 이동측위 정확도 평가

골목길 테스트베드에서의 이동측위 결과는 그림 45와 46에 나타내었다. 그림 45는 테스트베드 내 측점 P1에서 P4까지 이동하면서 실시한 결과이고, 그림 46은 측점 P9에서 P5까지 도보로 이동하면서 테스트한 결과이다. P4에서 P1까지의 이동경로는 북쪽에서 남쪽방향으로 약 90m 구간이며, P9에서 P5까지의 이동경로는 동쪽에서 서쪽

방향으로 약 100m 구간이다. 골목길 내의 테스트베드는 관측환경이 워낙 좋지 않기 때문에 RTK(Real Time Kinematic) 측량 등을 이용한 이동경로의 정밀좌표 산출이 불가능하며, 따라서 이동궤적으로만 정확도를 확인하였다.

그림 45에 나타내었듯이 u-blox 결과는 위치결정 결과가 골목길을 벗어나 10m 이상 편의(bias)가 발생하는 반면 개발기술을 이용할 경우 이동경로를 따라 비교적 정확하게 위치가 결정되는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 45과 46에 나타낸 바와 같이 스마트폰 결과의 경우 편의가 발생할 뿐만 아니라 오차가 누적되어 점차 이동경로를 벗어난 방향으로 위치결정이 이루어지는 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 특히 u-blox 결과의 경우 실제 이동경로의 시작/종료 지점과 상이한 지점에서 시작/종료되는 것을 확인할 수 있으며, 측점과 측점을 일대일로 비교했을 때 그 차이가 매우 크게 나타난다. 장비 내부의 자료처리 알고리즘이 공개되지 않는 기 때문에 정확한 원인 분석은 어렵지만, 초기좌표 계산 방법, 필터 파라미터 설계 등에 의해 이러한 결과가 나타나는 것으로 판단된다.

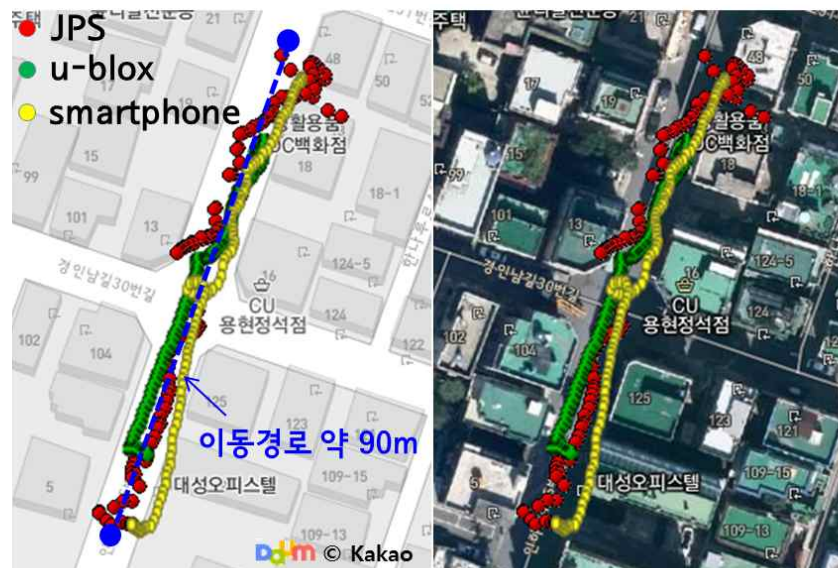


그림 46. 골목길 내 P4~P1 경로의 JPS, u-blox, 스마트폰 이동측위 궤적 비교

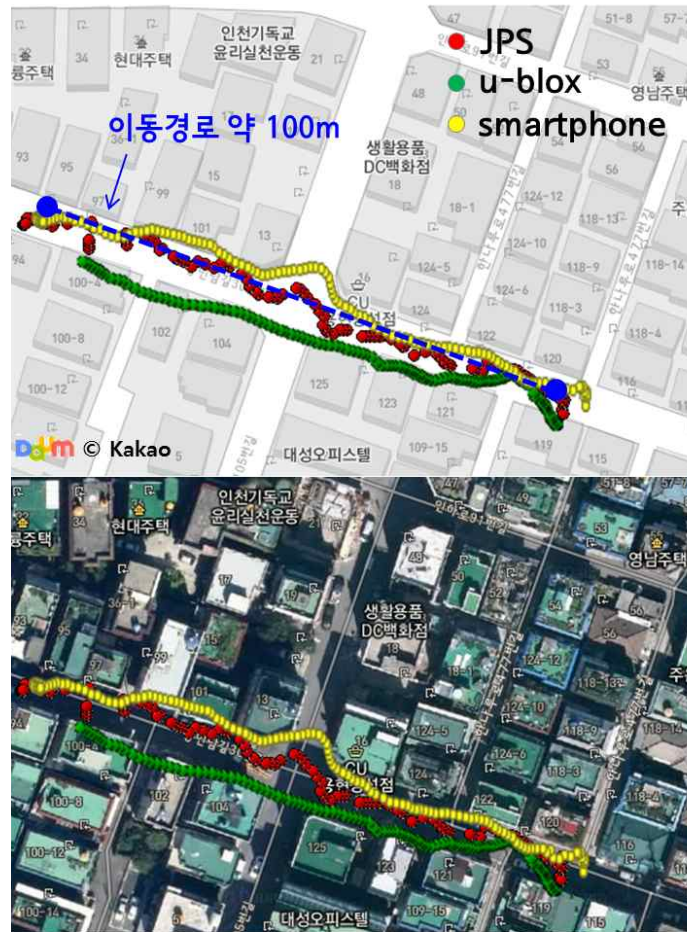


그림 47. 골목길 내 P9~P5 경로의 JPS, u-blox, 스마트폰 이동측위 궤적 비교

4. 하드웨어 호환 및 적용 가능성 검토

본 연구개발에서는 개발기술의 정확도 평가에 그림 43에 나타난 바와 같이 u-blox 모듈을 사용하였으며, 단말기 시작품 및 제품 제작에도 가격 대비 성능이 뛰어난 u-blox 모듈을 사용하였다. 그러나 개발기술은 S/W 라이브러리 형태이기 때문에 GNSS 원시데이터 출력이 가능한 장비라면 어떤 장비의 자료처리도 가능하다. 따라서 수요처의 요구에 따라 u-blox 외의 다양한 칩셋에 적용하여 개발기술을 활용할 수 있으며 호환성에 문제가 없다. 앞서 제3장의 1절과 2절에 기술한 바와 같이 이미 요소 기술 개발 단계에서 JAVAD, Trimble, NovAtel 등 다양한 제조사의 제품들을 활용하여 검증작업을 수행하였으며 문제가 없음을 확인하였다. 또한 요소기술들을 통합한 골목길 환경에서 위치정확도 향상을 위한 S/W를 그림 47에 나타난 ComNav사의 k500 모듈을 기반으로 테스트 한 결과 표 15에 나타난 바와 같이 개활지에서 수평 RMS 오차 0.99m, 골목길에서 수평 RMS 오차 3.04m로 u-blox와 유사한 성능을 나타내는 것을

확인하였다. 이를 통해 이 연구를 통해 개발된 S/W는 u-blox 외의 GNSS 수신기에도 호환이 가능하고 문제없이 적용할 수 있음을 알 수 있다.



그림 48. ComNav k500 수신기

표 15. ComNav k500 기반의 개발기술 정확도 평가 결과

	개발지 (창업지원센터 옥상)	골목길 (측점 P7)
수평 RMS 오차	0.99	3.04
수직 RMS 오차	1.38	6.13
3차원 RMS 오차	1.69	6.85

제 5 절 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 단말 개발

이 연구개발의 결과인 통합 GNSS 자료처리 S/W의 수요처는 차량용 내비게이션 단말기, 스마트폰, 태블릿 PC 등 GNSS 모듈을 탑재한 위치정보기기 제조사라 할 수 있다. 이 연구개발에서 제작한 단말기 시작품은 그 자체로 GNSS 측위 단말기 기능을 수행할 수 있는 제품으로서의 역할뿐만 아니라 위와 같은 위치정보기기 제조사에서 S/W 형태의 자료처리 라이브러리를 탑재한 제품을 개발할 때 기준이 되는 레퍼런스 수신기로서의 역할을 할 수 있다. 따라서 단말기 시작품에 탑재되는 GNSS 모듈은 현재 시장에서 널리 사용되고 있는 GNSS 모듈과의 호환성을 고려하여 선정하였고, 단말기 시작품 제작

에 앞서 자료측위 S/W의 성능 검증과 제품화에 활용할 수 있도록 PC 환경에서 동작하는 라이브러리 및 외장형 GNSS 수신기로 구성된 기준수신기를 구현하였다. 또한, 소프트웨어와 달리 하드웨어는 사양의 변경 또는 추가에 많은 시간과 비용이 필요한 점을 감안하여 향후 수요처의 요구에 따른 기능 추가가 용이하도록 시작품 단계에서부터 터치스크린 LCD, 블루투스 모듈, DMB 모듈 등을 기본 탑재해서 개발하였다.

1. 시스템 검증을 위한 PC 기반 측위 기준수신기 개발 및 검증

측위 S/W의 기능과 성능을 PC 환경에서 먼저 테스트함으로써 시작품 단말기 제작 과정에서 발생할 수 있는 시행착오를 최소화하고, 시작품 단말기의 성능을 검증하기 위한 용도로 활용하기 위해 PC(노트북) 본체 및 외장형 GNSS 수신기와 측위 S/W로 구성된 기준수신기를 제작하였다.

가. 기준수신기의 구성

기준수신기의 외장형 GNSS 수신기는 저가형 단말기에 탑재할 GNSS 모듈과 동일한 모듈을 탑재한 u-blox 사의 Evaluation Kit를 사용하였으며, 각종 데이터 입출력 통신장치, CPU 및 RAM 등의 하드웨어는 Windows OS가 탑재된 노트북의 하드웨어를 이용하였다.

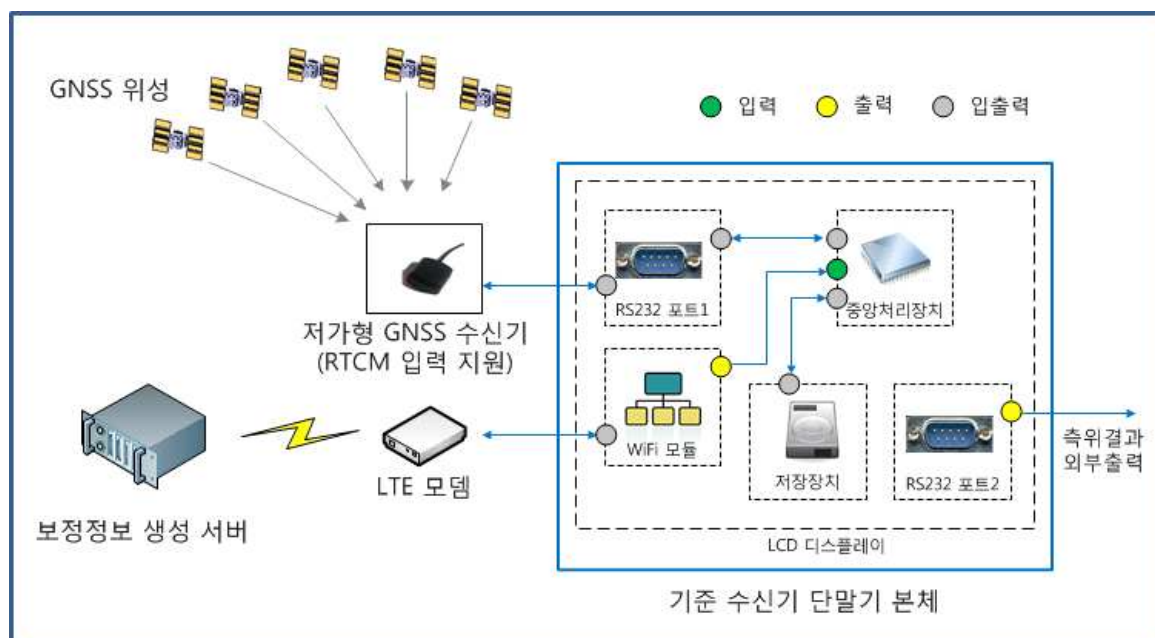


그림 49. 기준수신기 구성도

(1) 하드웨어 구성

기준 수신기의 하드웨어 구성은 다음과 같다.

표 16. 기준수신기 하드웨어 구성

항목	기능
저가형 GNSS 수신기	GNSS 기반 단독측위, RTCM 수신 DGNSS 보정 측위
RS232 포트1	GNSS 수신기로 RTCM 전달 GNSS 측위결과 수신 기준 수신기 제어신호 입력
LTE 모듈	보정정보 생성 서버와 LTE 망으로 연동
WiFi 모듈	보정정보 수신
중앙처리장치	다중경로 오차 저감 기능을 이용한 좌표 계산 측위 불능 지역에서 위치 결정 RTCM 부호화 보정정보 및 측위 데이터 입출력 제어
저장장치	음영지역용 보정정보 저장
RS232포트 2	측위결과 외부 출력
LCD 디스플레이	사용자 입력, 기준 수신기 동작상태 표시

(2) 소프트웨어 구현

기준 수신기의 소프트웨어 중 실시간 환경에서 동작하는 자료처리 라이브러리 및 어플리케이션 프로그램은 Microsoft 사의 Visual Studio 2008 버전을 이용해서 제작하였으며, 상용 GPS 기준수신기 소프트웨어인 DGPSViewer 프로그램을 이용하여 자료처리 어플리케이션 프로그램으로부터 출력되는 자료처리 결과의 정확도를 검증하는 작업을 수행하였다.

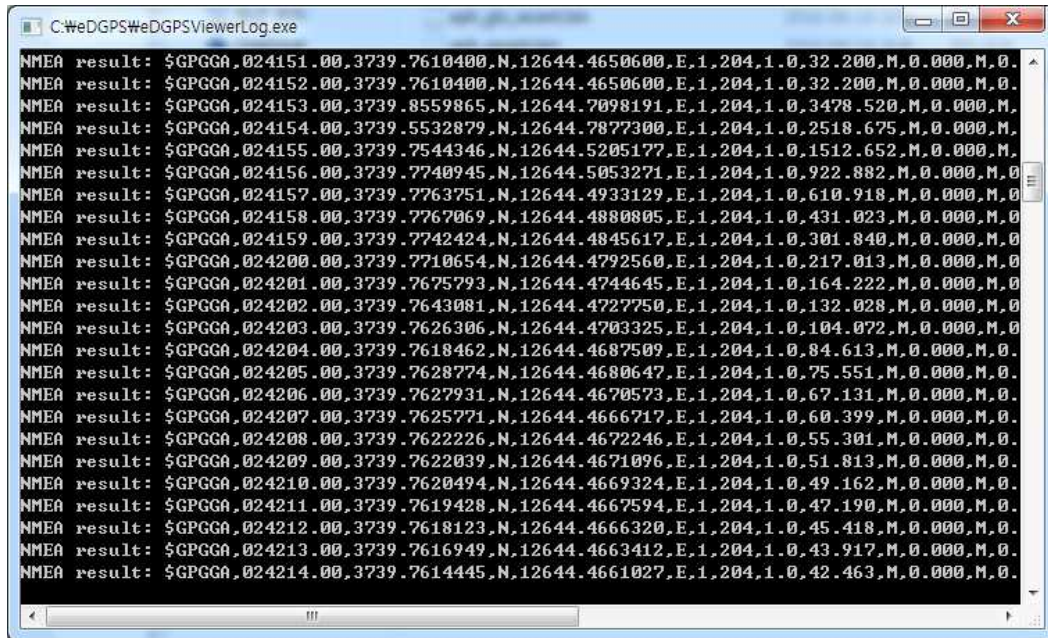


그림 50. 기준수신기용 실시간 자료처리 S/W의 동작화면

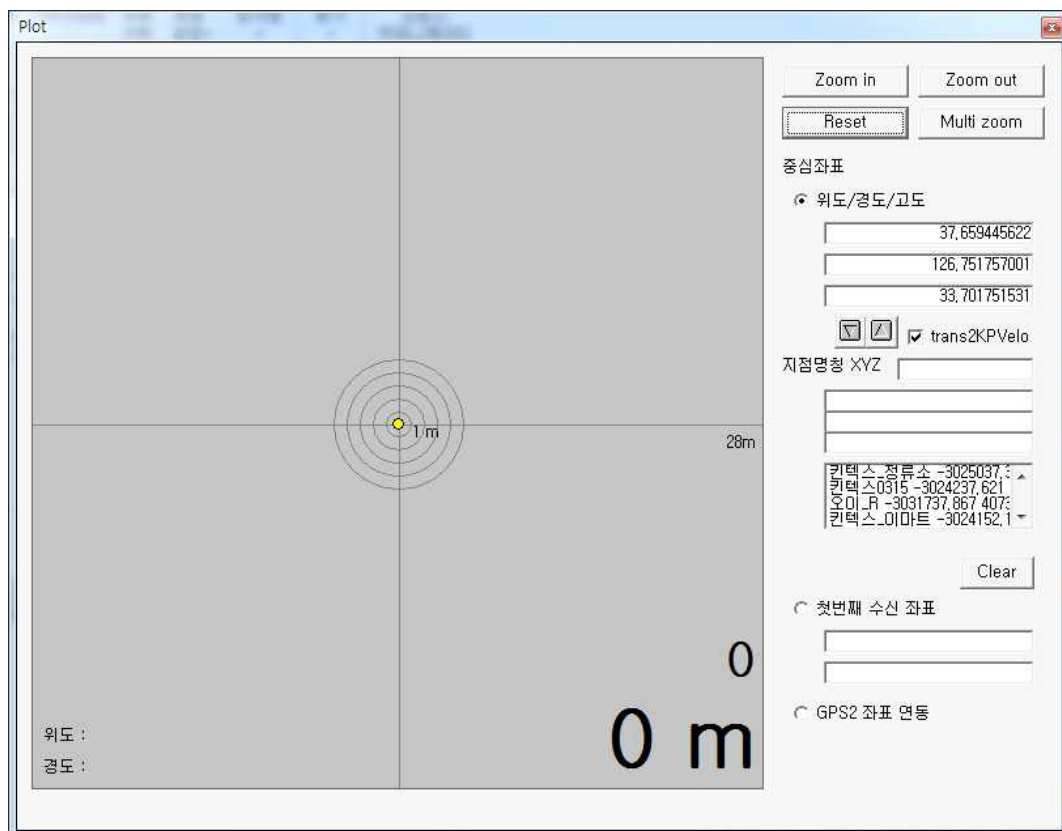


그림 51. GPS 기준수신기 상용 S/W(DGPSViewer)의 실행화면

나. 기준수신기를 이용한 측위 알고리즘 성능 검증

기준 수신기를 이용하여 측위 알고리즘의 성능을 검증하는 작업은 다음의 세 가지 방법으로 수행하였다.

(1) 실시간 자료처리 어플리케이션의 동작 검증

외장형 GNSS 수신기로부터 실시간으로 수신된 GNSS 데이터를 자료처리 어플리케이션 프로그램으로 전달하고, 자료처리 어플리케이션 내부에서 동작하는 자료처리 라이브러리에서 출력한 결과를 GPS 기준수신기 S/W인 DGPSViewer 프로그램에 표출하는 방식으로 실시간 자료처리 소프트웨어의 동작을 검증하였다. 또한 GNSS 관측 데이터 및 실시간 자료처리 결과를 로그 파일로 저장하고, 자료처리 알고리즘에서 GNSS 관측 데이터를 읽어 들여 처리한 결과와 실시간 자료처리 소프트웨어의 처리 결과가 일치하는지 여부를 비교하여 기준수신기의 동작에 오류가 없음을 확인하였다.

(2) 기준수신기의 측위 정확도 검증

기준수신기의 측위 정확도 검증을 위해 다음과 같은 형식으로 1초 간격으로 실시간 측위 결과 로그를 저장하였다.

표 17. 측위 결과 로그의 형식

필드명	설명
TOW	GPS Week Time
X	ECEF X 좌표
Y	ECEF Y 좌표
Z	ECEF Z 좌표

2. 저가의 지능형 측위 단말기 시작품 개발

단말기 시작품에 탑재한 GNSS 수신 모듈은 시중의 차량용 내비게이션 단말기 또는 블랙박스 등 시장에서 널리 사용되고 있는 GNSS 모듈과 호환성이 높은 제품을 적용함으로써 이 연구개발의 결과물인 GNSS 통합 자료측위 소프트웨어를 향후 다양한 분야의 단말기에 적용하는데 용이하도록 하였으며, 자료처리 결과는 NMEA 형식으로 출력하도록 개발하였다.

가. 하드웨어 제작

단말기 시작품 하드웨어의 핵심 부품인 GNSS 모듈은 시중에서 널리 사용되고 GNSS 모듈과 PIN 호환성이 유지되는 제품을 탑재하였으며, 향후 수요처의 요구에 따라 기능을 추가할 수 있도록 터치스크린 LCD 디스플레이, LAN 포트, DMB, WiFi, USB, bluetooth 모듈 등을 탑재해서 제작하였다.

단말기 시작품 하드웨어의 사양은 다음과 같다.

- 보드 size: 65mm × 87mm
- 기구 size: 84mm × 114mm × 37mm
- CPU: Cortex-A8 기반
- RAM: 512MB
- GNSS 모듈: GPS/GLONASS 듀얼모드 지원 모듈 (u-blox)
- GNSS 안테나 타입: SMA
- 디스플레이: 터치 LCD
- 통신모듈: WiFi, USB, bluetooth 탑재
- 전원: USB, 배터리

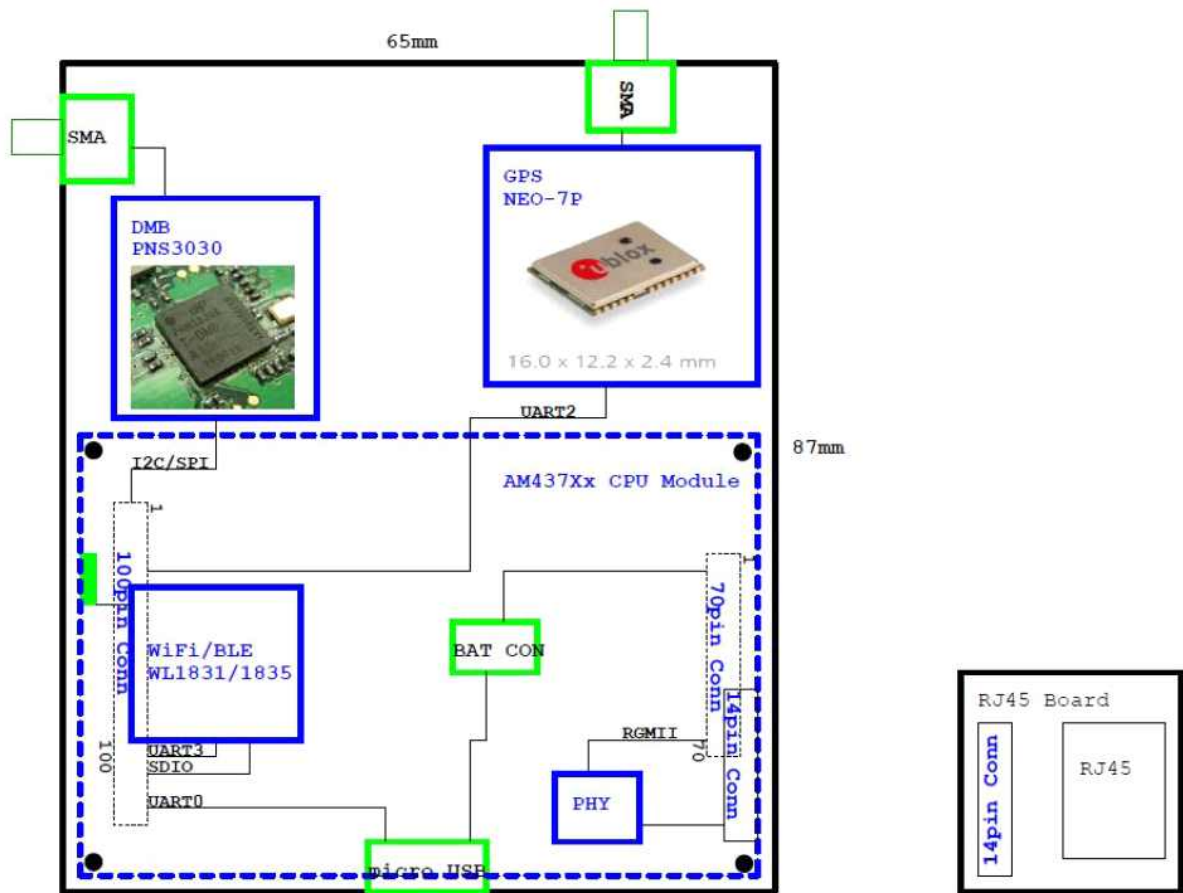


그림 52. 단말기 시작품 블록도



그림 53. 단말기 시작품 1차 보드



그림 54. 단말기 시작품 외형



그림 55. 단말기 시작품 내부

나. 소프트웨어 제작

단말기 시작품의 OS는 리눅스를 탑재하였으며 단말기용 자료처리 소프트웨어는 PC 기반의 기준수신기와 유사한 방식으로 메인 프로그램에서 자료처리 라이브러리를 링크하는 방식으로 개발하였다. 자료처리 라이브러리는 PC 환경의 기준수신기에서 검증한 소

스코드를 이용하여 리눅스 환경에서 동작하는 동적링크라이브러리(.so) 형태로 제작하였다. 자료처리 라이브러리는 관측환경 및 보정정보 수신환경에 따라 자료처리 기능이 자동으로 전환되도록 구현하였다. 메인 프로그램은 GNSS 모듈로부터 수신되는 관측데이터를 자료처리 라이브러리로 전달하는 기능, 자료처리 라이브러리로부터 출력되는 자료처리 결과를 외부 장치로 출력하는 기능 및 각종 데이터 입출력 통신 장치를 제어하는 기능을 수행하도록 개발하였다. 또한 실시간 환경에서 처리한 결과의 오류 여부를 PC 환경에서 다시 검증할 수 있도록 자료처리에 사용된 모든 데이터와 자료처리 결과를 단말기 자체 저장장치에 로그 파일로 저장하는 기능을 구현하였다.

다. 시작품 동작 검증

단말기 시작품과 기준수신기의 자료처리 결과가 동일한지 여부를 검증하였다. 단말기의 실시간 환경에서 자료처리에 사용된 모든 데이터는 단말기의 자체 저장장치에 로그 파일로 저장하고, PC 환경의 기준수신기 소프트웨어에서 이 로그 파일을 읽어 들여 재생하는 방식으로 실시간 자료처리 결과의 오류 여부를 검증하였다. 단말기에 저장된 로그를 PC로 읽어 들이기 위해 단말기에서 FTP 서비스를 실행하고, PC에서 FTP 방식으로 단말기에 접속해서 데이터를 읽어 들이는 방식을 사용하였다.

단말기에 저장되는 로그 파일의 종류는 다음과 같다.

- GPS 및 GLONASS 관측 데이터
- GPS 및 GLONASS 항법 데이터
- 최초 자료처리 과정에서 사용된 초기 좌표 데이터
- ECEF 형식의 자료처리 결과 데이터
- 자료 처리 과정에서 발생한 예외처리 데이터

이와 같은 검증 방식으로 비교했을 때 단말기 환경에서 처리한 실시간 자료처리 결과와 PC 환경의 기준 수신기에서 처리한 결과가 동일함을 확인하였다.

3. 단말기 시작품 성능 검증

개발 단말기 시작품의 성능 검증을 위하여 개발 단말기를 이용하여 다양한 환경에서 위치측정을 실시하고 그 정확도를 평가하였다. 성능 검증을 위한 환경은 개활지 환경, 골목길 환경, 고층건물 밀집지역 환경, 총 3가지 환경에서 진행하였으며 각 환경에 대한 설명은 다음과 같다.

표 18. 단말기 시작품 성능 검증 환경

구분	장소
개활지	· 인천 남구 인하대학교 창업지원센터 옥상 · 인천 남구 정석항공과학고등학교 운동장
골목길	· 인천 남구 인하대학교 후문 인근 골목길
고층건물 밀집지역	· 서울 금천구 대성디폴리스지식산업센터 앞 광장

개활지 환경은 그림 55에 나타내었으며 골목길 환경은 그림 56, 고층건물 밀집지역 환경은 그림 57에 나타내었다. 그림 55, 56, 57을 통해 확인할 수 있듯이 개활지 환경의 경우 다중경로 오차 발생 요인이 거의 없고 시야가 사방으로 확보되어 있어 위성신호 수신 이 좋은 환경이며, 골목길 환경의 경우 도로폭이 10m 이내로 매우 좁고 도로 양쪽으로 4-5층 건물들이 위치하고 있어 신호차폐와 다중경로 오차 발생 가능성이 높은 환경이다. 그림 57에 나타낸 고층건물 밀집지역 역시 20~30층 이상의 건물들이 인접해있어 위성신호 수신에 어려운 환경이다.



그림 56. 개활지 관측환경(좌: 인하대학교 창업지원센터 옥상, 우: 정석항공과학고등학교 운동장)



그림 57. 골목길 테스트 지역 관측환경



그림 58. 고층건물 밀집지역 테스트
지역 관측환경

단말기 시작품의 성능 검증은 단말기를 통해 출력되는 개발 기술 결과와 단말기 내 u-blox 칩에서 u-blox 자체 알고리즘으로 계산되어 출력되는 NMEA 결과를 비교하는 방식으로 진행하였다. 표 19는 성능 검증 날짜와 장소, 그리고 정지측위인지 이동측위인지 등 세부사항을 정리한 것이다.

표 19. 단말기 시작품 성능 검증 세부사항

날짜	장소	정지/이동
2016년 5월 23일	고층건물 밀집지역	이동
2016년 5월 25일	고층건물 밀집지역	이동
2016년 5월 30일	개활지 환경	정지
	골목길 환경	이동

가. 개활지 환경에서의 성능 검증

개활지 환경에서의 성능 검증은 앞서 표 18에 나타내었듯이 인하대학교 창업지원센터 옥상과 정석항공과학고등학교 운동장 이렇게 두 곳에서 진행하였다. 이 두 곳을 본문에서는 각각 A와 B로 기술한다. A에서의 테스트는 오후 1시 41분부터 2시 11분까지 약 30분 동안 진행하였으며 그림 58은 수평방향 오차, 그림 59는 수평, 수직방향 오차 시계열을 나타낸 것이다. 그림 58에서 파란색 원은 개발 단말기 시작품의 결과('JPS')를 나타내고 빨간색 원은 u-blox의 결과('u-blox')를 나타낸다. 그림을 통해 확인할 수 있듯이 개발 단말기 시작품에 비해 u-blox는 북쪽 방향으로 편의가 1m 이상 발생하는 것을 확인할 수 있다. 그림 59의 오차 시계열에서도 u-blox가 JPS에 비해 북쪽방향 편의가 심하게 나타나는 것을 확인할 수 있으며 특히 수직방향 정확도의 경우 u-blox에 비해 JPS가 정확하고 안정적인 결과를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

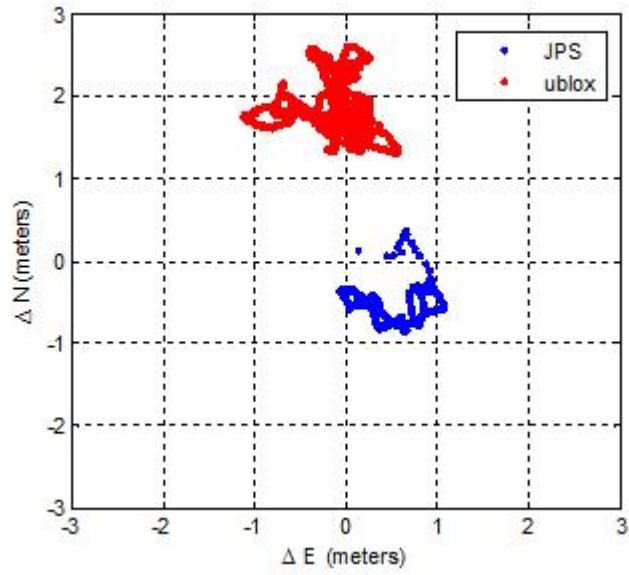


그림 59. 인하대학교 창업지원센터 옥상에서의 정지측위 수평 오차

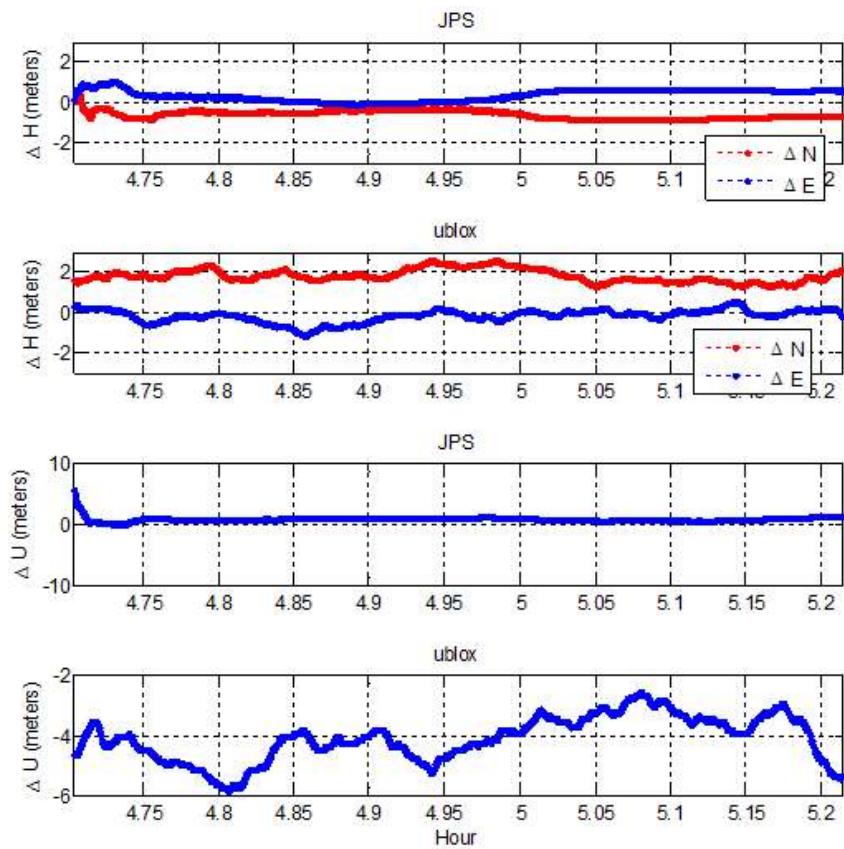


그림 60. 인하대학교 창업지원센터 옥상에서의 정지측위 오차 시계열

B에서의 테스트는 오전 11시 21분부터 11시 31분까지 약 10분 동안 진행하였으며 그림 60은 수평방향 오차, 그림 60은 수평, 수직방향 오차 시계열을 나타낸 것이다. 그림 60에 나타낸 수평오차를 살펴보면 JPS와 u-blox의 정확도는 유사하게 나타나지만 JPS의 경우 매 순간 SNR 등의 각 위성 데이터 품질에 따라 자료처리 특성을 다르게 하기 때문에 정밀도가 다소 떨어질 수 있는 반면, u-blox의 경우 정밀도는 비교적 높지만 이전 결과를 따라가는 경향을 나타내고 있어 이전 결과의 오차가 클 경우 계속해서 오차가 커질 수 있음을 확인할 수 있다. 그림 61의 오차 시계열에서는 앞서 A의 경우와 마찬가지로 u-blox 수직방향의 오차가 JPS 수직방향의 오차보다 확연하게 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

표 20은 개활지 환경으로 선정한 A와 B에서의 정지측위 RMS 오차를 정리한 것이다. 약 30분 동안 테스트를 실시한 A의 경우 기존 제품인 u-blox에 비해 개발 단말의 정확도가 2배 이상 높은 것을 확인할 수 있으며, 약 10분 동안 테스트를 실시한 B의 경우에도 수평 정확도는 유사하지만 수직 정확도가 2배 이상 높은 것을 알 수 있다. 개활지에서의 위치결정율은 분석 결과, 정석항공과학고등학교 운동장에서는 총 601초의 측위시간 중 601초간 모두 위치결정이 가능하였으며 창엽지원센터 옥상의 경우 총 1,848초의 측위시간 중 1,848초간 위치결정이 가능하여 100% 위치결정율을 나타내는 것을 확인하였다.

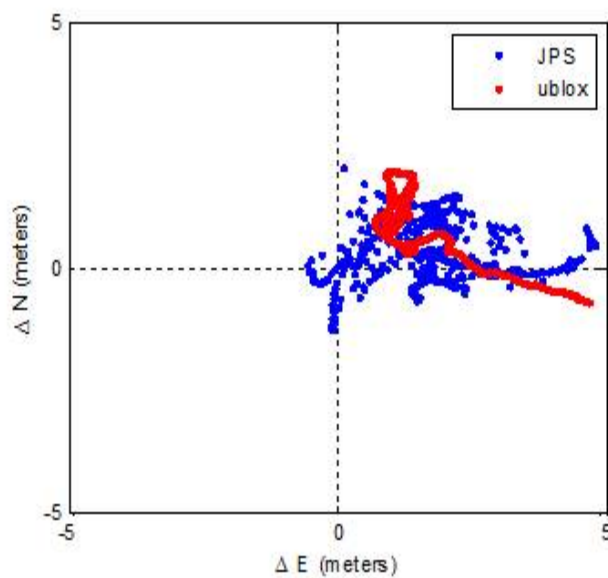


그림 61. 정석항공과학고등학교 운동장에서의 정지측위 수평 오차

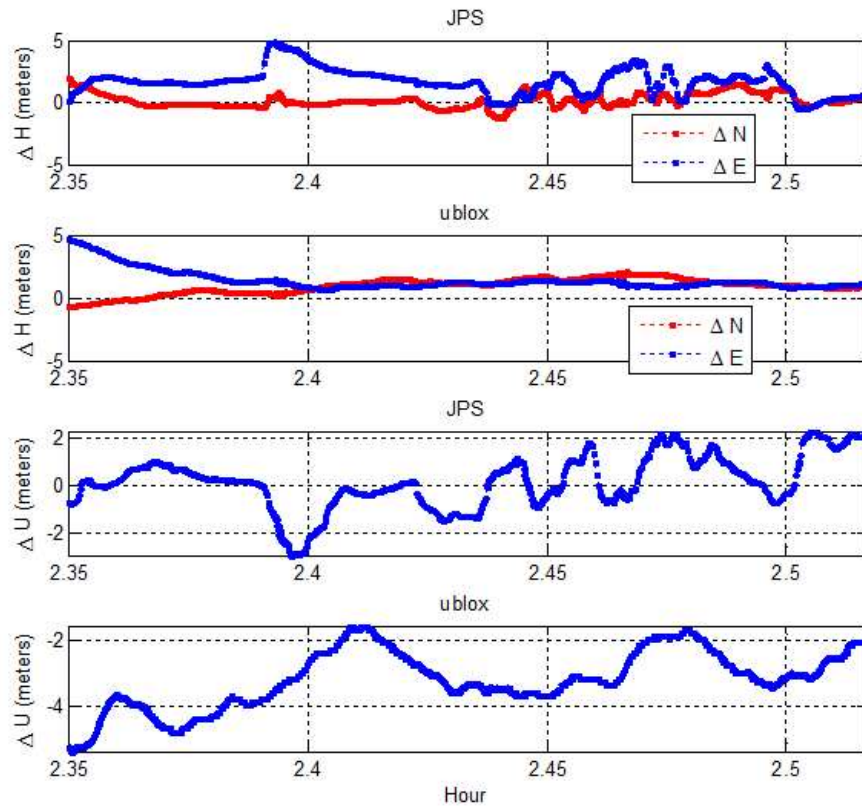


그림 62. 인하대학교 창업지원센터 옥상에서의 정지측위 오차 시계열

표 20. 개활지에서의 측위 RMS 오차 결과

		RMSE[m]	
		JPS	u-blox
창업지원센터 옥상 13:41-14:11(약 30분)	H	0.78	1.94
	V	0.90	4.19
	3D	1.19	4.62
정석공고 운동장 11:21-11:31(약 10분)	H	2.10	2.01
	V	1.14	3.29
	3D	2.39	3.86

나. 골목길 환경에서의 성능 검증

골목길 환경에서의 단말기 시작품 검증을 위하여 앞서 2장 4절에 소개한 골목길 테스트베드 내에서 테스트를 실시하였다. 골목길 환경에서는 차량 및 유동인구가 매우 많아 모든 테스트마다 일정한 경로로 이동이 어려우며 위성 관측환경이 워낙 좋지 않기 때문에 RTK 또는 VRS 등의 정밀측량 장비를 이용한 이동경로의 기준좌표 산출이 불가능하다. 따라서 시각적인 이동경로 비교를 통해 성능을 가늠하는 것이 최선이다. 그림 62는 골목길 테스트시 실제로 관측된 위성신호를 나타낸 것이며 각 관측위성의 SNR 값도 동

시에 나타내었다. 원의 중앙이 관측위치에서의 천정방향이며 원의 바깥쪽으로 갈수록 천정각이 90도에서 0도까지 낮아지며, 시계방향으로 방위각을 0도에서 360도까지 나타낸 것이다. 관측된 위성신호들의 SNR이 천정방향의 위성을 제외하고는 30 내외로 매우 낮게 나타난다. 이는 골목길 양쪽에 위치한 건물과 그 밖의 신호차폐요소들에 의해 위성신호들이 반사, 굴절, 회절되어 다중경로를 거쳐 유입된 신호임을 나타내는 것이다.

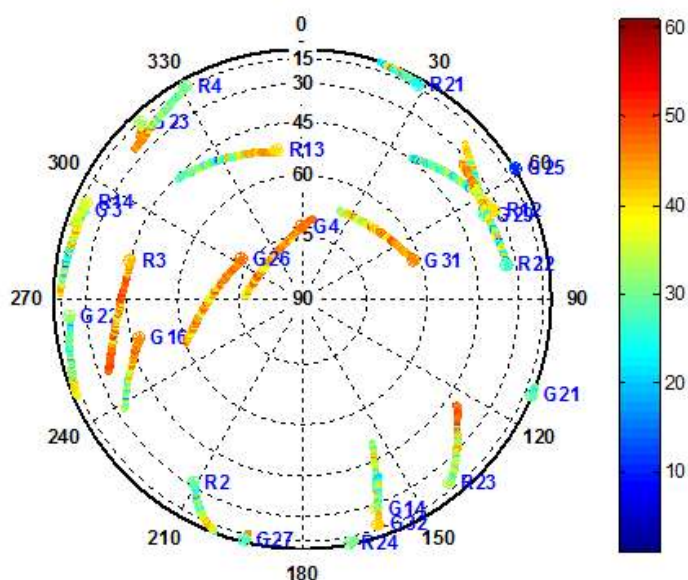


그림 63. 골목길 테스트 시 가시위성 현황

테스트 이동경로는 아래와 같이 정리할 수 있다. P5에서 P9까지 서쪽에서 동쪽으로, 그리고 다시 P9에서 P5로 동쪽에서 서쪽까지의 이동을 총 2회 반복하였으며 이후 P1으로 이동하여 P1에서 P4까지 남쪽에서 북쪽으로, 그리고 다시 P4에서 P1로 북쪽에서 남쪽까지의 이동을 총 2회 반복하였다.

P5 → P6 → P7 → P8 → P9 → P8 → P7 → P6 → P5 2회 반복

P5 → P6 → P7 → P2 → P1 동서방향 경로에서 남북방향 경로로 이동

P1 → P2 → P7 → P3 → P4 → P3 → P7 → P2 → P1 2회 반복

그림 63은 골목길 테스트베드에서의 JPS와 u-blox 이동측위 경로를 동시에 비교하여 나타낸 것이다. 그림을 통해 확인할 수 있듯이 앞서 개활지 환경에서의 결과보다 골목길 환경에서 확실히 성능이 낮은 것을 확인할 수 있다. 특히 JPS와 u-blox를 비교해보면 u-blox의 이동경로가 상대적으로 실제 이동경로에서 더 벗어나 오차가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있으며 특히 P6 인근 지점과 P8 인근 지점에서는 u-blox의 결과가 더

이상 위치추정을 이어가지 못하고 끊어지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 그림 63을 통해서도 확인할 수 있다. 그림 64는 P5 지점의 참값을 기준으로 시간에 따른 수평 및 수직 좌표변화를 나타낸 것인데 u-blox의 수평 및 수직 좌표변화를 살펴보면 위치산출이 단절되면서 점프현상이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 반면 개발 단말기 시작품인 JPS의 경우 이동함에 따라 위치산출이 단절되는 경우 없이 지속적으로 결과를 도출할 수 있음을 알 수 있다.

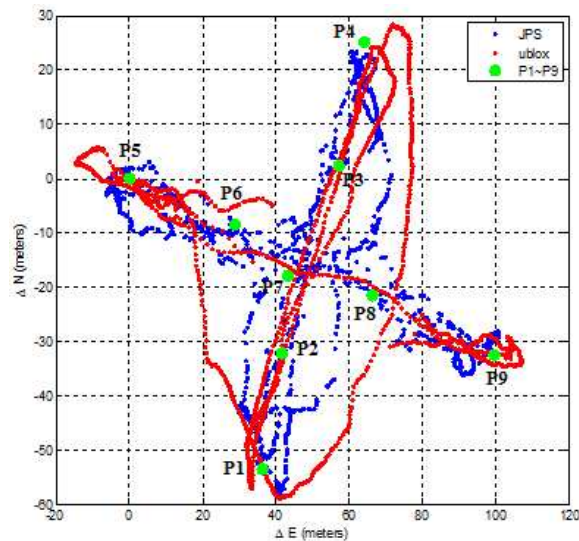


그림 64. 골목길 테스트베드에서의 JPS와 u-blox 이동측위 경로 비교

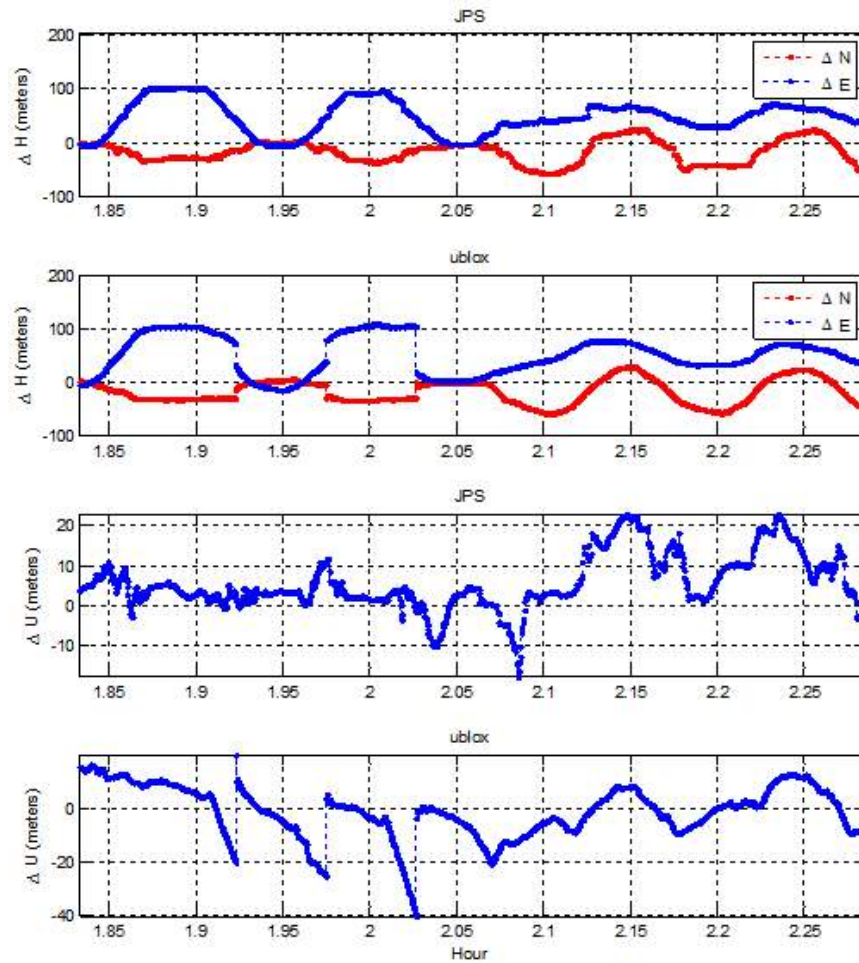


그림 65. 골목길 테스트베드에서의 JPS와 u-blox 이동측위 좌표변화 시계열

그림 65는 그림 63에 나타난 결과를 Daum 지도상에 실제 위·경도 좌표를 입력하여 표출한 것으로 그림 65(좌)는 지도에, 그리고 그림 65(우)는 스카이뷰에 표출한 것을 나타낸다. 그림에서 빨간색이 JPS의 결과, 녹색이 u-blox의 결과이다. 실제 사용자가 해당 단말기를 이용하여 이동하면서 자신의 위치를 지도상에 표출하게 된다면 기존 제품인 u-blox와 개발 제품인 JPS가 각각 어느 수준의 정확도로 사용자의 위치를 나타내 줄 수 있는지 예상해 볼 수 있다. 또한 앞서 개활지와 마찬가지로 골목길에서도 총 1,621초의 측위 시간 중 1,621초 위치결정이 가능하였으며, 이를 통해 위치결정을 100%를 나타내는 것을 확인하였다.

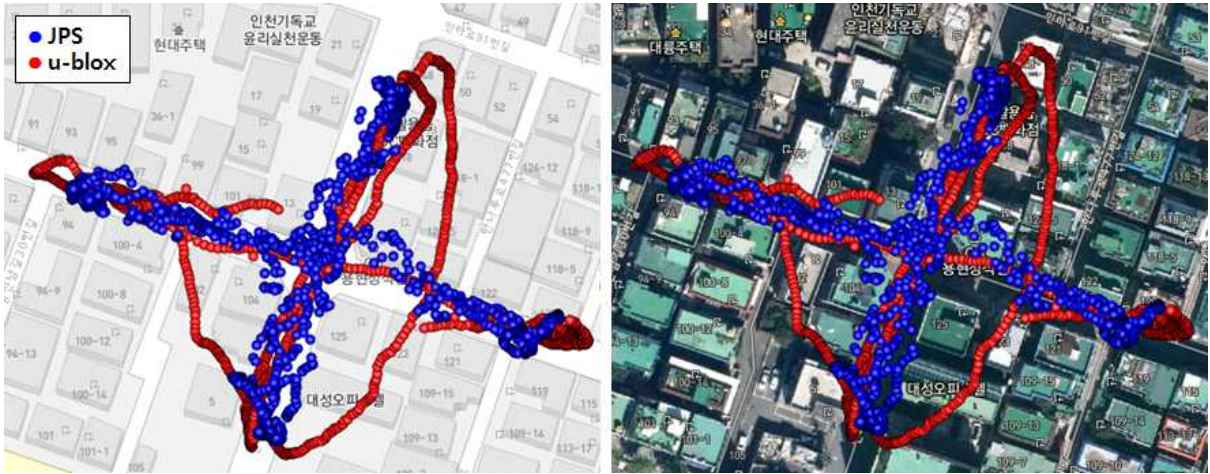


그림 66. 골목길 테스트베드에서의 JPS와 u-blox 이동측위 경로 비교
(좌: 지도, 우: 스카이라뷰)

다. 고층건물 밀집지역에서의 성능 검증

(1) 1, 2차 테스트 실시 및 성능 검증 결과

고층건물 밀집지역에서의 단말기 시작품 검증을 위하여 서울 금천구 대성디폴리스지식산업센터 앞 광장에서 2016년 5월 23일과 25일 이틀간 각각 2회씩 테스트를 실시하였다. 테스트 지역에는 테스트 때마다 동일한 궤적으로 이동할 수 있는 직선경로와 곡선경로를 선정하였으며 보다 정확한 성능 검증을 위하여 VRS 측량으로 해당 경로의 기준좌표를 산출하였다. 그림 66은 1차, 2차 테스트 시 실제로 관측된 위성신호를 각각 나타낸 것이며 각 관측위성의 SNR 값도 동시에 나타내었다. 골목길 환경에서와 마찬가지로 관측 위성의 SNR이 낮게 나타나며 건물에 의한 다중경로 신호로 인해 연속적인 관측위성의 SNR 값 변동도 큰 것을 확인할 수 있다.

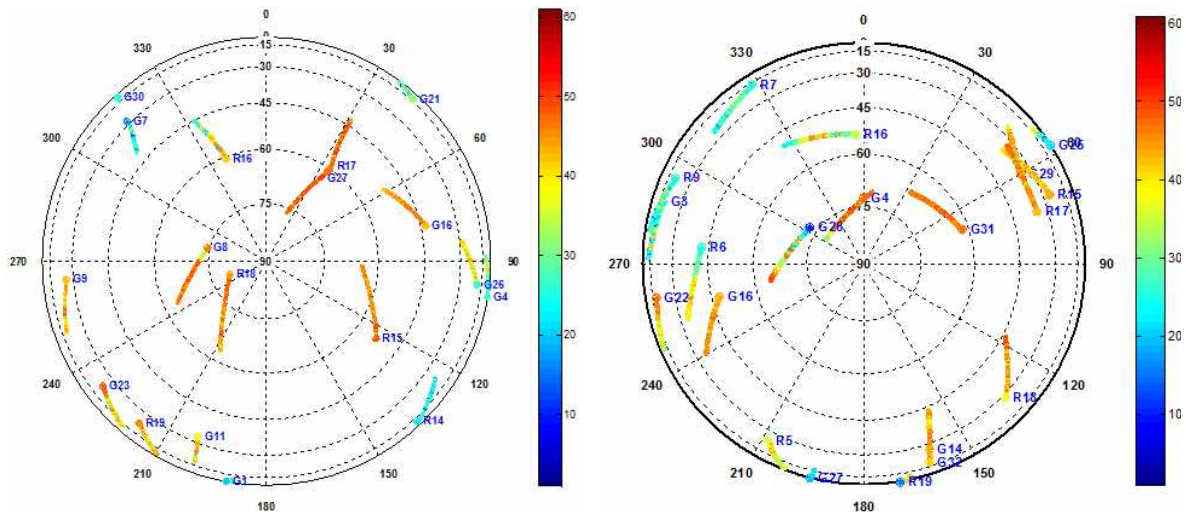


그림 67. 고층건물 밀집지역에서의 테스트 시 가시위성 현황
(좌: 1차 테스트, 우: 2차 테스트)

그림 67은 VRS, JPS, u-blox 측위 결과 산출되는 이동경로를 동시에 비교하여 나타낸 것으로 그림 67(좌)는 1차 테스트 결과, 그림 67(우)는 2차 테스트 결과를 나타낸다. 각 테스트 시 2회씩 반복하여 이동측량을 실시하였다. 그림 67을 살펴보면 1차 테스트 때는 JPS와 u-blox의 결과가 모두 북쪽으로 편향되는 결과를 나타내었으며, 2차 테스트 때는 1차 테스트 결과에 비해 편향이 감소하였음을 알 수 있다. 이는 위성의 관측현황 및 기하학적 배치 등과 관련이 있는 것으로 판단된다. 이와 관련하여 그림 66을 살펴보면 1차 테스트 때 2차 테스트 때에 비해 관측위성의 개수가 적고 특히 남쪽방향에 사용할만한 위성이 거의 관측되지 않은 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유로 측위결과가 북쪽 방향으로 편향된 것으로 판단된다. JPS와 u-blox의 결과를 비교해보면 1차 테스트와 2차 테스트에서 모두 JPS는 VRS로 계산된 실제 경로를 유사하게 따라가고 있지만 u-blox의 경우 실제 경로에서 많이 벗어나 수십 미터 이상 오차가 발생하는 등 부정확한 것을 확인할 수 있다. 특히 곡선경로를 이동할 때 u-blox의 오차가 매우 커지는 것을 확인할 수 있으며 실제 이동경로에서 수십미터 이상 벗어나는 경우도 발생하는 것을 확인할 수 있다. 개발 단말기의 위치결정율은 총 1,969초의 측위시간 중 1,951초간 측위가 가능하고 18초간 위치가 결정되지 않아 99.1%임을 확인하였다. 개발 단말기의 경우 정확도 향상을 위하여 위성의 기하학적 배치와 SNR 값, 관측데이터 품질 등의 임계값에 따라 위치계산에 사용할 위성을 선별하는 전처리 기능이 포함되어 있기 때문에 이러한 결과가 나타나는 것으로 판단된다. 위치결정율에 대한 보다 상세한 분석은 추가 테스트 결과 분석 내용에 기술하였다.

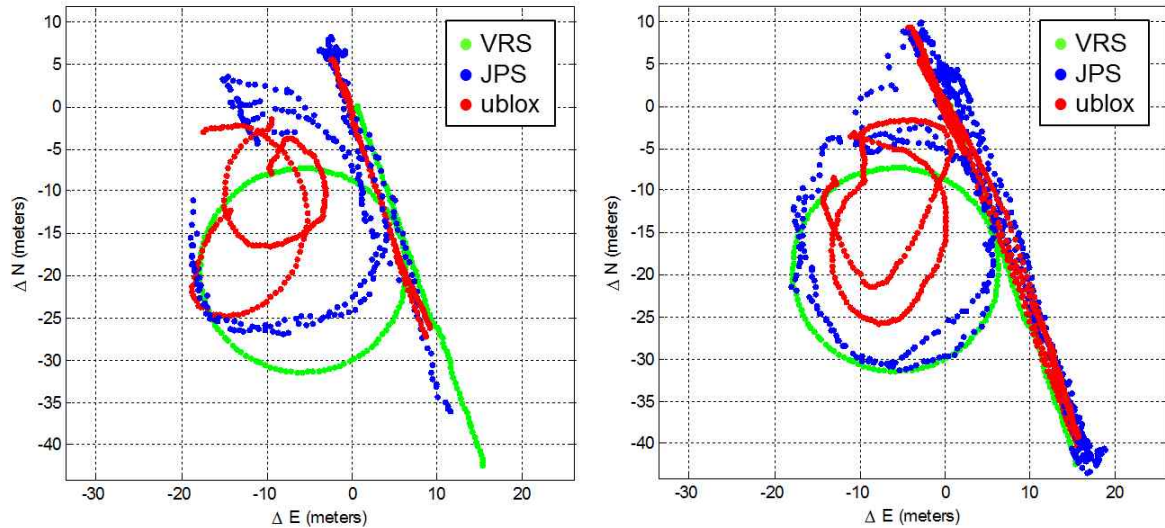


그림 68. 고층건물 밀집지역에서의 VRS, JPS, u-blox 이동측위 경로 비교
(좌: 1차 테스트, 우: 2차 테스트)

(2) 천장 차폐 환경에서의 추가 테스트

고층건물 밀집지역에서의 단말기 시작품 추가 검증을 위하여 동일한 장소에 천정이 차폐되는 환경을 포함하여 2016년 6월 30일 추가 테스트를 실시하였다. 1, 2차 테스트와 달리 추가 테스트에는 그림 67의 직선 및 이동경로 외에 건물과 건물 사이 천장이 차폐되어 있는 일부구간의 보행경로까지 포함하였다(그림 68). 또한 1, 2차 테스트 시 시작품을 통해 출력되는 개발 기술 결과와 시작품 내 u-blox 칩에서 u-blox 자체 알고리즘으로 계산되어 출력되는 NMEA 결과만을 비교하였는데 추가로 u-blox EVK-M8T 제품을 이용하여 동시에 위치를 측정하고 그 결과도 함께 비교하였다. 그림 69는 테스트 장비 세팅을 나타낸 것이다.



그림 69. 추가테스트 보행경로 중
건물 사이 천정 차폐 지역



그림 70. 추가테스트 장비 세팅

그림 70은 실제로 관측된 위성신호를 각각 나타낸 것이며 각 관측위성의 SNR 값을 크기에 따라 색깔로 함께 나타내었다. 골목길 환경 또는 고층 건물 밀집지역에서의 기존 테스트 마찬가지로 관측 위성의 SNR이 낮게 나타나며 건물에 의한 다중경로 신호로 인해 연속적인 관측위성의 SNR 값 변동도 큰 것을 확인할 수 있다. 다만 추가 테스트 시 그림 68에 나타낸 천정이 차폐되는 구간을 통과할 때 SNR 값이 갑자기 큰 폭으로 떨어

지는 현상이 발생하는 것을 그림 70을 통해 확인할 수 있다. 그림 70을 보면 G1, G11, G30, R15, R17 등 다수의 위성신호에서 40 내외이던 SNR 값이 20~30 내외로 갑자기 낮아졌다 다시 원래대로 돌아오는 경향을 보이고 있으며, 이는 천장 차폐로 인해 위성신호가 단절되거나 다중경로 신호로 유입되면서 나타나는 현상인 것으로 판단된다.

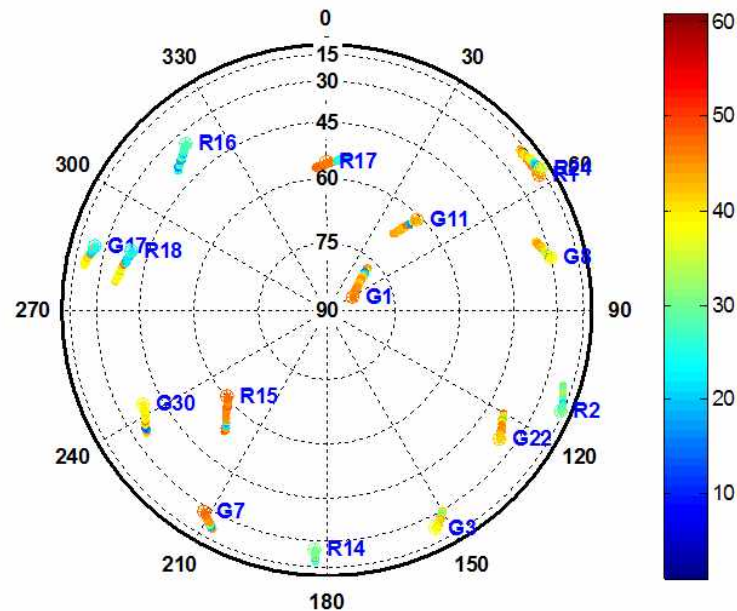


그림 71. 고층건물 밀집지역에서의 추가테스트 시 가시위성 현황

그림 71은 실제 보행경로와 VRS, JPS, u-blox, u-blox EVK-M8T 측위 결과 산출되는 이동경로를 동시에 비교하여 Daum 지도와 스카이뷰에 각각 나타낸 것이다. VRS의 경우 측위가 불가능할 정도의 관측환경이거나 천정이 차폐되는 구간에서는 정밀위치 산출이 불가능하기 때문에 기존 테스트에서와 마찬가지로 직선경로 및 곡선경로 구간에 대해서만 나타낸 것이며, JPS, u-blox, u-blox EVK-M8T 결과의 경우 GPS 측위가 불가능한 지역을 통과하면서 측정한 결과까지 모두 나타낸 것이다.

그림 71을 통해 확인할 수 있듯이 직선경로와 곡선경로는 1, 2차 테스트 결과와 마찬가지로 개발 단말 결과인 JPS가 실제 경로와 가장 유사하게 나타났으며, VRS와 비교가 불가능한 상단 경로 역시 JPS가 실제 이동경로와 가장 유사한 결과를 나타냈다. 실제 보행 당시 화단 등의 장애물로 ‘ㄷ’자 형태로 이동한 구간을 JPS는 잘 따라가고 있는 반면 u-blox와 u-blox EVK M8T는 해당 경로와 다르게 일직선으로 이동한 것처럼 나타나고 있으며, u-blox EVK M8T의 경우 실제 경로에 비해 많이 벗어난 엉뚱한 곳으로 위치를 산출하고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 JPS와 다르게 u-blox와 u-blox EVK-M8T는 실제로 연속해서 보행 이동하였음에도 불구하고 측정결과가 연속적으로 이어지지 않고 단절되는 결과를 나타내었다.



그림 72. 고층건물 밀집지역에서의 추가 테스트 실제 이동경로와 JPS와 u-blox, u-blox EVK 이동측위 경로 비교

그림 72는 JPS, u-blox, u-blox EVK 이동측위 결과 수직 좌표변화 시계열과 관측위성 개수를 나타낸 것이다. 그림 72(a)에 나타낸 JPS의 수직 좌표변화 시계열을 살펴보면 이동경로에 따라 수직좌표가 약 40m까지 달라지는 것을 확인할 수 있으며, 그림 72(b)와 (c)에 나타낸 u-blox와 u-blox EVK 결과는 약 60m까지도 달라지는 것을 확인할 수 있다. 실제 이동경로는 평지에 가까우며 u-blox와 u-blox EVK의 결과의 오차가 더 크다고 볼 수 있다.

그림 72(d)는 위성의 개수를 나타낸 것으로 최대 16개까지 관측되던 위성이 앞서 그림 68에서 설명한 천정 차폐 구간을 지나갈 때 5개까지 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 건물 등의 신호차폐요소들로 인해 보행하는 짧은 시간동안에도 관측 위성의 개수 변화가 큰 것을 확인할 수 있다.

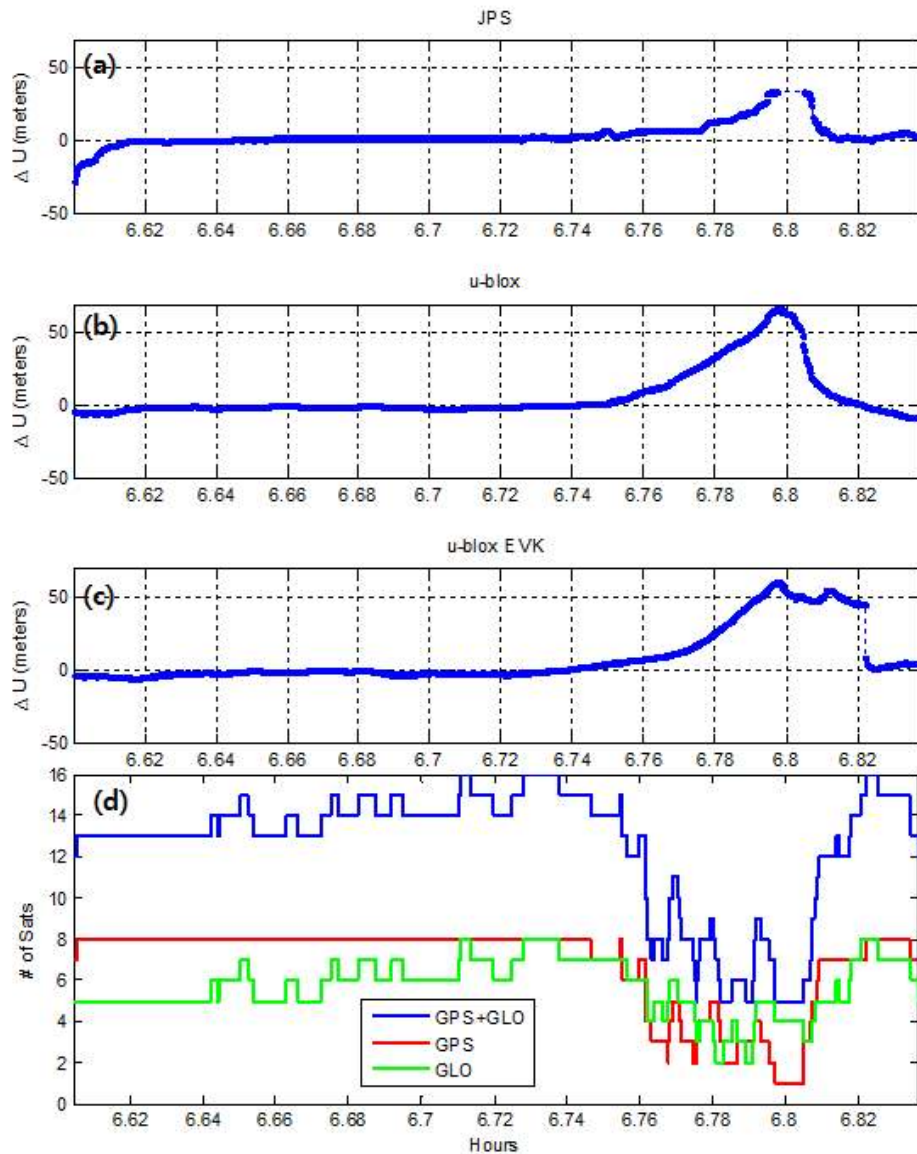


그림 73. 고층건물 밀집지역에서의 JPS(a), u-blox(b), u-blox EVK(c) 이동측위 수직 좌표변화 시계열 및 관측위성 개수(d)

건물과 건물 사이 천정이 차폐되는 환경에서 보행할 때 자료처리에 사용되는 관측데이터의 잔차(residual)와 SNR 값의 변화를 위성별로 분석하였으며, 그 결과를 그림 73에서 그림 88까지 나타내었다. 모든 그림에서 해당 구간에 관측데이터가 끊기는 경우가 많이 발생하고 있으며, 잔차가 커지고 SNR 값이 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 또한 잔차와 SNR의 표준편차도 매우 큰 것으로 나타나 관측데이터가 불안정하고 품질이 매우 좋지 않은 것을 확인할 수 있다.

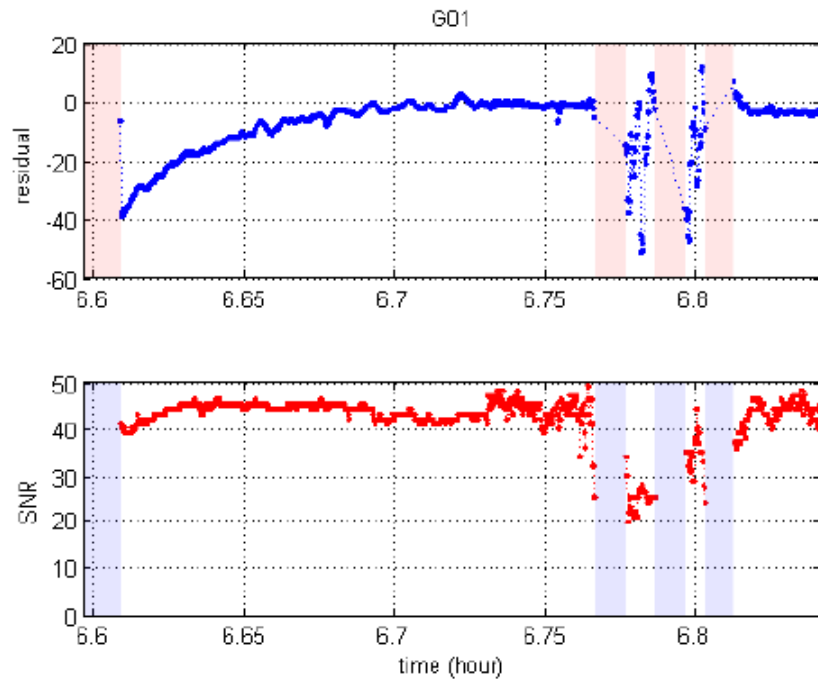


그림 74. GPS PRN 1번의 잔차 및 SNR

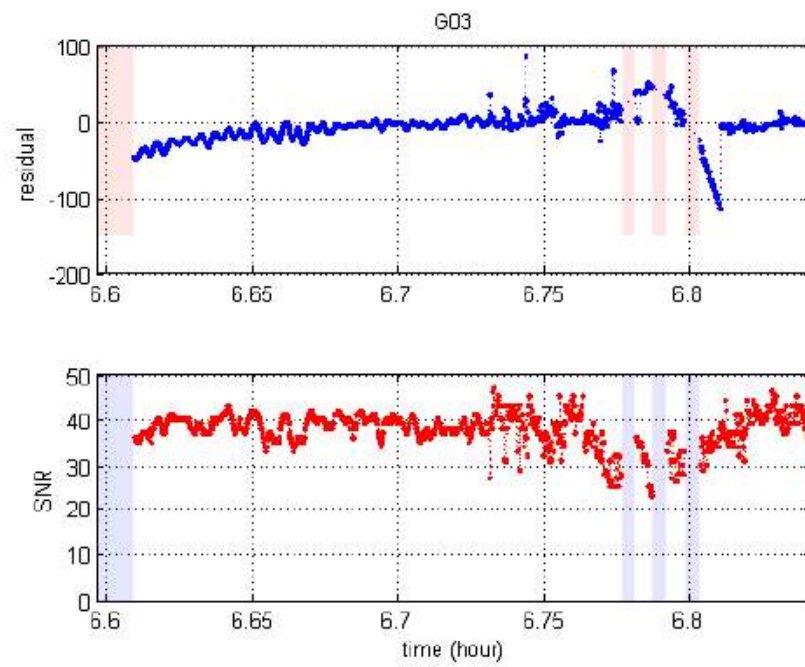


그림 75. GPS PRN 3번의 잔차 및 SNR

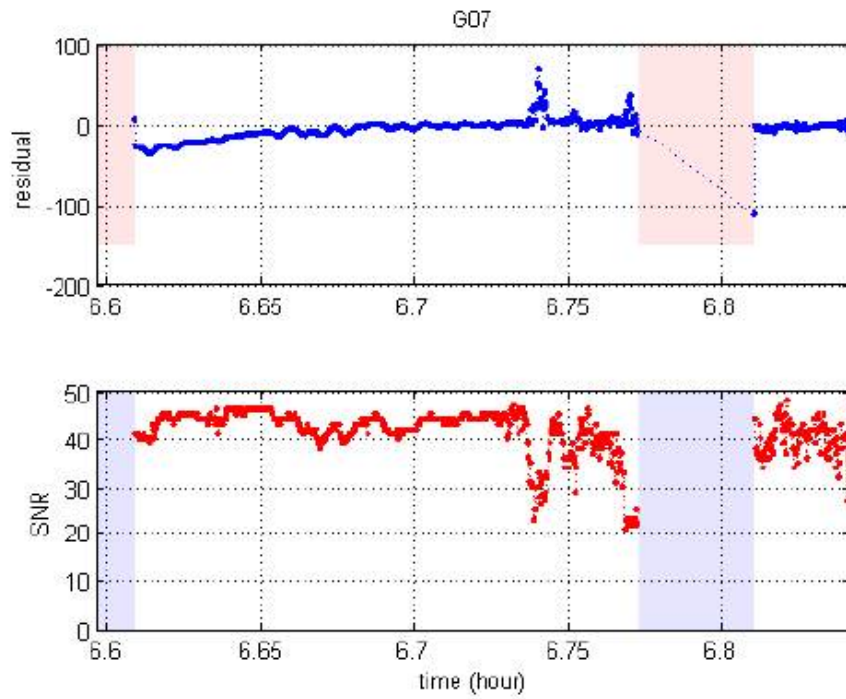


그림 76. GPS PRN 7번의 잔차 및 SNR

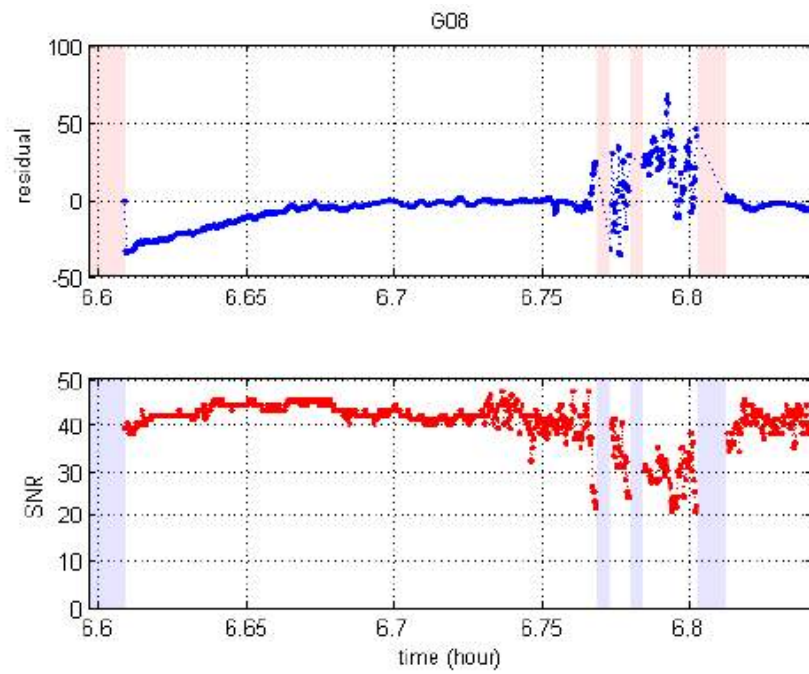


그림 77. GPS PRN 8번의 잔차 및 SNR

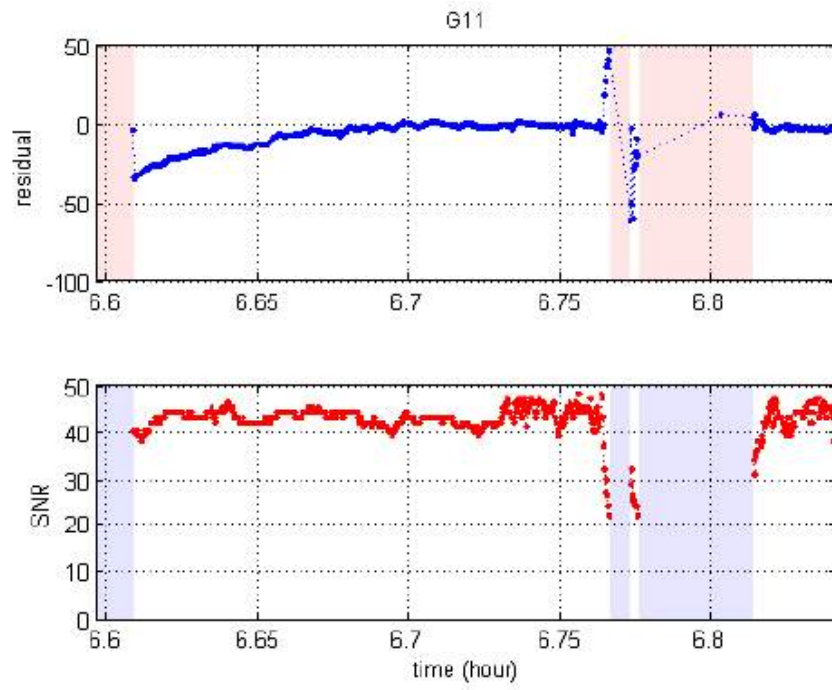


그림 78. GPS PRN 11번의 잔차 및 SNR

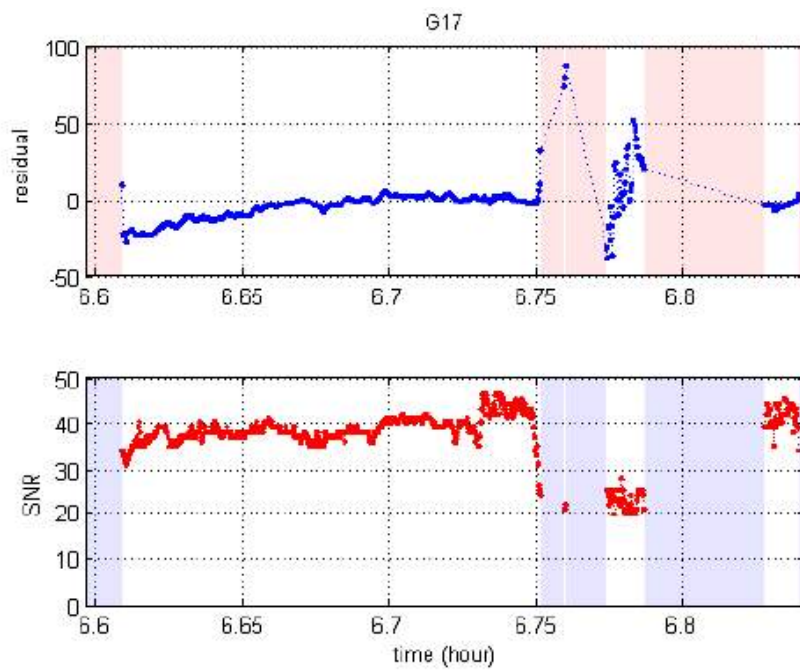


그림 79. GPS PRN 17번의 잔차 및 SNR

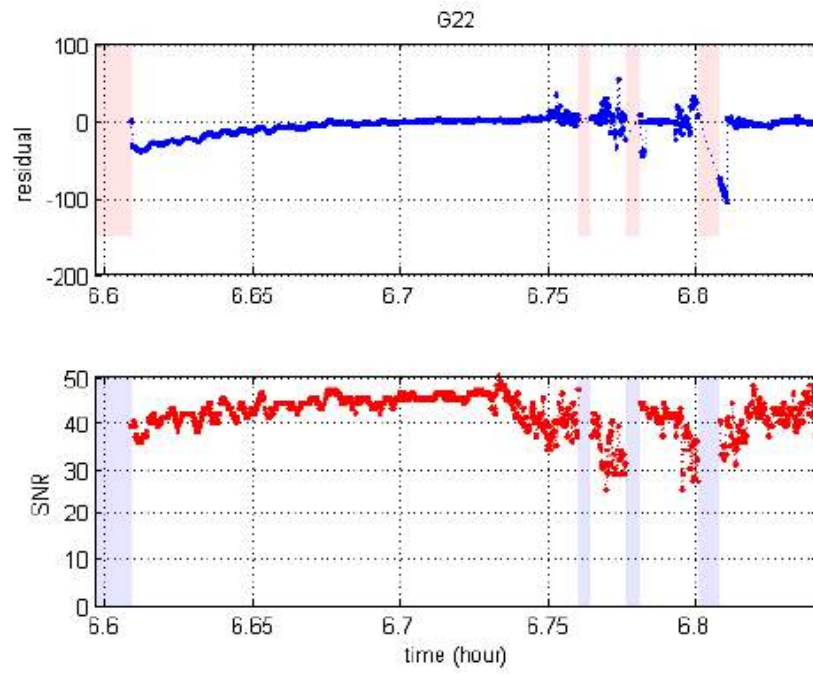


그림 80. GPS PRN 22번의 잔차 및 SNR

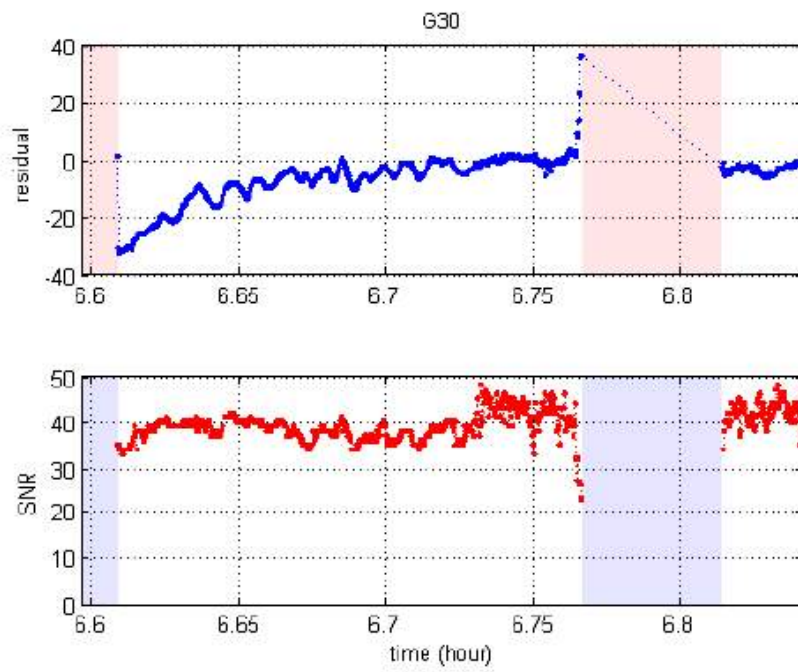


그림 81. GPS PRN 30번의 잔차 및 SNR

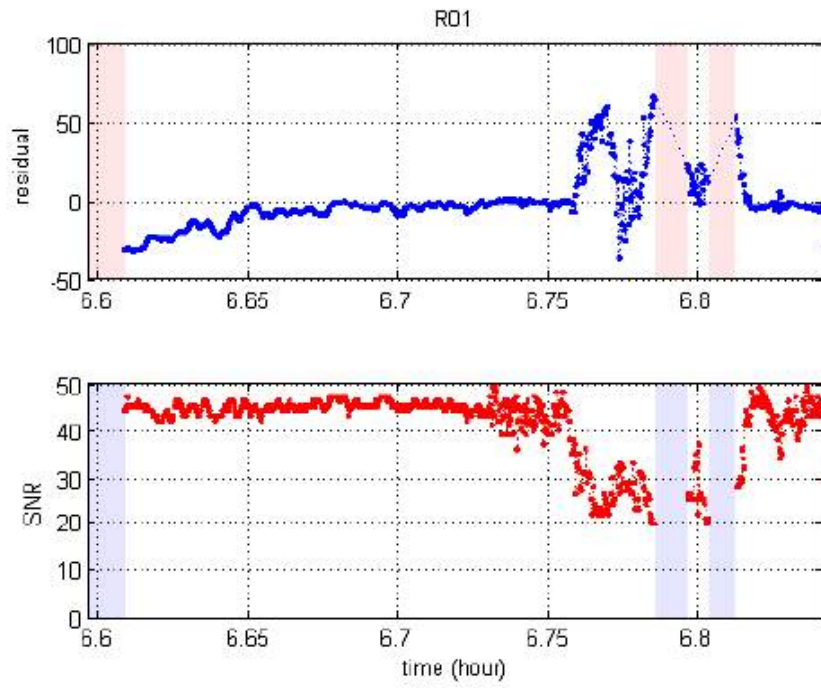


그림 82. GLONASS PRN 1번의 잔차 및 SNR

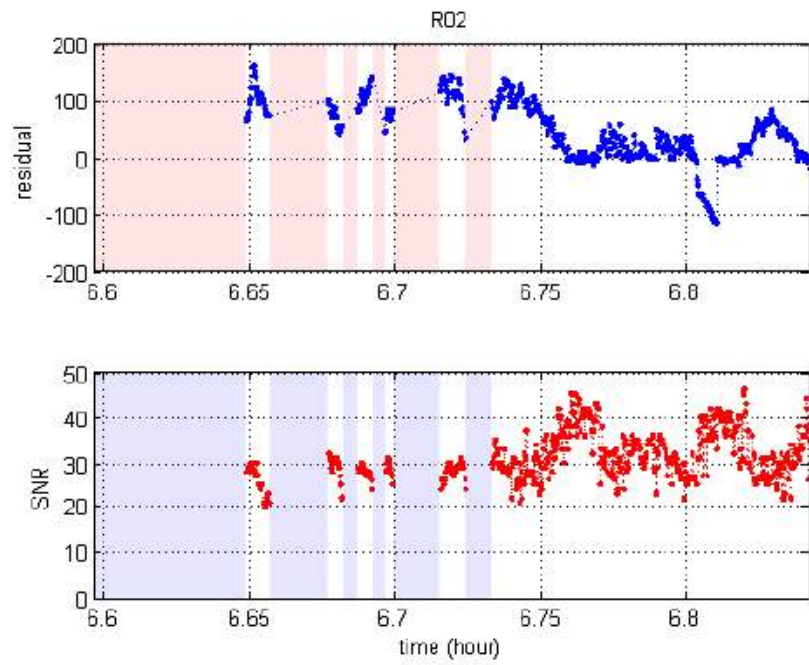


그림 83. GLONASS PRN 2번의 잔차 및 SNR

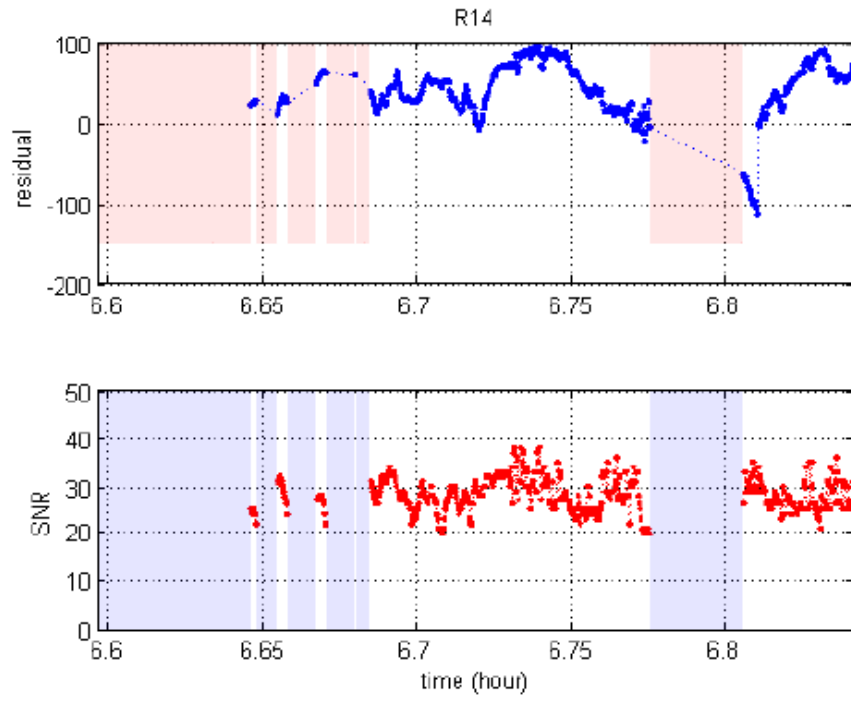


그림 84. GLONASS PRN 14번의 잔차 및 SNR

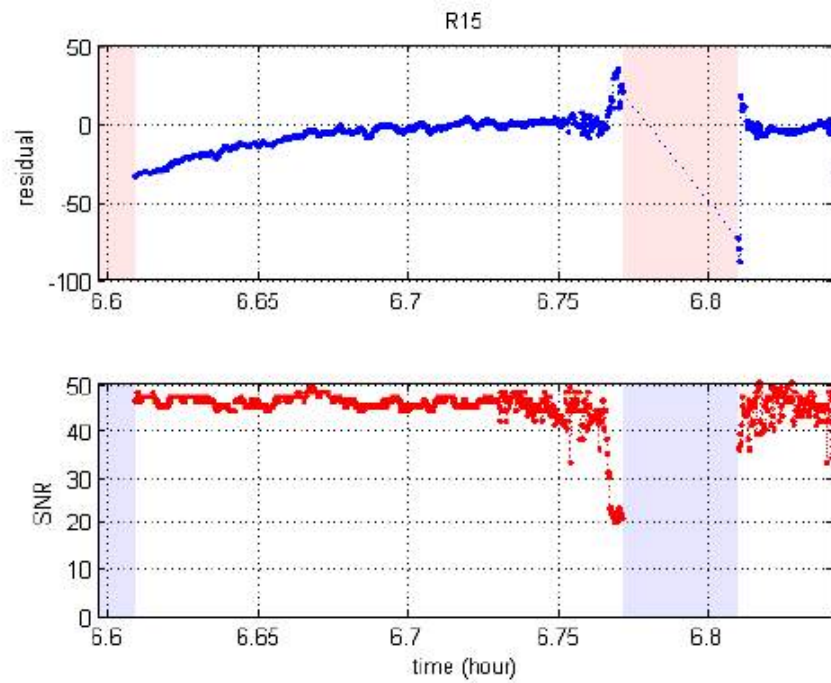


그림 85. GLONASS PRN 15번의 잔차 및 SNR

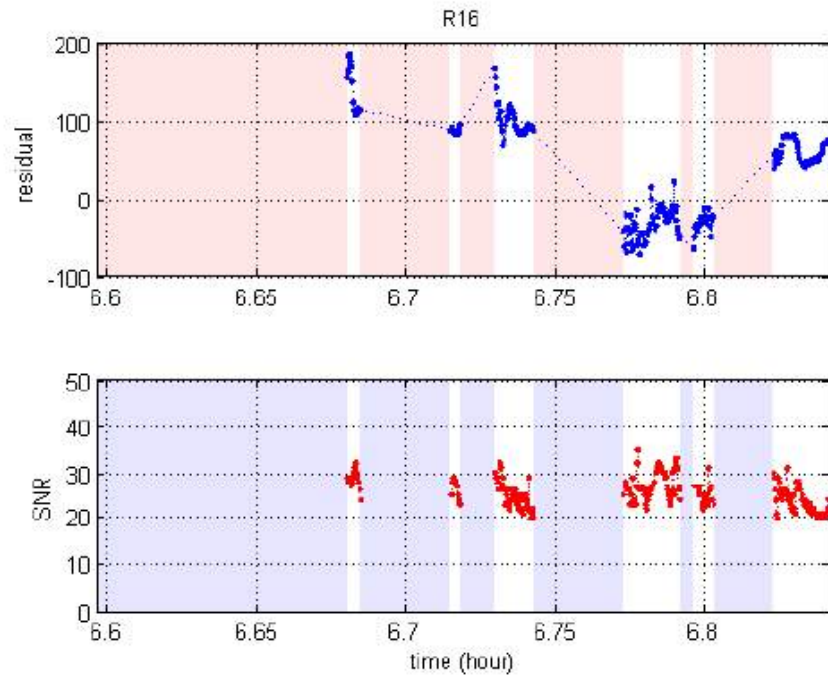


그림 86. GLONASS PRN 16번의 잔차 및 SNR

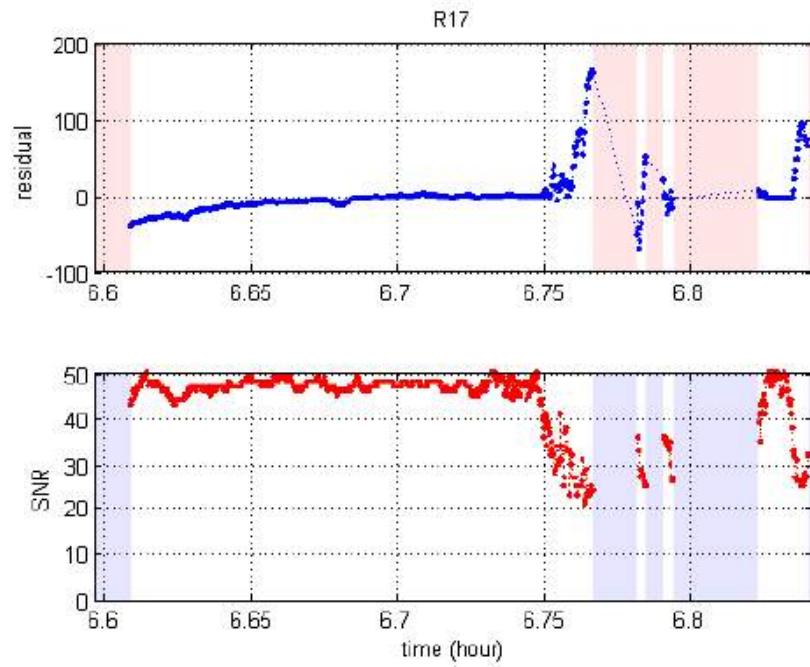


그림 87. GLONASS PRN 17번의 잔차 및 SNR

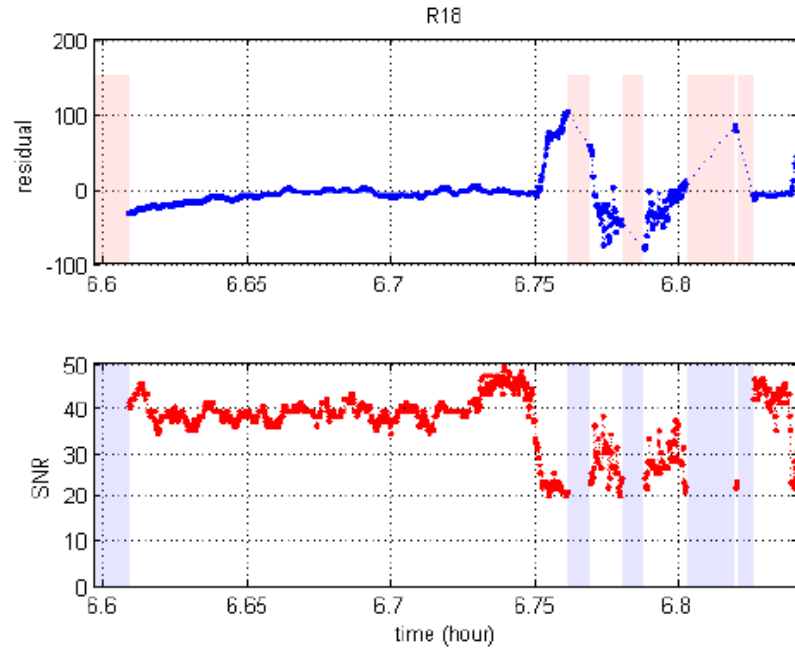


그림 88. GLONASS PRN 16번의 잔차 및 SNR

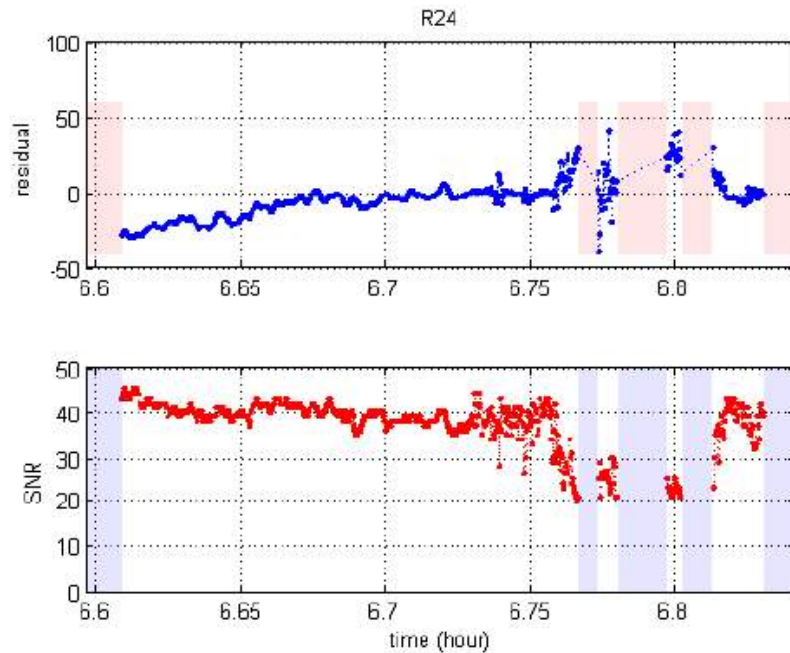


그림 89. GLONASS PRN 24번의 잔차 및 SNR

개활지, 골목길, 고층건물 밀집지역, 또한 신호 차폐 구간 등을 대상으로 개발 단말기 시작품 성능을 검증한 결과 개발 알고리즘이 정상적으로 동작하여 제품이 문제없이 제 기능을 수행하는 것을 확인할 수 있었고, 기존 제품과의 결과 비교를 통해 골목길 환경에서 개발 단말 시작품의 성능이 더 뛰어난 것을 확인함으로써 연구개발 목표를 달성하였음을 확인하였다.

제 6 절 사업화 전략 수립

해당 연구개발의 결과로 확보되는 성과물은 차량용 내비게이션 단말기, 스마트폰, DGPS 수신기, 시내보행 등의 단말기에 탑재되는 S/W 라이브러리 형태의 제품으로 다양한 수요처의 단말기 환경에 맞게 포팅 작업만 거치면 되므로 시장의 다양한 수요에 신속히 대응할 수 있다. 또한 디자인 샘플, 워킹 샘플, 시제품 제작 및 양산을 위한 생산라인 변경 등의 과정이 요구되는 단말기 제조와는 달리 제품의 업그레이드 및 신제품 출시를 위한 대규모 투자와 개발 기간을 필요로 하지 않으며, 원재료 가격 변동에 따른 수익성 변동의 위험이 크지 않는 장점을 갖는다.

이러한 개발기술의 성공적인 사업화 전략을 수립하기 위해서는 우선 기업의 내부환경과 외부환경에 대한 객관적인 분석이 필요하다. 따라서 (주)테크란과의 사업화 컨설팅을 통해 본 사의 내·외부 환경을 분석하였으며, 이를 토대로 시장 환경 분석 및 기술 분석 등을 수행하였다. 또한 분석 내용을 바탕으로 국내 실수요처를 발굴하였으며, 맞춤형 마케팅 계획을 수립하였다. 이와 관련한 보다 상세한 내용은 ‘기술사업화컨설팅 결과보고서’로 첨부하였다.

1. 환경 분석

효과적인 사업화 전략 수립을 위해 기업의 외부 환경과 더불어 내부 환경의 객관적인 분석이 요구되어진다. GNSS 시장의 빠른 변화에 따라 기업의 외부환경은 시시각각 변화하기 때문이다. 환경 분석을 위한 기법들은 다양하게 있지만, 본 보고서에는 거시환경 분석에 많이 사용되어지는 PEST 분석기법을 통해 기업의 외부환경을 분석하였다.

가. 외부 환경 분석

표 21. 내비게이션 시장의 PEST 분석

정치적 요인(P)	경제적 요인(E)
▪ 위치정보보호법 ▪ 도로교통법 ▪ 협력적 지능형 교통시스템(C-ITS) 도입	▪ 스마트폰 이용자 수 증가 ▪ 소득수준 향상 ▪ 경기침체
사회·문화적 요인(S)	기술적 요인(T)
▪ 복잡한 교통상황 ▪ 주5일 근무제 ▪ 범죄발생증가 ▪ 고령화	▪ 위치기반서비스 증가 ▪ 텔레매틱스 기술 ▪ 실내측위기술

PEST 분석기법은 P(Political), E(Economical), S(Socio-cultural), T(Technical)의 합성어로 사회문화적, 기술적, 경제적, 정치적 요인들을 총체적으로 분석하는 기법이다. 표 21은 내비게이션 시장의 PEST 분석을 표로 나타낸 것이다. 각 요인별 분석 결과는 아래와 같다.

(1) 정치적 요인

내비게이션 시장의 정치적 이슈는 위치정보보호법과 도로교통법, 협력적 지능형 교통 시스템 구축으로 나누어 볼 수 있다. 위치정보는 개인의 사생활과 밀접한 관계가 있기 때문에 사생활 보호를 위해 ‘위치정보의 보호 및 이용 등에 관한 법률’인 위치정보보호법을 시행되어 지고 있는 상황이며, GPS On/Off 의 기능을 통해 개인위치정보 자기제어 시스템 구축이 권고되어지고 있다. 국내 위치정보서비스는 해외에 비하여 위치 정보 규제 수준이 높아 기업의 시장 진입이 제한되어지고 있으며, 이러한 위치정보 보호문제는 위치 정보 제공자와 사용자 모두에게 긍정적인 영향과 부정적인 영향을 끼치고 있으며 향후 정치적 이슈에 따라 시장의 성장에 변화가 발생할 것으로 판단된다.

최근 자동차 업계에서는 자율주행관련 서비스가 급속히 성장 중이다. 이에 따라 국토교통부는 2020년까지 전국 고속도로와 국도에 기존의 교통시설에 컴퓨팅, IT/ S/W가 가능한 다양한 사물인터넷 기술이 접목되어 원활한 교통 소통 및 안전을 제공하는 차세대 ITS 인프라를 구축하겠다는 계획을 발표하였다. 또한 해양수산부에서는 첨단 장비와 무선통신망을 활용해 선박 운항자가 안전하게 항해할 수 있도록 의사결정을 도와주며, 해양사고에 의한 인명·재산피해 감소, 해운물류·항만 효율성 제고는 물론 디지털 해상무선통신사업 등 새로운 시장 선점을 위해 ‘한국형 e내비게이션 전략이행계획’을 추진 중에 있다. 이러한 국토부와 해수부의 정책들을 통해 내비게이션 시장이 앞으로도 지속적으로 주목받고 발전해 나갈 것이란 것을 알 수 있으며 이것은 긍정적인 외부환경으로 볼 수 있다.

(2) 경제적 요인

경제적 환경 분야에서 내비게이션 산업에 끼치는 요인은 스마트폰 이용자 수의 증가, 근로자 소득수준 향상, 경기 침체 등으로 나누어 볼 수 있다. 국내 스마트폰 가입자 수 현황은 표 22를 통해 확인할 수 있다. 스마트폰 가입자 수는 2013년 12월 3,700만 명을 돌파하였고, 2014년 12월 5,200만명, 2015년 8월에는 5,318만에 달한다. 이러한 스마트폰 보급으로 인해 차량용 내비게이션 단말기 위주로 형성되어있던 기존 내비게이션 시장이 위축되고 스마트폰 통신망을 이용한 모바일 내비게이션 시장이 활성화 되었다. 스마트폰

가입자의 42%는 모바일 내비게이션을 사용하고 있으며, 28.6%만이 기존 내비게이션을 이용하고 있는 상황이다.

표 22. 국내 스마트폰 가입자 수 현황

(단위 : 명)

	2013.12월	2014.12월	2015.4월	2015.8월
SKT	18,286,407	26,850,015	26,732,367	26,569,065
KT	11,287,956	15,712,719	15,833,502	16,024,683
LGU+	7,942,209	10,317,538	10,514,576	10,588,976
합계	37,516,572	52,880,272	52,821,445	53,182,724

※ 출처 : 미래창조과학부, 유무선 통신 서비스 통계 현황(2015.09.30.)

(3) 사회적 요소

사회적 환경 분야에서 내비게이션 산업에 끼치는 요인은 범죄발생 증가, 복잡한 교통 상황, 주 5일 근무제 정착, 고령화 등을 생각해 볼 수 있다. 최근 사회적으로 범죄 발생 증가로 인한 안전에 대한 욕구가 증가하고 있다. 표 23은 2010년부터 2012년까지 서울시의 3년간 6대 범죄(살인, 강도, 성폭력, 폭력, 절도, 방화)의 범죄 발생 건수를 나타낸다. 표를 보면 알 수 있지만 이러한 6대 범죄는 지속적으로 증가해왔으며 방범대책이 요구되어지고 있다. 또한 긴급구난, 미아, 치매환자 추적을 위해 측위기술을 활용한 seamless한 위치정보 제공, 정확도 향상 및 신뢰도 개선에 대한 요구도 증가하고 있는 추세이다.

또한 최근 사회적으로 주5일 근무제 시행으로 여가활동을 즐기는 인구가 증가하면서 초행길도 쉽게 찾아갈 수 있는 내비게이션의 수요도 증가하고 있으며, 도심지역에서도 빠르고 정확한 길 찾기 앱에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있다.

표 23. 6대 범죄 발생 건수

(단위 : 건)

구분	2010년	2011년	2012년	3년 평균 (2010~2012년)
6대 범죄 발생 건수	124,808	133,361	138,090	132,086
인구 10만 명 당 발생 건수	1,274	1,362	1,410	1,349

※ 자료 : 서울지방경찰청, 2013.

(4) 기술적 요인

기술 분야에서 내비게이션 산업에 끼치는 요인은 위치기반 서비스 구축, 통신업체의 내비게이션 서비스의 증가, 텔레매틱스 기술, 실내측위 기술 등으로 나누어 볼 수 있다. 최근 스마트폰들은 대부분 위성을 이용한 위치정보 기능이 내장된 스마트폰으로 통신망을 활용한 실시간 교통상황과 같은 부가서비스 기능이 가능하게 하여 기존 내비게이션 시장을 위협하고 있다. 또한 자동차와 컴퓨터, 이동통신의 결합을 의미하는 텔레매틱스를 통해 경로안내, 교통정보제공, 긴급구난정보 등 다양한 서비스를 제공하고 있다. 또한 자율주행자동차는 최근 발전 산업 중 가장 핫이슈중의 하나이다. 자율주행자동차에는 다양한 분야의 기술들이 적용되어 수많은 서비스를 제공하는데 이러한 서비스들을 제공하기 위해서 보급형 고정밀 복합측위 기술이 요구되어지고 있는 상황이다.

나. 내부 환경 분석

(1) 기업 현황

2012년 4월에 설립된 (주)지평스페이스는 실험실 창업으로 시작한 중소벤처기업으로 지속적인 연구개발을 통해서 기술력을 확보해온 전형적인 연구개발형 기업이다. 본 기업은 위성항법과 정밀측위 및 측량 관련 핵심기술의 연구개발에 전문화 및 내실화를 기하여 기술기반을 마련하였으며, 더 나아가 기 개발된 기술을 바탕으로 제품을 상용화하기 위한 연구단계에 있다. 2010년 (구)국토해양부 연구개발과제 ‘지상과 DMB 기반 DGPS 서비스 광역화 및 상용화 기술개발’을 통해 제안기술 이외의 다른 기술을 포함한 기준수신기 및 프로토타입 내비게이션을 제작한 바 있다. 또한 고정밀 PPP-RTK 측위 S/W 및 단말기를 제작하고 있으며 2016년 상반기에 시작품 제작이 완료될 예정이다.

표 24. 회사개요

회 사 명	(주)지평스페이스
대 표 자	박관동
본사주소	인천광역시 남구 인하로 100 인하대학교 4호관 305호
대표전화	032-873-4305
설 립 일	2012년 4월 5일
매출액(2014년)	576,098,000원
표준산업	응용소프트웨어 개발 및 공급업
주생산품	GPS 관련 소프트웨어



(주)지평스페이스 Jipyoung Space



그림 90. (주)지평스페이스 사업 분야

(2) 연구개발 참여 현황

표 25. 연구개발 참여 현황

	주요내용
2012년 4월	국방과학연구소 “대류권지연 서해안/경기지역 환경조사 및 분석 프로그램 개발”선정
2012년 5월	국립기상연구소 “국지위험기상 최적관측 기반기술 연구1” 과제 선정
2012년 11월	국립기상연구소 “대기중 수증기 관측용 GNSS 수신시스템 설치” 과제 선정
2012년 11월	(주)SBS “T-DMB PPP-RTK 서비스 구축”
2014년 5월 ~2015년 5월	국토교통부 “전리층 및 대류권 지연 실시간 관측 알고리즘 핵심모듈 개발” 과제 선정
2015년 2월 ~2016년 3월	국토교통부 “실시간 개인 정밀위치결정기술 기반의 사회적 약자 모니터링 실시간 기술 개발” 과제 선정

(3) 핵심기술 보유 현황 및 지식재산권 확보 현황 분석

(주)지평스페이스는 GPS, GLONASS, BeiDou등의 통합 GNSS 자료 처리 핵심 기술을

보유하고 있으며 이와 관련된 연구개발 과제 수행 실적 및 논문 실적을 보유하고 있다. 또한 다중경로오차 저감 기술을 보유하고 있으며 관련 특허를 등록 중에 있으며 음영지역에서의 위치 보정기술과 관련하여 특허 등록이 되어 있다. 해당 기업의 지식재산권 현황은 표 26을 통해 확인할 수 있다.

표 26. 지식재산권 현황

구분	발명의 명칭	출원일	등록일	출원번호	등록번호
등록 (국내)	위성항법 보정시스템의 보정정보 처리 장치 및 그 방법	2012.03.23	2013.12.17	10-2012-0029849	10-1344426
등록 (국내)	위성항법 보정시스템의 보정정보 처리 장치 및 그 방법	2013.10.07	2014.07.08	10-2013-0118985	10-1419339
등록 (국내)	DGNSS 측위 방법 및 이를 이용하는 GNSS 수신기	2013.02.14	2014.07.11	10-2013-0015929	10-1420830
출원 (국내)	GNSS 수신기 및 이의 가중치 부여에 따른 위치 정보 산출 방법	2015.07.09	-	10-2015-0097699	-
출원 (국내)	DGNSS 측위 방법 및 이를 이용하는 GNSS 수신기	2016.02.05	-	10-2016-0015279	-
출원 (국내)	위성항법 보정시스템의 위치정확도 향상을 위한 보정정보 제공 장치 및 방법	2016.03.15	-	10-2016-0030984	-

또한 기업경쟁력과 전문성을 갖추기 위한 통합 GNSS 자료 처리에 관련된 소프트웨어 들도 여러 건이 등록되어있는 상황이다.

- GPS 코드데이터 기반 DGPS 보정 측위
- Ntrip DGPS 기반 가상기준국 보정정보 생성 및 전송
- GPS 위성 가시성 분석 프로그램
- 실시간 위성항법 보정정보 송수신관련 프로그램
- GPS 의사거리 보정정보 모델링 매개변수 생성 프로그램

다. 종합결론

표 27. SWOT 분석

내부요인 외부요인	Strength(강점)	Weakness(약점)
	① 정확도·신뢰성 있는 위치측위 기술 보유 ② 기술개발사항에 대한 지재권을 확보하고 있음 ③ 개발기술과 관련된 연구개발 경력과 실력을 갖춘 인력 보유	① S/W 위주의 기술 보유로 제품화를 위한 H/W 관련 기술력 부족 ② 연구실창업 신생 벤처기업으로 제품화 경험 부족 ③ 안정된 매출처 미확보 ④ 현재 시장 미진입에 따른 name-value 부족
Opportunity(기회)	SO전략	WO전략
① GPS와 다양한 GNSS를 활용 가능한 환경 구축 ② 고령화 사회 진입 및 범죄발생 증가 ③ 위치정보 정확도 및 신뢰성 개선 요구 증대 ④ 위치기반서비스 확대를 위한 국가정책	① 보유한 GNSS 통합 측위기술로 시장 선점 및 관련 지재권 확보 ② 보유한 위치측정기술을 활용하여 수요자의 위치정보 정확도 및 신뢰성 요구 충족 ③ 지속적인 정부 R&D 과제 수행	① H/W 협력업체 발굴 ② 마케팅 협력업체 발굴 및 제품화를 위한 전문인력 신규채용 ③ 정부투자자금 확보 내지 수요자로부터 양산을 위한 자금 확보 ④ 기술력 인증을 통한 name-value 확보
Threat(위협)	ST전략	WT전략
① 기존 업체들의 내비게이션 시장 선점 ② 실내측위기술을 활용한 실내위치정보에 대한 수요 증가 ③ 단순히 위치정보만 알려주는 기능에서 현재 위치와 관련된 부가기능서비스 요구 ④ 개발기술의 특성상 경기민감도가 높은 기술군임	① 보유기술을 활용하여 정확도·신뢰성이 높은 제품을 개발하여 기존 업체 제품과의 차별화 ② 실외측위기술 강화로 특성화 ③ 저가 모듈 기반의 GPS 단말기를 제조하여 가격경쟁력 갖추	① 기존 내비게이션, 모바일 내비게이션 업체와의 기술제휴를 통한 시장점유율 증가 ② 실내측위기술보유 업체와의 협력을 통해 시장진입 및 시장 내 name-value 부각

2. 기술성 분석

성공적인 사업화 전략 추진을 위해 사업화 대상 기술에 대한 이해를 위해 기술의 전반적인 개요와 기술 개발의 필요성, 독창성과 활용성을 통해 객관적으로 분석하였다.

가. 기술의 개요

사업화 대상 기술은 GPS 위성신호의 수신이 어려운 좁은 골목길이나 고층 건물이 밀집한 도심지역에서 위치정확도 1m 급의 위치 정보를 확보할 수 있는 측위기술 및 이를 활용한 저가 GPS 모듈 기반의 단말기 제작 기술이다. 위성항법시스템 중 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 중국의 BeiDou 신호를 통합한 GNSS 측위기술, 위성신호강도를 기반으로 한 다중경로오차 저감기술, 위치보정정보의 수신이 어려운 음영지역에서의 위치보정을 위한 기술들을 융합하여 관측하는 기술을 보유하고 있다. 위 보유한 기술들을 융합하여 관측환경에 따라 필요한 기술을 자동으로 On/Off 할 수 있는 S/W를 개발하고, 이를 적용한 저가 GPS 모듈 기반의 단말기를 제작하는 것이 최종 목표이다.

나. 기술 개발의 필요성

위성항법시스템을 통한 정밀한 위치정보는 사회, 경제, 군사적인 측면 등 다양한 분야에서 활용되어지고 있으며, 국가경제 및 사회의 고부가가치를 높여 국가경쟁력을 향상시키는데 폭넓게 기여하고 있다. 수많은 선진국들은 항법데이터 및 분석정보의 중요성을 새롭게 인식하고 위성항법증대와 시스템 향상에 경쟁적으로 많은 투자를 하고 있는 상황이며, 전 세계의 많은 측지연구기관들이 위성항법의 증가와 정교해진 항법데이터를 처리하기 위한 자료처리 및 분석 소프트웨어 개발에 많은 노력을 하고 있다. 현재는 상용적인 위성항법 데이터는 ‘차량 및 개인용 항법’에 주로 사용되고 있는 반면, 고정밀 위성항법 데이터는 지구과학 연구, 지구물리 연구, 측지정보 산출 등 정확한 분석을 요구하는 분야에서 많이 활용되어 지고 있으며, 일반 상용분야에서도 점차적으로 고정밀 위성항법 데이터가 요구되어 지고 있다. 이러한 상황에 따라 본 사업화에서 목표로 하는 골목길 내비게이션을 위한 정확도 확보 기술은 학계에서 이론적으로 제시된 내용과 본 업체에서 보유하고 있는 기술들로 시작품을 제작하고 사업화 하는 것이다.

다. 기술 개발의 독창성

본 사업화 대상 기술은 현재 국내에서 GPS 위성 개수만큼 관측이 되는 중국의 BeiDou 시스템까지 통합하여 GPS, GLONASS, BeiDou 세 개의 위성항법시스템을 통합

하여 측위에 활용함으로써 가시위성의 개수가 확보되지 않는 골목길 환경에서도 측위가 가능할 수 있게 하는 기술로 GPS 단독 측위 기술 또는 GPS와 GLONASS 통합 측위기술보다 기술적 난이도와 완성도가 높다고 볼 수 있다. 기존의 GNSS 단말기는 스마트폰, 내비게이션, 블랙박스, GIS 정보 수집기 등과 같이 특정 목적을 대상으로 하는 제품에 종속되어 개발됨으로써 측위 성능이 제한적이고 골목길이나 빌딩숲과 같이 오차를 유발하는 조건에 대한 대응이 미흡하였다. 그러나 본 사업화 대상 기술은 유연성 있는 GNSS 단말기를 개발하는 것으로서 다양한 제품에 연동이 가능하며 측위 조건이 열악한 환경에서도 높은 위치 정확도를 안정적으로 제공하는 독창성을 갖는다. 또한 국외 GPS 칩 제조사에서 제공하는 칩 내부의 자료처리 S/W를 사용하지 않고 해당 기업에서 보유하고 있는 측위기술을 적용함으로써 보다 개선된 자료처리 알고리즘 구현이 가능하고, 해당 알고리즘을 특허 출원하여 지식재산권을 확보함으로써 국내 GPS 기술력 향상에 기여할 것이다.

라. 개발 기술의 활용성

본 사업화 대상 기술은 도심과 빌딩숲에서 측위 정확도를 유지하는 것으로, 테헤란로와 같은 도심지역에서 내비게이션이 정상 작동하며 주요 상가들이 밀집한 지역에서 보행자 길안내가 용이하여 유동인구가 밀집한 지역에서 활용도가 클 것으로 예상된다. 또한 도심에서의 치안, 구조 및 구난 작업은 위치 정보의 불확실성으로 인하여 사고의 위험이 증가하고 피해가 확대되는 경향이 있다. 본 사업화 대상 기술을 통해 골목길 및 도심지 환경에서 높은 정확도의 측위기술을 활용할 경우 주택가에서 사고지점의 정확한 파악이 가능하며 여성과 아동, 노약자등 사회적 약자를 위한 안전망 구축에서 적용이 가능할 것이다.

3. 선행 특허 분석

사업화 대상 기술은 GPS 위성신호의 수신이 어려운 좁은 골목길에서 고층 건물이 밀집한 도심지역에서 위치정확도 1m 급의 위치 정보를 확보할 수 있는 측위기술 및 이를 활용한 저가 GPS 모듈 기반의 단말기를 제작하기 위한 기술로 통합 GNSS 기술과, 다중경로오차 저감기술, 위치보정정보의 수신이 어려운 음영지역에서의 위치보정을 위한 기술들을 융합하여 관측하는 기술들을 융합하여 관측하는 기술을 보유하고 있다.

해당 단락에서는 국내외 특허 동향 및 주요 핵심특허를 분석하여 특허 선행기술의 존재여부를 검토하며 회피방안에 대해 분석하였다. 검색 DB는 위스(<http://www.wips.co.kr>)를 사용하였으며, 한국, 미국, 일본, 유럽 특허를 대상으로 하였다. 검색된 특허들은 표 28과 같으며 특허들의 세부사항들은 첨부 1. '기술사업화컨설팅

결과보고서'에 상세히 기술되어 있다. 또한 지적재산권 확보, 회피를 위해 선행기술조사를 통해 도출된 유사특허의 기술을 참고하여 기존 기술과 차별화된 신규 권리를 보강 방안을 제시하는 지적재산권 보강과 타사의 특허를 침해할 가능성이 있는 경우를 대비해 사전에 타사 특허에 대한 대응방안을 마련하고, 타사 특허를 무효화 할 수 있는 방안, 타사 특허에 대한 라이선스 또는 공동연구를 실시하는 지적재산권 방어 전략에 대해서도 상세히 기술되어있다.

표 28. 국내 관련지식재산권 현황

번호	국가	출원번호 등록번호	명칭	출원인
1	KR	2014-0086151 KR 1476106	다중 위성항법시스템을 이용한 DGNSS 기준국	한국해양과학기술원
2	KR	2012-0048388 KR 1320023	GPS 및 GLONASS 통합 데이터 변환 장치 및 그 방법	(주)에이치엠에스
3	KR	2012-0124279 KR 1402088	위성항법 시스템과 비전 시스템 융합 기술 기반 이동체의 자기위치 측위방법 및 장치	(재)대구경북과학기술원
4	KR	2012-0133361 KR 1440690	지도를 활용한 실시간 위성항법 및 관성항법 선택 알고리즘 향상을 위한 내비게이션 운영 방법	현대엠엔소프트(주)
5	KR	2012-0115390 KR 1221931	위성신호 미약 환경에서의 관성센서를 이용한 선박의 위성측정치 생성방법 및 장치	한국해양과학기술원
6	KR	2014-0096688 KR 1429474	항법위성의 배치정보를 이용한 위성항법 보강 시스템 및 위성항법 보강 방법	세종대학교 산학협력단
7	KR	2012-0017130 KR 1180428	위성항법시스템 위치정보의 특정지역 신뢰도 제공 시스템	건국대학교 산학협력단
8	KR	2006-0007997 KR 0687243	다중 경로 오차 제거를 위한 코드추적루프 및 다중 경로오차 제거 방법	주식회사 네비콤
9	US	2013-763718	Method for Estimating the Direction of Arrival of Navigation Signals at a Receiver After Reflection by Walls in a Satellite Positioning System	CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES
10	US	2012-954651 US 08456354	System and method for applying augmentation corrections for GNSS positioning	Yufeng Zhang
11	EP	2012-405129	A Method of processing a radio frequency signal, a signal processing device for carrying out the method, a radio frequency front-end, a radio receiver and a GNSS	u-blox AG

			receiver	
12	JP	2009-244572 (21244572)	Navigation System	CLARION Co. Ltd.
13	JP	2011-114572 (23114572)	위치 보정 데이터 생성 장치, 위치 표적물 지도 표시 장치, 사용자 인터페이스 장치, 위치 보정 데이터 생성 장치의 위치 보정 데이터 생성 방법, 위치 표적물 지도표시 장치의 위치 표적물 지도표시 방법, 사용자 인터페이스 장치의 정보 처리 방법, 위치 보정 데이터 생성 프로그램, 위치 표적물 지도표시 프로그램 및 사용자 인터페이스 프로그램	MITSUBISHI ELECTRIC CORP
14	JP	2010-076039 JP 5423530	GNSS 수신 장치 및 측위 방법	TOYOTA MOTOR CORP
15	JP	2011-255021	GNSS 장치에서 위성 신호 다중 경로 완화	JAVAD GNSS INC

4. BM 분석

가. 비즈니스 모델 수립

비즈니스 모델을 구성하는 개별 요소들에 대한 상세 검토를 통해 시장진입의 가능성을 제고하기 위해 재구축이 필요하다. 해당 기술은 차량용 내비게이션 단말기, 스마트폰, DGPS 수신기 등 단말기에 탑재되는 S/W 라이브러리 형태의 제품으로서, 고정밀 위치 정보 제공에 대한 수요를 충족시킬 수 있으므로 제품화 및 GPS 단말기 S/W의 라이선스 판매로 수익을 창출할 수 있을 것으로 예상되어진다. 수요기업에서 예상하고 있는 수익의 유형은 표 29와 같다.

표 29. 제품화 종류에 따른 예상 수익 유형

수익 분류	GPS 단말기 S/W의 라이선스 판매	GPS 단말기 판매
내용	소프트웨어 사용권(Software License)을 판매하고 얻는 수익	GPS 단말기를 직접 판매하여 얻는 수익
수익 발생 시점	- 계약금 - 경상수수료	소비자가 단말기 구매 시
수익 발생	- 기술적 차별성 부각 (GPS 수신 음영지역에서의 측위정확도)	- 뛰어난 위치정확도 제공 - 수요처에서 요구하는 기능, 부가 옵션

사유		GPS 칩셋 종류, 수량 등에 따라 가격 상이
고객 분석	- 차량용 내비게이션 단말기 제작 업체 - 스마트폰 어플리케이션 제작 업체 - DGPS 수신기, 방송콘텐츠제작용 GPS 수신기를 필요로 하는 업체	- 일반 소비자 - 자동차 업체 - 관공서(소방서, 경찰서 등) - 물류업체
수익 분석	- 차량용 GPS 단말기 : copy당 500원 (GPS 칩 단가의 10~15%, GPS 모듈 단가의 2~5%) - 범용 GPS 단말기 : copy당 1천원 - 특수목적 GPS 단말기 : 1만원 (제품 가격의 1%) - 완성차 전장 탑재 : 1만원	- 개별 단말기 : 50~100만원

Business 9 Block 모델을 통하여 현재의 비즈니스 모델을 진단하고 문제점을 파악하는 한편, 환경 분석을 통해서 나타난 사항을 반영하여 실제 시장 진입에 활용 가능한 비즈니스 모델로 개선하기 위해 비즈니스 모델 수립을 진행하였다.

나. As-is BM

(주) 지평스페이스에서 기획중인 골목길 내비게이션에 대한 Business 9 Block을 이용한 BM 분석은 다음과 같다. 첫째, 핵심 파트너는 제품화 전문 업체인 (주)트루인테크는 단말기 제조 경험이 부족한 해당 기업의 단점을 보완해 줄 수 있는 기업이다. 둘째, 사업 수행과 관련된 핵심활동으로 골목길 환경에서의 GPS 기반 위치정확도 향상을 위한 요소 기술 융합 S/W개발과 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 시작품 개발이 있다. 셋째, 주요 핵심자원으로는 GPS 분야에서 20년 이상 연구개발을 수행해왔으며 현재 인하대학교 교수로 재직 중인 대표이사과 GPS를 전공한 석·박사들로 구성된 인적자원이 있으며, 여러 건의 지적재산권을 보유하고 있다. 또한 대표이사과 소속연구원들은 GNSS 자료처리, GNSS 오차 모델링, GNSS 정지/이동 정확도 평가, 기준수신기 개발 등과 관련하여 국내 최고의 기술력과 역량을 주요 핵심자원으로 볼 수 있다. 넷째, 주요 고객가치로는 고객들에게 여러 위성항법시스템의 통합과 열악한 환경에서 위성신호 수신기술 적용하여 정확한 위치정보를 제공하며, 저렴한 비용으로 기존 하드웨어에 S/W 작업만을 통한 성능 향상을 들 수 있다. 이는 기존 내비게이션 제품이나 GPS 모듈에 비해 인지도는 부족할지 모르지만 위치정보의 정확도면에서는 월등하다. 다섯째, 공공적 가치로는 정밀측위기술을 통하여 전자지도 구축산업, GIS DB 구축산업, 교통정보수집체계, ITS/C-ITS, 스마트카 산업 등의 활성화와 규모 증대에 기여할 것이다. 또한 사회적 약자를 위한 안전망 구축

에 기여하고 국내 GPS 기술력 향상을 통해 해외시장 수요, 수익 창출을 예상할 수 있다.

여섯째, 고객과의 관계를 지속적으로 유지하기 위해 주요 고객인 내비게이션 제조사와 제휴 및 협력 관계를 맺으며, 방송통신 사업자와 공공기관들과 공동 기술 개발을 통한 인프라 개발과 유지 사업을 지속적으로 진행할 것이다. 일곱째, 소요되는 고정비와 변동비를 반영한 전체 비용인 비용 구조로는 연구개발비, 제품생산비, 인건비로 나누어 볼 수 있다. 여덟째, 주요 수익은 앞서 설명한 GPS단말기 S/W의 라이선스 판매와 단말기 판매 수익이 있다. 아홉째, 고객 세분화를 통해 해당 아이템의 주요 고객은 내비게이션 제조사인 현대엠엔소프트, 아이나비, 파인디지털을 주요 고객으로 볼 수 있다. 또한 방송통신 사업자인 KT, SBS등과 측량과 공간정보를 다루는 공공기관인 서울시청 지적공사 도로공사들 또한 주요 고객으로 볼 수 있다. 마지막으로 자동차 부품 제조업체인 현대자동차나 자동차부품연구소를 고객을 볼 수 있다. E나라지표와 대한지적공사에서 2015년도 전체 GPS 장비의 낙찰 총액은 약 16억이며 E나라지표에 등록된 기관은 77개로 전체 공공기관의 1/4 이므로 공공기관의 규모는 약 64억으로 예상할 수 있다. 또 다른 고객으로 위치기반서비스업체가 있으며 2015년 약 1조 5665억 원의 시장규모를 갖고 있다. 내비게이션 & 블랙박스 단말기 제조업체는 2014년 내비게이션 234만대 블랙박스 130만대로 전체 약 364만대의 규모이다.

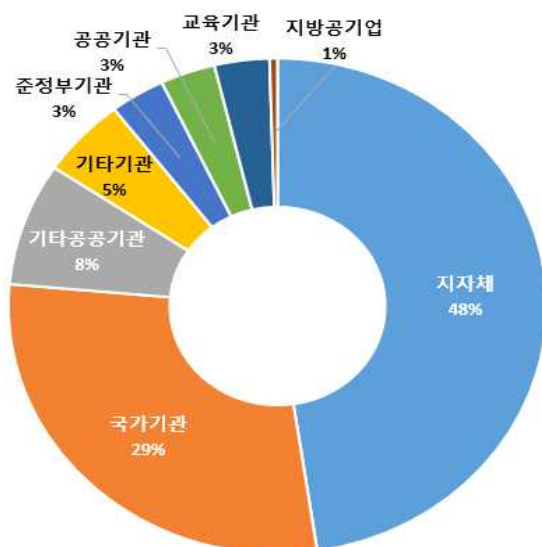
As-is 비즈니스 모델을 분석한 결과, 타겟 고객군의 우선 순위에 변화가 필요하여 공공기관을 제1타겟 고객으로 선정하고 위치기반 서비스 업체를 제2타겟 고객군으로 선정하였다. 또한 공공기관에는 단말기 판매 방식의 비즈니스 모델을, 위치기반 서비스 업체에는 S/W 라이선스 판매 방식의 비즈니스 모델을 구현하는 것이 유리할 것으로 판단된다. 또한 사업화 대상 아이템의 성공적인 비즈니스를 위해 제품화 및 마케팅 역량 강화가 필요하다고 분석하였고, 이를 보완하기 위해 마케팅 전문 인력 보충이나 전문업체와의 연계의 필요성이 요구되며, IT 관련 기술의 발전 속도와 측위기술의 발전방향에 맞춰 기술력을 지속적으로 발전시켜 기술적 차별성을 유지하고 강화해 나가야한다고 판단된다.

5. 실수요처 분석

사업화 대상기술은 GPS 위성신호의 수신이 어려운 좁은 골목길이나 고층건물이 밀집한 도심지역에서 위치정확도 1m급의 위치 정보를 확보할 수 있는 측위기술 및 이를 활용한 저가 GPS 모듈 기반의 단말기를 제작하기 위한 기술이며, 대상기술의 주요 수요처인 공공기관에 대한 공공부문에서의 GPS 단말기 수요를 분석하고자 한다. 공공기관의 수요 현황과 향후 입찰참여 시 함께 경쟁하게 될 경쟁사들의 현황을 분석하고 중요한 경쟁요소를 판별함으로써 경쟁우위 포지션을 적절히 선택하고 이에 따르는 포지션을 바탕으로 실수요처를 발굴하고자 한다. 이를 위하여 공공사업의 공개입찰로 이루어진 GPS

장비의 입찰 공고 및 계약 결과를 바탕으로 개발 기술의 실수요처를 발굴하였다. 대상기업이 목표로 하는 공공부문에서 GPS 단말기는 주로 공개입찰을 통해 납품계약이 이루어진다. 전체 입찰 공고 및 결과 중 현재 입찰 내역이 공개되지 않거나 미 기재된 공고를 제외한 212건의 2015년도 자료를 소관구분별, 용도별(사업별), 투찰률, 사양별로 분석하여 공공기관의 주요 니즈를 파악하고 시장 니즈에 대한 경쟁요소 및 경쟁우위 포지션을 판별하려 한다.

GPS 단말기 관련 실수요기관의 소관구분별 유형은 그림 90과 같다. 지자체의 수요가 48%로 가장 많은 것으로 나타났으며, 국가기관이 29%, 기타공공기관이 8%, 기타 기관이 5%순으로 나타났다. 국가기관으로는 국토부, 산림청, 국민안전처, 해양수산부, 국방부, 전기연구원, 국립대학교 등이 있으며, 기타 공공기관으로는 한국해양과학기술원, 한국어촌어항협회, 한국원자력연구원 한국항공우주연구원, 국방과학연구소 등 연구소 중심의 수요로 이루어져 있다.



소관구분	입찰건수(건)
지자체	101
국가기관	61
기타공공기관	17
기타기관	11
준정부기관	7
공공기관	7
교육기관	7
지방공기업	1
합계	212

그림 91. 소관구분별 입찰 공고 및 계약 건수

그림 91은 용도에 따른 입찰 공고 및 계약 건수를 나타낸다. 용도별 유형을 분석한 결과 지적재조사 및 세계측지계 좌표변환 사업과 관련된 입찰이 가장 많았다. 지적재조사 사업은 지자체 예산으로 시행되므로 지자체가 수요기관이 되며, 지적재조사 사업 외에 GPS 수신기를 필요로 하는 공공사업으로는 국토부의 ‘초정밀 GPS 보정시스템(SBAS) 개발·구축 사업’과 해양수산부의 ‘한국형 e-Navigation 구축 사업’등이 있다.

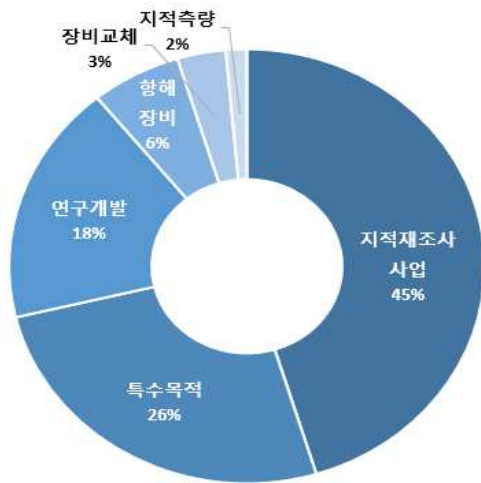


그림 92. 용도별 입찰 공고 및 계약 건수

이러한 예상 수요처인 공공기관에서 측위기술을 기반으로 한 용도별 목적에 부합하는 제품 규격과 위치정확도 향상을 위한 다채널 수신 기능 요구 등 기능적인 측면에서 요구가 높은 편이다. 다음 표 30은 사업화 아이টে에 대한 시장의 주요 니즈를 정리한 것이다.

표 30. 사업화 아이টে에 대한 시장의 주요 니즈

구분	내용	비고
1. 기능적 요구 확대	- 구체적인 사업 목적별(용도별) 요구 사항 충족 - 위치정확도 향상을 위한 다양한 채널 수신 기능 요구	
2. 법률적 적합성	- GPS(세부품명번호 5216151801) 입찰참가자격등록 요구 - 소기업·소상공인확인서 요구 - 소재지 제한 규정에 따른 조건 부합 요구 - 최저가격 낙찰제	
3. 관리운영 용이성	- 유무상 유지보수 요구 - 평균 1년(최대 2년)의 A/S 요구 - 소프트웨어 무료 갱신 요구 - 납품 장비 운영을 위한 사용자 교육 필요	

수요자의 니즈에 따라 해당 연구기관은 아래와 같은 경쟁력을 가진다. 첫째 통합 GNSS 자료처리 기술과 다중오차 저감 기술, 위치보정기술 등 위성항법정밀측위 및 측량 관련 핵심기술을 통해 수요자가 원하는 정확도와 신뢰성 등 기능적 요구사항에 대한 적절한 대응이 가능하다. 둘째, 유연성 있는 GNSS 단말기 개발을 목표로 제품을 개발,

제작하고 있기 때문에 공공기관의 다양한 수요를 충족시킬 수 있는 제품 공급이 가능하다. 셋째, 회사 내에 GNSS 장비 공급과 시스템 구축 및 운영, 기술지원 등 인프라 사업부가 조직되어 있어 물품 계약 이후 관리 운영이 용이하며, 관련 기술의 지속적인 연구개발이 이루어지고 있어서 소프트웨어 업데이트 등과 같은 추후 기술적 지원도 가능하다. 마지막으로 해당 연구기관은 정부의 국책연구사업에 참여하고, 자체 연구개발로 다수의 지재권 확보 및 기술개발과 관련한 우수한 연구 인력을 보유하고 있으며 자체 개발기술로 제품화까지 하는 기술경쟁력을 갖추고 있다. 또한 대부분의 제품을 참여업체를 통해 자체제작으로 생산하고 있어 낮은 원가로 납품이 가능하며, 관련 사업의 확장과 아울러 지속적인 자본투자가 이루어지고 있어 투입의 연속성 측면에서도 유리함을 갖는다.

이에 따라 본 사업화 아이템은 제품 포지션을 설정하면, 기술경쟁력 우위에서는 다기능 측면과 고기능 측면으로 나누어 경쟁업체 혹은 제품을 나열하고, 원가 우위에서는 브랜드력 중심의 고가제품과 가격경쟁력 중심의 적정가격 측면으로 각 업체를 나열할 수 있다. 현재 해외 업체의 대다수는 자체 핵심기술을 바탕으로 한 고성능 제품으로서 브랜드력을 축적하고 있으며, 국내업체의 경우 대부분 Trimble, Leica 등 수신기 제조업체에서 제공하는 상용 소프트웨어를 이용하여 GPS 자료를 처리하고 있으며 일반 측량 수준의 정확도를 제공하고 있다. 이러한 상황에서 (주)지평스페이스의 제품은 이중주파수 수신기를 이용한 고기능 제품보다는 위치정확도 향상을 위한 통합 측위 기능과 보정 기능은 물론 수신환경에 따라 각 기능의 자동 전환이 가능한 지능형 제품이라는 측면에서 포지셔닝하며, 가격경쟁력 측면에서도 지속적인 유지/보수 및 관리의 용이성을 감안한 경쟁력 있는 가격을 제시하는 방향으로 포지셔닝하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

6. 실수요처 마케팅 계획

본 사업화 아이템의 실수요처로 공공기관을 선정함으로 공공기관의 물품 구매 방식인 공개입찰 방식을 통한 실수요처 마케팅 계획을 수립하였다.

직접 납품 방식은 대상 기업이 공공기관의 입찰에 투찰자로 참여하여 수요기관에 직접 제품을 공급하는 방식이다. 이러한 방식의 장점은 대상 업체의 높은 수입급, 브랜드 인지도 향상, 향후 수요처 확보가 가능하다는 점이다. 위탁 판매 방식에 비해 좀 더 직접적인 수익이 많이 발생하며, 제품 및 회사의 인지도 향상에도 도움이 된다. 공개입찰을 통해 계약이 이루어진 후 수요기관에서 추가 수요 발생 시 기존에 계약한 업체들과 수의적으로 계약을 체결하기도 한다. 조달청 우수조달물품으로 지정될 경우 우선 공급지원 및 판로지원이 이루어지는데 대상 기업의 사업화 아이템은 특허 등록된 기술이 적용된 제품으로 이 제도를 활용할 수 있으며 타겟시장 진출 시 유리한 조건을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 단점으로는 지자체와 체결하는 입찰건의 경우 소재지 제한 규정이 있는 경우가 많다는 점과 입찰을 통한 물품 납품 실적이 적어서 낙찰 시 불리하게 작용할

수 있다는 점을 들 수 있다. 하지만 대상 업체가 GPS 수신기와 관련된 핵심 기술을 보유하고 있기 때문에 특수목적용으로 요구되는 규격에 대해 기술적인 대응이 용이하다는 점을 부각하며 해외 업체 제품과 비교하여 부대비용 절감 등 가격경쟁력이 우수함을 강조하고 지속적인 관리와 교육등의 가격적 메리트의 강조를 통해 보완할 수 있을 것으로 생각된다.

다음으로 위탁 판매 방식은 공공기관의 입찰에 투찰자로 참여하는 납품 업체에 사업화 아이템을 공급하여 공공부문 시장에 진출하는 방식이다. 공공기관의 입찰에 참가한 대부분의 업체들은 GPS 수신기를 직접 제조하기보다는 관련 제품을 도소매 하는 업체들로서 납품 전문업체들이다. 이는 이미 시장에 제품화되어 품질이 검증된 해외 유명 제품을 저렴한 가격에 안정적으로 공급받기 위한 것으로 분석되어진다. 따라서 공공기관의 입찰 및 납품 경험이 풍부하고 노하우가 축적된 납품업체를 선정하는 것이 중요하다. 이러한 위탁 판매 방식은 다수의 입찰 경험과 노하우 및 인프라를 갖고 있는 납품업체를 활용함으로써 입찰에 소요되는 비용 및 현재 마케팅 전담 인력이 부족한 해당 기업의 부담을 줄이면서 시장 진입이 용이하다는 점과 소재지 제한 규정의 취약점을 보완할 수 있다는 장점을 갖는다. 하지만 위탁판매를 하는 것이기 때문에 직접 납품 대비 수익금이 낮다는 단점을 갖는다. 또한 위탁판매를 위해서는 매 입찰 건에 요구하는 규격 사항을 매번 반영하기 어려우므로 공공부문에서 요구되는 규격을 전반적으로 포괄할 수 있는 고성능·다기능 제품 개발이 필요하다.

제 7 절 사업화 계획 및 매출 계획

이 절에서는 본 연구개발과제를 통해 개발된 S/W 및 단말제품의 사업화 및 매출 계획을 기술한다. 해당 연구개발과제의 총 연구기간이 1년에 불과하여 연구기간 내에는 목표 성과인 S/W 개발 및 단말기 시작품 개발을 완료하였으며, 종료 이후 사업화 또는 제품 판매를 시작할 계획이다. 따라서 과제가 종료되는 시점인 2016년부터 5년에 걸쳐 진행될 사업화 계획 및 판매 계획을 수립하였다. 먼저 타겟 제품

1. 연도별 판매계획

판매 제품은 크게 차량용 단말기 S/W와 범용 단말기 S/W, 특수목적 단말기 S/W로 구분하였으며, 각각의 카테고리에 해당하는 세부 제품은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 차량용 GPS 단말기 S/W: 차량용 내비게이션 단말기, 블랙박스
- 범용 GPS 단말기 S/W: 스마트폰
- 특수목적 GPS 단말기 S/W: 수요처별 단말기

차량용 단말기는 차량용 내비게이션 단말기, 블랙박스 등을 포함하며, 범용 GPS 단말기는 길안내를 비롯하여 다양한 위치기반서비스 제공이 가능한 스마트폰을 포함한다. 마지막으로 특수목적 단말기는 해당 기술을 필요로 하는 다양한 수요처들이 각각의 목적에 맞도록 사용하는 S/W 또는 단말기를 의미한다. 각 단말기의 연도별 판매계획은 표 31과 같다.

표 31. 연도별 매출 계획

(단위 : 백만원)

구분		1차년도 (2016년)	2차년도 (2017년)	3차년도 (2018년)	4차년도 (2019년)	5차년도 (2020년)
차량용 GPS 단말기 S/W	국내	55	250	300	400	500
	해외	0	0	150	280	400
범용 GPS 단말기 S/W	국내	0	0	100	120	150
	해외	0	0	50	120	150
특수목적 GPS 단말기 S/W	국내	20	25	30	40	50
	해외	0	0	15	40	50
합계		75	275	645	1,000	1,300

매출액 산정을 위한 기준은 다음의 내용을 근거로 사용하였다. 차량용 내비게이션 및 블랙박스용 라이브러리 S/W의 라이선스 판매 단가를 copy 당 500원으로 가정하였으며, 이는 GPS 칩 단가의 10~15%, GPS 모듈 단가의 2~5% 수준이다. 스마트폰용 어플리케이션 S/W의 판매 단가는 copy 당 1,000원으로 가정하였으며, 정밀 측위 장치용 라이브러리 S/W의 라이선스 판매 단가는 제품 가격의 약 1%인 1만원, 완성차 전장 탑재 라이브러리 S/W의 라이선스 판매 단가 역시 1만원으로 책정하였다.

각 목표 시장의 현황과 제품 판매를 위한 목표는 다음과 같이 설정하였다. 먼저 블랙박스 시장의 경우 가격을 낮추고 기능은 단순화한 제품과 고화질을 지원하고 GPS 등의 부가 기능을 갖춘 고가 제품으로 양극화 되고 있는 추세이며 본 연구과제를 통해 개발된 제품은 고가 제품 탑재를 목표로 하고 있다. 블랙박스의 보급대수를 살펴보면 2014년 국내 자동차용 블랙박스 시장규모는 대수로 240만대, 누적 보급대수는 451만대에 이른 것으로 조사되고 있다.

내비게이션 시장의 경우 소수의 업체가 시장을 점유하고 있고, 보급률이 포화상태에 접어들어 연간 보급대수 및 매출은 감소 추세이나, 내비게이션 단말기에 대한 수요는 당

분간 꾸준히 유지될 것으로 예상된다. 특히 맵형 내비게이션 수요가 증가하고 있고 3D 내비게이션, 통신형 내비게이션, 항공지도가 탑재된 내비게이션 등이 출시되고 있는 추세로 파악할 수 있듯이 고급형 제품의 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 따라서 정밀 전자지도와 연계된 정밀 길안내 기능 등 고정밀 측위 기술에 대한 수요가 새롭게 발생할 것으로 예상되며 개발 제품의 수요 역시 증가할 것으로 예측된다. 내비게이션 단말기 판매 대수는 2013년 기준 연간 140만대(유진투자증권)인 것으로 조사되었다.

각 목표 시장별 제품 판매를 위한 목표는 다음과 같이 수립하였다.

○ 차량용 내비게이션 탑재 목표

- 1차년도 1개 모델에 제품 탑재
- 2차년도 전체 보급 대수의 20% 탑재, 이후 매년 10% 성장
- 3차년도부터 해외 시장 진출 목표

○ 블랙박스 탑재 목표

- 2차년도 전체 보급 대수의 10% 탑재, 이후 매년 10% 성장
- 3차년도부터 해외 시장 진출 목표

○ 스마트폰 단말기용 애플리케이션 판매 목표

- 3차년도 100,000 copy 판매, 이후 매년 10% 성장
- 3차년도부터 해외 시장에 공급된 스마트폰 단말기 지원

○ 완성차 탑재 목표

- 4차년도 50,000대 탑재, 이후 매년 10% 성장
- 5차년도부터 해외항 자동차에 탑재

○ 특수목적 정밀 측위장치 탑재 목표

- 1차년도 1,000대 탑재, 이후 매년 10% 성장
- 3차년도부터 해외 시장 진출

2. 연도별 판매 마케팅 전략

각 제품의 판로 확보를 위해 4단계로 판매 전략을 수립하였으며, 각 단계별 상세 전략은 다음과 같다. 먼저 1단계로는 그동안 해당 기술의 필요성을 제시하고 기술개발을 요구해온 수요처들을 대상으로 단말기 시작품을 소개하고 초기 판로를 확보할 수 있도록 한다. 2단계로는 GPS 수신 모듈 제조사와 기술 협력을 추진하고 내비게이션 단말기 제

조사 및 스마트폰 제조사를 통해 시장 진출을 추진한다. 그리고 체계적인 시장조사를 통해 S/W 라이선스 단가를 선정한다. 3단계에서는 각종 전시회 참여를 통해 수요처를 확대하고 잠재적 수요처를 대상으로 평가용 버전을 제공하여 홍보효과를 극대화할 수 있도록 한다. 마지막으로 4단계에서는 각 수요처의 니즈(needs)에 따라 제품의 기능을 업그레이드 하고 맞춤형 S/W 또는 단말을 제작할 수 있도록 한다.

연도별 판매전략은 다음과 같이 정리할 수 있다.

○ 1차년도

- 고정밀 측위 기술 공동개발사인 SBS와 SBS 협력 기관인 한국국토정보공사를 대상으로 정밀측위시스템용 제품 공급
- 내비게이션 단말기 1종 탑재
- 블랙박스 탑재 추진

○ 2차년도

- 차량용 내비게이션 단말기 모델 확대 및 블랙박스용 제품화
- 완성차 전장 제품 탑재 추진
- 스마트폰 제조사 및 스마트폰 용 GPS 칩 제조사와 협력 추진
- 해외시장 진출 추진

○ 3차년도

- 스마트폰 어플리케이션 형태의 제품화(스마트폰 어플리케이션은 GPS 모듈의 지원 필요)
- 스마트폰용 차량 및 보행자 내비게이션 서비스를 제공하고 있는 통신사업자를 통한 제품 공급 추진
- 해외 시장 진출

○ 4차년도

- 완성차 전장 제품에 탑재
- 해외시장 매출 확대

○ 5차년도

- 시장의 안정 성장기

3. 사업화 성과

항목	세부항목			성 과
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	-
			향후 3년간 매출	10억원
		관련제품	개발후 현재까지	-
			향후 3년간 매출	-
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	-
			향후 3년간 매출	국내 : 80% 국외 : 20%
		관련제품	개발후 현재까지	-
			향후 3년간 매출	국내 : - % 국외 : - %
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위		1~2위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위		1위

4. 사업화 계획 및 매출 실적

항 목	세부 항목		성 과		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		1년		
	소요예산(백만원)		양산수량에 따라 달라짐		
	예상 매출규모 (억원)		현재까지	3년후	5년후
			-	10	20
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	-	30	50
		국외	-	3	5
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)		현재	3년후	5년후
	수입대체(내수)		-	-	-
	수 출		-	-	-

제 8 절 연구개발성과

이 연구개발과제를 수행하면서 연구기간 동안에 달성한 성과로는 논문게재, 특허출원 및 등록, 소프트웨어 등록, 학술대회발표 및 전시, 시작품 제작, 판매계약 등이 있다. 이 절에서는 각각의 연구성과에 대해 정리하였다.

1. 논문 게재 4건

- Dusik Kim, Kwan-Dong Park, Jihye Won (2015), Correction of Coordinate Discontinuities Caused by GPS Antenna Replacements, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, Vol. 4, No. 3. pp. 131-140.
- 손동효, 박관동 (2015), DGNSS 위치정확도 향상을 위한 PRC 보정정보 모델링에 관한 연구, 한국지형공간정보학회지, 제 23권, 제 4호, pp. 43-48.
- Min-Wook Kang, Jihye Won, Mi-So Kim, and Kwan-Dong Park (2016), Accuracy Evaluation of IGS-RTS Corrections to Stand-Alone Positioning based on GPS Code-Pseudorange Measurements, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, 제 5권, 제 2호, pp. 59-66.
- Woong-Jun Yoon and Kwan-Dong Park (2016), On the Diurnal, Annual, and Solar Cycle Variations of Slant Total Electron Content in the Korean peninsula, Journal of Positioning, Navigation, and Timing, 제 5권, 제 2호, pp. 87-96.

논문명	저자명		학술지명	국제/ 국내 구분	게재 년도	Vol.	No.	ISBN/ ISSN
	주 저자	공동 저자						
Correction of Coordinate Discontinuities Caused by GPS Antenna Replacements	김두식	박관동 원지혜	Journal of Positioning, Navigation, and Timing	국내	2015	4	3	2288-8187
DGNSS 위치정확도 향상을 위한 PRC 보정정보 모델링에 관한 연구	손동효	박관동	한국지형공간 정보학회지	국내	2015	23	4	1598-2955
Accuracy Evaluation of IGS-RTS Corrections to Stand-Alone Positioning based on GPS Code-Pseudorange Measurements	강민욱	원지혜 김미소 박관동	Journal of Positioning, Navigation, and Timing	국내	2016	5	2	2288-8187
On the Diurnal, Annual, and Solar Cycle Variations of Slant Total Electron Content in the Korean peninsula	윤웅준	박관동	Journal of Positioning, Navigation, and Timing	국내	2016	5	2	2288-8187

2. 특허 등록 1건 및 출원 3건

- 등록 1건

- GNSS 수신기 및 이의 가중치 부여에 따른 위치 정보 산출 방법, 김혜인 외 1인

- 출원 3건

- GNSS 수신기 및 이의 가중치 부여에 따른 위치 정보 산출 방법, 김혜인 외 1인
- DGNSS 측위 방법 및 이를 이용하는 GNSS 수신기, 태현우 외 2인
- 위성항법 보정시스템의 위치정확도 향상을 위한 보정정보 제공 장치 및 그 방법, 박관동 외 3인

특허명	출원 일자	출원 번호	공개 일자	등록 일자	등록 번호	출원 (등록)국	출원 (등록)인 또는 법인	출원 (등록)인 코드
GNSS 수신기 및 이의 가중치 부여에 따른 위치 정보 산출 방법	2015.07.09	10-2015- 0097699	-	특허 결정 (2016. 06.30.)	-	대한민국	(주)지평스 페이스	1-2012- 040977-8
DGNSS 측위 방법 및 이를 이용하는 GNSS 수신기	2016.02.05	10-2016- 0015276	-	-	-	대한민국	(주)지평스 페이스	1-2012- 040977-8
위성항법 보정시스템의 위치정확도 향상을 위한 보정정보 제공 장치 및 그 방법	2016.03.15	10-2016- 0030984	-	-	-	대한민국	(주)지평스 페이스, (주)트루인 테크	1-2012- 040977-8, 1-2012- 004446-5

3. 소프트웨어 등록 4건

- 지피에스(GPS) 의사거리 보정정보 모델링 매개변수 생성 프로그램
- 실시간 위성항법보정정보 수집 프로그램
- 실시간 위성항법보정정보 복호화 프로그램
- 실시간 위성모니터링 시스템

제 목	등록년도	등록인	등록번호
지피에스(GPS) 의사거리 보정정보 모델링 매개변수 생성 프로그램	2016	(주)지평스페이스	C-2016-005124
실시간 위성항법보정정보 수집 프로그램	2016	(주)지평스페이스	C-2016-005504
실시간 위성항법보정정보 복호화 프로그램	2016	(주)지평스페이스	C-2016-005505
실시간 위성모니터링 시스템	2016	(주)지평스페이스	C-2016-005506

4. 시작품 제작 1건

- 개발성과의 단말기 시작품 제작



그림 93. 단말기 시작품 외형 및 내부

5. 판매계약 1건

물품구매 계약(주문)서					
계약번호			결	담당	이사
계약명	골목길 내비게이션용 GNSS 수신기 (RTAP-CI)		재		대표이사
계약금액 (부가세포함)	금 삼백삼십만원		₩3,300,000		
계약기간	2016년 6월 17일 부터 2016년 6월 30일				
지체상금	지체일수 1일에 대하여 계약금액 0.15%		하자보수	기간	납품 후 1년
특기사항				금액	0원
순번	물품명	단가	수량	비고	
1	골목길 내비게이션용 GNSS 수신기 (RTAP-CI) ○ GPS, GLONASS 수신 가능 ○ SMA 타입 안테나 단자 ○ WiFi, 블루투스, ethernet ○ micro USB ○ 내장 배터리 ○ 상태확인 LED	₩1,000,000	3		
상기 내용을 다음 계약조항으로 이행할 것을 약함. 2016년 6월 17일					
계약상대자	상 호	주식회사 지평스페이스	발주처	주식회사 다울 지오인포 대표이사 김 인 규	
	사업자번호	121-86-16180			
	대 표 자	박 관 동			
	주 소	인천광역시 남구 민화로 100, 39동 601호 (인하대학교)			
	전 화 번 호	032)873-4305			

그림 94. 물품구매 계약서

6. 학술대회 발표 2건

- 김혜인, 박관동, 태현우, 김태일, 임정환, 임평채(2015), 골목길 내비게이션을 위한 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 측위 기술 개발, 2015 KGS Conference
- 손동효, 박관동, 김혜인(2015), DGNSS 위치정확도 향상을 위한 의사거리 보정치 모델링, 2015 KGS Conference

7. 사업화를 위한 이행 실적

- 사업 및 투자설명회 참석 및 기술 홍보
 - 2015.08.26. - 2015 해양수산 기업설명회에서 중소기업 투자 관계자 등을 대상으로 성과물 설명
 - 2015.07.22. - 인천창조경제혁신센터 행사에서 인천 기술창업 대표로 참석하여 개발기술 설명
 - 2015.09.24. - 인천엔젤포럼에서 중소기업 투자 관계자 등을 대상으로 성과물 설명 및 홍보
 - 2016.07.07. - 글로벌 스타트업 육성사업 관련 ‘관교 완샷 프로젝트’에 참여하여 발표를 통해 개발 기술 설명 및 홍보
- 학회 발표 및 전시 홍보
 - 2015 KGS Conference 학회 발표 2건
 - 2015 KGS Conference 개발 기술 전시
 - 2015.11.26.~11.29. 2015 창조경제박람회에서 개발 솔루션 전시
- 수요업체와의 회의 진행 및 활용 가능성 타진
 - 현대오트모에버(주), KT 등 대기업 수요처에 개발 기술 및 제품 소개, 비즈니스 모델 및 협력 방안 논의
 - IoT 관련 기업, 측기사 업체, 지도 제작 업체 등 중소기업 수요처에 개발 기술 및 제품 소개, 비즈니스 및 협력 방안 논의
 - 국토교통부, 서울특별시, 국토지리정보원, 한국국토정보공사, ETRI 등 국가기관 및 정부출연연구소, 공기업 등에 개발 기술 및 제품 소개

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

이 장에서는 연구목표 및 평가 착안점에 따른 연구개발 목표의 달성도 및 연구내용에 대해 기술하고 목표 달성 내용이 관련분야에 미치는 기술발전 기여도에 대하여 기술한다. 골목길 내비게이션을 위한 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 단말 개발을 위하여 수행한 연구개발의 내용으로는 크게 골목길 환경에서의 GPS 기반 위치정확도 향상을 위한 요소기술 융합 S/W 개발, 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 시작품 개발, 사업화 전략 수립이 있다. 연구개발기간 동안에 진행된 연구개발의 목표와 달성도, 그리고 각 목표에 해당하는 상세한 연구내용과 관련분야에의 기여도는 아래 표에 나타내었다.

연구목표	달성도 (%)	연구내용 및 관련분야에의 기여도
골목길 환경에서의 GPS 기반 위치정확도 향상을 위한 요소기술 융합 S/W 개발	100	□ 연구내용 • GPS, GLONASS, BeiDou를 포함한 통합 GNSS 시스템 자료처리 S/W 개발 - GPS/GLONASS/BDS 통합 자료처리 S/W 구현 - 통합 GNSS 자료처리 시스템 라이브러리 제작 • 다중경로오차 저감 기술 적용을 통한 골목길 환경에서의 위치 정확도 향상 S/W 개발 - SNR 특성 기반 다중경로 오차 저감 기술 S/W 구현 - 통합 GNSS 자료처리 S/W에 해당 기술 융합 • 위치보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정을 위한 S/W 개발 - 위성 repeat time을 고려한 보정정보 모델링 기술 S/W 구현 - 위치보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정 기술 S/W 구현 - 통합 GNSS 자료처리 S/W에 해당 기술 융합 □ 관련분야에의 기여도 • GPS/GLONASS/BDS 통합 자료처리를 위해 반드시 고려해야 하는 각 시스템간의 좌표계, 시간계 등 동기화 및 핵심 기술 확보 • 골목길 또는 빌딩숲과 같은 난수신환경에서의 GNSS 한계 극복을 위한 다양한 방법 검토 및 도심지에서의

		SNR 특성 분석, 정확도 향상 방안 제시를 통한 향후 관련 기술개발의 기반 마련 ● 기존에 제공되고 있는 DGNSS 서비스의 커버리지 한계를 극복할 수 있는 새로운 방법 제시
저가 모듈 기반의 지능형 GPS 시작품 개발	100	□ 연구내용 ● 시스템 검증을 위한 PC 기반 측위 기준수신기 개발 및 검증 - 정확도 검증 및 단말기 S/W 검증에 활용하기 위한 검증용 PC 기반 기준 수신기 제작 - 평가용 개발 보드를 활용한 통신 모듈, 중앙처리장치, 저장장치, 측위결과 외부출력을 위한 디스플레이 구성 및 외장형 GPS 수신기 연동 - 관측환경 및 보정정보 수신환경에 따른 각 기능의 자동전환 기능 구현 ● 위치정확도 1m급 저가의 지능형 측위 시작품 개발 - 상용 내비게이션 및 스마트폰에 탑재된 OS를 활용한 통신모듈, GPS 모듈, 디스플레이, RS232 인터페이스 등 구성 및 시작품 보드 내 GPS 모듈 탑재 ● 국내 테스트베드에서의 시작품 검증 - 관측환경이 좋은 개활지와 관측환경이 좋지 않은 골목길에서 정지 및 이동측위 테스트를 통한 개발 S/W 및 시작품 검증 □ 관련분야에의 기여도 ● 국외 GNSS 모듈을 기반으로 국내 다양한 기술을 탑재하여 고객의 니즈를 반영한 제품을 생산할 수 있는 기술력 확보 ● 이 연구개발을 통해 개발한 확장성 높은 시작품 하드웨어를 기반으로 다양한 기능 및 S/W를 탑재할 수 있는 기반 마련
사업화 전략 수립	100	□ 연구내용 ● 환경 분석 - 외부 환경 분석 - 내부 환경 분석 - SWOT 분석

		● 기술성 분석 - 기술성 분석 - 특허 분석 - 기술성 및 권리성 평가 ● 시장 분석 - 산업 및 시장 동향 - 업체 동향 - 정책 및 규제 동향 - 시장성 및 사업성 분석 ● BM 분석 - 비즈니스 모델 수립 ● 개발 기술의 국내 실수요처 분석 - 실수요처 발굴전략의 수립 - 예상수요처 발굴 및 실수요처 분석 ● 국내 실수요처 마케팅 계획 수립 □ 관련분야에의 기여도 ● 국내외 시장현황 및 분석 자료 마련 ● 다양한 분석 내용을 기반으로 관련 제품의 비즈니스 모델 및 마케팅 전략 수립 가능
--	--	--

제 5 장 연구결과의 활용계획

이 장에서는 이 연구를 통해 개발된 연구결과의 타 연구에의 응용 등 연구개발결과의 활용계획과 기대효과에 대하여 기술한다.

제 1 절 연구개발결과 활용계획

제안 과제를 통해 도출된 성과물인 골목길 환경에서의 GPS 기반 위치정확도 향상을 위한 요소기술 융합 S/W와 저가 모듈 기반의 지능형 GPS 시작품은 골목길 환경이나 도심지 등과 같이 GPS 신호 수신에 어려운 지역이나 유동 인구 밀집 지역에서 길안내, 위치추적 등의 목적으로 활용도가 클 것으로 예상되어진다.

최근 도심에서의 치안, 구조 및 구난 작업 시 위치 정보의 불확실성으로 인하여 사고의 위험이 증가하고 피해가 확대되는 경향이 있다. 이러한 환경에서 본 연구개발 과제인 골목길 및 도심지 환경에서의 높은 정확도의 측위기술을 활용할 경우 국민안전 분야와 관련하여 정확한 사고 지점 파악을 가능하게 하고 여성, 아동, 노약자 등 사회적 약자를 위한 안전망을 구축하는데 있어서 큰 도움이 될 것이다. 또한 상기 기술한 목적으로 사회적 약자를 위한 위치추적 단말기 외에도 특수 목적을 위한 위치추적 모니터링, 차량용 내비게이션의 정확도 향상, 보행자 및 자전거 이용자 길안내 정확도 향상 등 폭넓은 분야에 활용되어 질 수 있으며, 제안과제의 성과물인 시작품을 기반으로 다양한 형태의 단말기를 제작하여 실용화 및 제품화하여 새로운 산업분야 창출에도 활용 되어질 것으로 생각된다. 뿐만 아니라 성과물을 기본으로 자체적으로 S/W 및 단말기를 제품화하여 판매하여, 기존 단말기들에 S/W 업데이트 통한 성능향상 효과를 기대할 수 있게 될 것이며, 사업화 규모가 커지게 될 경우 기술이전, 기술실시계약 등을 통해 양산체제를 갖추고 대량생산 및 판매로 연결할 수 있을 것이다.

제 2 절 연구개발결과 기대효과

해당 과제를 통하여 산출되는 결과물을 통하여 사회 각 계층의 다양한 분야에서 활용되는 위치정보의 신뢰성을 높일 수 있다. 해당 보고서 2장의 GNSS 시장 전망을 통해서 확인할 수 있듯이 최근 내비게이션, 스마트폰, 태블릿 PC 등 위치정보 사용기기가 기하급수적으로 증가하고 있는 추세이기 때문에 해당 연구개발과제의 결과는 이러한 급성장하는 최근 환경에서 필수적인 요소이며, 해당 결과물을 통해 위치정보의 신뢰성을 향상 시킴으로써 기술, 사회, 경제, 정책적 측면에서 관련 산업의 활성화에 크게 기여할 수 있다.

1. 기술적 측면

GNSS 수신기능이 탑재된 단말기의 보편화로 시장이 확대되고 있는 추세이므로 본 연구결과에서 개발되는 시작품의 활용성은 매우 클 것으로 전망되어지며, 위치정보의 정확도 개선을 통해 자동차 운전자의 편의증대 뿐만 아니라 보행자, 자전거 운전자용 단말기의 위치정보 정확도 개선을 기대할 수 있고 선박, 건설, GIS, 농업 등 다양한 분야에서 정밀 측위 기술을 효과적으로 활용할 수 있게 되어 관련 산업의 활성화에 크게 기여가 가능할 것이다. 뿐만 아니라 내비게이션 단말기에 탑재되는 전자지도의 정밀도가 점차 높아짐에 따라 이에 맞는 더욱 정밀한 측위 기술이 요구되고 있으며, 지능형 교통 시스템, C-ITS, 스마트 자동차 등의 분야에서 차량 간 통신 또는 차량/기지국간 통신을 통해 각종 정보를 교환하는 시스템에 있어서도 차량의 정밀한 위치 측위 기술은 필수적으로 요구되어진다. 본 연구개발의 결과물은 이러한 요구들을 만족 시킬 수 있을 것이다.

또한 개활지에 비해 GNSS 수신 환경이 좋지 않아 측위 오차가 크게 나타나는 도심지, 주택가 골목 등에서 측위 오차를 줄임으로써 보행자 및 교통약자들을 위한 길안내 기술의 발전에도 기여가 가능할 것이다. 위와 같은 정밀 측위 기술에 대한 수요를 충족하기 위해 카메라를 이용한 비전 기술이 접목된 상대 측위 기술 또는 GNSS 신호 외에 타 무선 매체와의 통합 등의 다양한 통합방법들이 연구개발 중인 하드웨어 개발되고 있으나 이러한 연구들은 모두 GNSS의 측위 결과에 영향을 받으므로 기존의 GNSS 모듈 외 별도의 추가 장치를 필요로 하지 않고 도심환경에서 더욱 정확한 정밀도를 갖는 본 연구결과의 시작품을 다양한 하드웨어 환경에 폭넓게 접목하여 여러 통합 단말기의 성능 향상을 기대할 수 있다.

2. 사회·경제적 측면

정밀 측위 기술이 보편화되면서 그에 따라 전자지도 구축 산업, GIS DB 구축산업, 교통정보 수집 체계, 지능형 교통 시스템, C-ITS, 스마트 자동차 등의 다양한 산업에서의 산업 활성화 속도와 산업 규모 증대에 기여할 수 있게 될 것이다. 또한 본 연구개발의 결과물은 특정 인프라에 종속되지 않고 측위 기술을 필요로 하는 보편적인 분야에 적용할 수 있으므로 국내뿐만 아니라 해외시장의 다양한 수요에도 적용할 수 있는 기술이다. 따라서 해외 시장에서도 경쟁력 확보가 가능할 것으로 판단되며 국내 시장에서의 기술 적용 사례를 토대로 해외 시장에서의 수익 창출 또한 기대할 수 있다.

최근 사회적으로 중요한 이슈로 부각되고 있는 납치, 미아발생, 성범죄 방지, 긴급구난 등을 위해 측위기술을 활용한 seamless한 위치정보 제공과 정확도 향상 및 신뢰도 개선에 대한 요구들이 급증하고 있다. 2010년에서 2012년까지 서울시의 3년간 6대 범죄(살인, 강도, 성폭력, 폭력, 절도, 방화)는 지속적으로 증가해왔으며 이러한 강력 범죄는 주로 좁

은 길이나 골목길이 많은 지역에서 많이 발생하기 때문에 좁은 골목길이나 도심환경에서의 방법대책이 요구되어지고 있는 환경이다. 본 연구과제 결과물을 빠르고 정확한 위치 정보 제공을 통해 도심지나 골목길에서 발생하는 범죄율의 감소를 기대할 수 있다.

또한 도시화 확대 및 고층 빌딩 수 증가로 도심지역에서 위치정확도가 좋은 내비게이션, 길 찾기 앱에 대한 수요가 지속적으로 증가되어지고 있고 주5일 근무제 시행으로 인해 여가 활동을 즐기는 인구가 증가함에 따라 초행길도 쉽게 찾아갈 수 있는 내비게이션에 대한 수요가 급증하고 있다. 해당 연구개발과제를 통해 이러한 소비자들의 욕구를 충족시켜 좀 더 편안한 주행 환경을 제공하게 될 것이다.

최근 3년간 치매환자 실종신고는 연간 7.2% 증가하고 있으며, 치매노인 인구증가에 따라 실종신고 또한 지속적으로 증가되고 있다. 따라서 정부는 2013년부터 치매노인의 행동범위를 파악하고 일정 지역을 진입 또는 이탈했을 때 보호자 및 행정 관리기관에 문자를 전송하는 목걸이 형태의 위치추적 감지기를 보급해왔으나 8시간 마다 충전, 넓은 오차범위 등의 문제점이 지적됨에 따라 국내외에서 실시간 위치 정보를 파악할 수 있는 위치추적시스템 개발 계획을 마련하려 하고 있는 상황이다. 해당 연구결과의 결과물은 이러한 문제해결에 활용되어 질 것으로 기대된다.

3. 정책적 측면

국토교통부는 2020년까지 총 3조 2천억 원을 투입해 전국 고속도로와 국도에 차세대 ITS 인프라를 구축하겠다는 계획을 발표하였고 이에 앞서 2016년 말까지 세종시와 대전시를 연결하는 81km 구간에 180억 원을 투입해 시범사업을 실시하여 자동차 업계가 추진 중인 자율주행, 충돌방지, 실시간 교통정보 제공 등의 서비스와 시너지를 낼 수 있는 기반을 마련할 계획을 갖고 있다. 본 과제의 시작품을 통해 자율 주행 자동차의 고 정밀 위치획득 기술을 선도할 수 있게 될 것이다. 해양수산부가 e내비게이션 구축 사업을 성공적으로 추진하기 위한 중장기 계획인 ‘한국형 e내비게이션(첨단 장비와 무선통신망을 활용해 선박운항자가 안전하게 항해할 수 있도록 의사결정을 도와주는 시스템) 전략이행 계획’이 발표됨에 따라 해양사고에 의한 인명·재산피해 감소, 해운물류·항만 효율성 제고는 물론 디지털 해상무선통신사업 등 새로운 시장이 부각되고 있으며 이러한 새로운 시장 선점을 위한 기술력 확보에 활용될 것으로 기대된다.

골목길이나 도심지의 환경에서 위치정확도를 개선하고자 하는 연구는 국내외에서 꾸준히 수행되고 있으나 아직까지 완벽하게 해결할 수 있는 솔루션은 없는 실정이며, 국외 GNSS 칩 제조사들은 자체 보유 기술을 적용하여 일정 부분 개선 효과를 보이고는 있으나 기술이 공개되어 있지 않기 때문에 다음 단계로의 발전, 활용이 어려운 실정이다. 따라서 본 과제를 통해 국내 자체 기술력으로 국외 GNSS 칩 제조사들로부터 독립적으로 국내 수요를 반영하여 골목길 내비게이션을 위한 저가의 지능형 GNSS 측위 S/W 및 단

말을 개발하여 상용화 하게 된다면 국가 기술력을 확보하고 관련 업계에서 위상을 높일 것으로 판단된다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

이 연구에서는 골목길 환경에서의 GNSS 기반 위치정확도 향상을 위한 기술개발을 위하여 다음과 같은 해외 과학기술정보를 수집하였으며, 이 장에서는 각 요소기술별로 구분하여 각 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보에 대하여 기술한다.

☐ GPS/GLONASS/BDS 통합측위

- GPS ICD
- GLONASS ICD
- BDS ICD

☐ 다중경로오차 저감 기술

- 그림자 맞춤 기법
- 가중치 모델

☐ 위치보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정 기술

- 보정정보 예측기술
 - 신경회로망
 - 칼만필터
- RTCM 국제표준

제 1 절 GPS/GLONASS/BDS 통합측위

이 연구개발에서 개발한 단말기는 GPS/GLONASS/BDS를 통합하여 측위하기 때문에 각 위성항법시스템의 매뉴얼이라 할 수 있는 ICD(Interface Control Document)를 통하여 시스템 통합에 필요한 기술 정보를 수집하였다. 각 시스템별로 수집된 세부적인 정보는 다음과 같다.

1. GPS ICD

이 연구개발에서는 통합측위를 수행하기 위해 GPS의 기준 시간계 GPST와 기준 좌표계 WGS84에 대한 자료를 수집하였으며, 방송궤도력에 포함된 케플러 궤도요소를 이용

하여 위성 좌표를 계산하는 과정을 파악하였다. 그리고 측위 정확도 향상을 위해 위성 시계오차, 상대성 효과에 의한 오차, 전리층 오차, 대류권 오차 등 측위 오차 요소의 보정 방법을 조사하였다. 통합측위를 위해 적용한 GPS에 대한 상세한 사항은 제 3장 제 1절에 기술하였다.

2. GLONASS ICD

이 연구개발에서는 GLONASS의 기준 시간계인 GLOT와 기준 좌표계 PZ90에 대한 자료를 수집하였으며, GPS의 기준 시간계와의 차이를 고려하는 방법을 파악하고 좌표변환을 수행하여 GPS의 기준 좌표계와 좌표계를 통일하는 방법을 조사하였다. 또한 위치, 속도, 가속도로 주어지는 궤도력 정보를 이용하여 위성 좌표를 계산하는 과정을 조사하였으며, 측위 정확도 향상을 위한 측위 오차 요소를 보정하는 방법을 조사하였다. 통합측위를 위해 적용한 GLONASS에 대한 상세한 사항은 제 3장 제 1절에 기술하였다.

3. BDS ICD

이 연구개발에서는 BDS의 기준 시간계 BDST와 GPS의 기준 시간계와의 차이를 고려하여 시스템을 통합하는 방법을 조사하였으며, GPS와 달리 세 가지 유형의 궤도로 운용되는 BDS 위성의 좌표 계산 방법과 측위 오차 요소 보정 방법을 조사하였다. 통합 측위를 위한 적용한 BDS에 대한 사항은 제 3장 제 1절에 기술하였다.

제 2 절 다중경로오차 저감 기술

1. 그림자 맞춤 기법

이 연구개발에서는 다중경로 오차 저감 기술의 구현을 위한 사전조사로 골목길이나 빌딩숲과 같은 난수신환경에서 효과적으로 위치결정을 수행할 수 있는 국외 기술개발 사례를 조사하였다. 그 중에서 도심의 3차원 공간정보를 추가적으로 이용하여 위치를 보다 정확하게 결정하는 그림자 맞춤 기법에 대한 정보를 수집하였으며 이에 대한 자세한 내용은 제 2장 제 1절에 기술하였다.

2. 가중치 모델

이 연구개발에서는 다중경로 오차 저감 기술의 구현을 위하여 국내외에서 개발된 기

존의 가중치 모델들을 조사하고 그 성능 분석 내용을 파악하였다. 조사한 가중치 모델로는 고도각 모델, 지수함수 모델, 시그마 모델, 고도각-SNR 모델, HK 모델 등이 있으며 각각의 모델식과 성능에 대한 상세한 내용은 제 3장 제 2절에 기술하였다.

제 3 절 위치보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정 기술

1. 보정정보 예측기술

DGNSS 기법에서 사용자의 위치정확도는 PRC 보정정보의 사용유무에 따라 크게 달라진다. 그래서 많은 연구자들은 위치보정정보를 수신할 수 없는 음영지역에서도 향상된 위치정확도를 유지할 수 있게 다양한 방법을 이용하여 PRC를 예측하는 연구를 수행하였다. PRC를 예측하는 대표적인 방법으로는 신경회로망(neural networks)과 칼만필터(Kalman filter)가 있다.

가. 신경회로망(neural networks)

신경회로망 방법은 이전의 관측자료를 기반으로 반복학습하여 시스템에 대한 최적화된 모델링을 획득하고 미래 데이터를 예측하는 것이다. Autoregressive moving average (ARMA) 방식과 Recurrent neural network (RNN) 방식이 대표적이다. ARMA 방식을 이용하여 PRC를 예측한 사례에서는 실제값과의 차이가 1.0m 미만으로 나타났고(Jwo et al., 2004; Indriyatmoko et al., 2008), RNN 방식을 이용한 사례에서는 0.5m 내외의 오차를 보였다 (Mosavi, 2006; Geng, 2007). 하지만 오차 범위는 미래예측 시간크기에 따라 차이를 보였다.

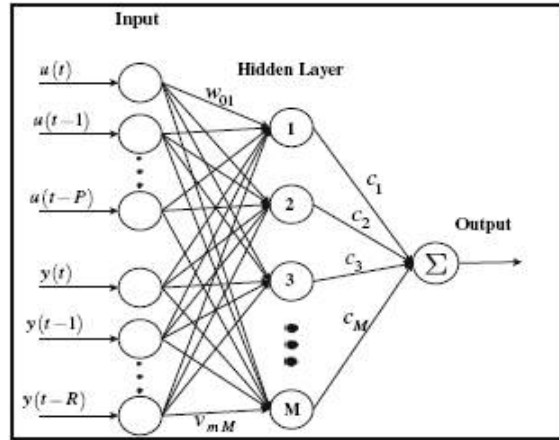


Fig. 2 A three-layer ARMA-neural network topology for DGPS correction

그림 95. ARMA 방식(Indriyatmoko, 2008)

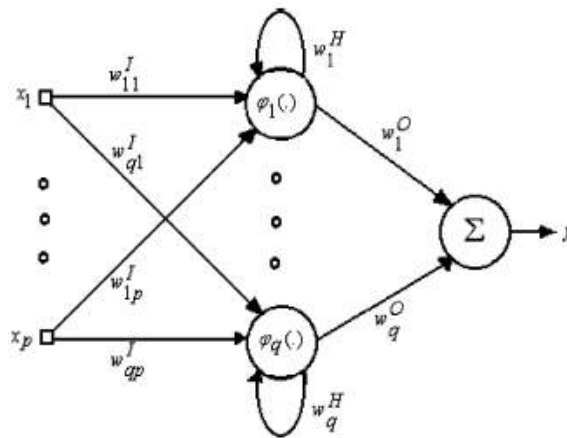


Fig. 2 RNN architecture

그림 96. RNN 방식(Mosavi, 2006)

나. 칼만필터 (Kalman Filter)

칼만필터는 대상 시스템을 모델링하여 측정값과 추정값을 기반으로 최적의 시스템 상태를 추정하고 미래값을 예측하는 방법이다. Mosavi (2006)는 Kalman filter 방법을 이용하여 100초 후까지 예측하는 여러 실험을 수행한 결과, PRC 예측 정확도가 0.5m 수준으로 나타남을 보였다.

Fig. 6 KF architecture

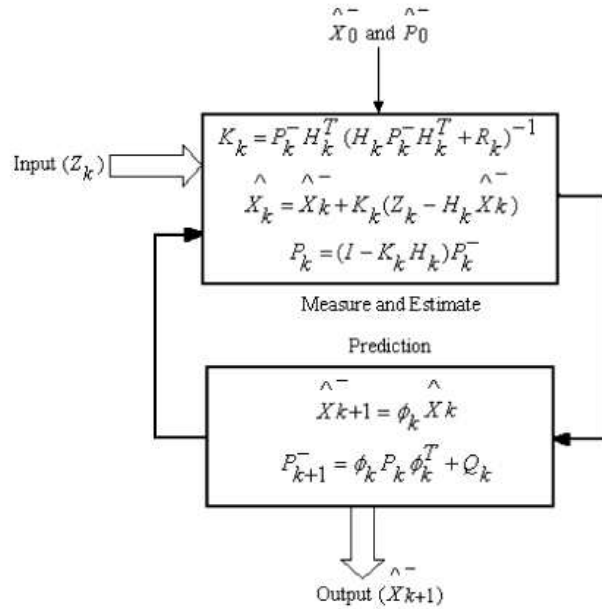


그림 97. Kalman Filter 방식(Mosavi, 2006)

PRC를 예측하는 상기 방법들은 실제값과 예측값의 차이가 1.0m 미만인 높은 정확도를 보이지만 PRC 정보를 수신할 수 없는 상황이 길어질수록 오차가 점점 크게 발생하는 한계점이 있다. 또한 PRC를 예측하기 위해서는 직전 관측값이 필요하고, 자료를 처리할 수 있는 다소 복잡한 시스템이 사용자 장비 내에 구축되어 있어야 한다.

2. RTCM 국제표준

이 연구개발을 통해 구축한 위치보정정보 수신 음영지역에서의 위치보정을 위한 매개변수 생성 서버 구축을 위해서는 기준국으로부터 실시간으로 DGNSS 보정정보를 수집하고 일정기간 수집된 보정정보를 이용하여 매개변수를 생성해야 한다. 이때 수신되는 DGNSS 보정정보는 국제표준 RTCM SC-104 메시지 포맷이며 이 과정에서 RTCM 버전별 내용과 각 메시지에 포함되어 있는 세부내용들을 파악 및 분석하였다. RTCM 국제표준에 대한 상세한 사항은 제 2장 제 1절에 기술하였다.

제 7 장 연구개발과제의 대표적 연구실적

이 연구개발과제를 수행하면서 총 연구기간 중 발표된 특허, 논문 등의 대표적 연구실적은 다음과 같다. 작성지침에 따라 대표 연구실적 5건 이내로 작성하였다.

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국가	Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/ 인용횟수 등)
1	특허 출원	GNSS 수신기 및 이의 가중치 부여에 따른 위치 정보 산출 방법	(주)지평스 페이스	-	대한민국	-	2015.07.09	단독사사	-
2	특허 출원	DGNSS 측위 방법 및 이를 이용하는 GNSS 수신기	(주)지평스 페이스	-	대한민국	-	2016.02.05	단독사사	-
3	특허 출원	위성항법 보정시스템의 위치정확도 향상을 위한 보정정보 제공 장치 및 그 방법	(주)지평스 페이스	-	대한민국	-	2016.03.15	단독사사	-
4	논문	Correction of Coordinate Discontinuities Caused by GPS Antenna Replacements	(주)지평스 페이스	참여 저자	Journal of Positioning, Navigation, and Timing	-	2015.06	단독사사	-
5	논문	DGNSS 위치정확도 향상을 위한 PRC 보정정보 모델링에 관한 연구	(주)지평스 페이스	제1 저자	한국지형공 간정보학회 지	-	2015.12	단독사사	-

제 8 장 참고문헌

- Agnew, D. C. and Larson, K. M., 2007, Finding the repeat times of the GPS constellation, *GPS Solutions*, Vol. 11, No. 1, pp. 74-76.
- Bazlov, Y., Galazin, V., Kaplan, B., Maksimov, V. and Roguzin, V., 1999, GLONASS to GPS: A new coordinate transformation, *GPS world*, pp. 54-58.
- China Satellite Navigation Office, 2013, BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space Interface Control Document - Open Service Signal.
- Choi Byung-Kyu, Cho Chang-Hyun and Lee Sang Jeong, 2014, Combined GPS/BeiDou positioning performance in South Korea, *Journal of Positioning, Navigation, and Timing*, Vol. 3, No. 4, pp. 149-154.
- Choi, K., Bilich, A., Larson, K. M. and Axelrad, P., 2004, Modified sidereal filtering: Implications for high-rate GPS positioning, *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, No. 22, L22608.
- CSNO, China Satellite Navigation Office, 2013, BeiDou navigation satellite system signal in space interface control document, Open service signal, Version 2.0.
- Dou, J., 2015, Performance of GPS and partially deployed BeiDou for real-time kinematic positioning in Western Canada, Master's Thesis, University of Calgary.
- Elosegui, P., Davis, J. L., Jaldehag, R. T. K., Johansson, J. M., Niell, A. E., and Shapiro, I. I., 1995, Geodesy using the Global Positioning System: The Effects of Signal Scattering on Estimates of Site Position, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 100, No. B7, pp. 9921-9934.
- Geng, Y., 2007, Online DGPS Correction Prediction using Recurrent Neural Networks with Unscented Kalman filter, *IGNSS Symposium 2007*, Australia.
- Groves, P. D., 2011, Shadow Matching: A New GNSS Positioning Technique for Urban Canyons, *The Journal of Navigation*, Vol. 64, pp. 417-430.
- Groves, P. D., Wang, L., and Ziebart, M. K., 2012a, Shadow Matching: Improved GNSS Accuracy in Urban Canyons, *GPS World*, February 2012, pp. 14-29.
- Groves, P. D., Jiang, Z., Wang, L., and Ziebart, M. K., 2012b, Intelligent Urban Positioning using Multi-Constellation GNSS with 3D Mapping and MLOS Signal Detection, 25th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, Nashville, TN, September 2012.
- Habrich, H., 1999, Geodetic applications of the global navigation satellite system(GLONASS) and of GLONASS/GPS combinations, Doctoral Thesis,

University of Berne.

- Hartinger, H., and Brunner, F., 1999, Variances of GPS Phase Observations : The Sigma- ε Model, GPS Solutions, Vol. 2, pp. 35-43.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Wasle, E., 2008, GNSS-Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more, SpringerWienNewyork.
- Indriyatmoko, A., Kang, T., Lee, Y. J., Jee, G.-I., Cho, Y. B. and Kim, J., 2008, Artificial neural networks for predicting DGPS carrier phase and pseudorange correction, GPS Solution, Vol. 12, pp. 237-247.
- Ineichen, D., Rothacher, M., Springer, T. and Beutler, G., 2000, Computation of precise GLONASS orbits for IGEX-98, Proc. of IAGS 2000, International Association of Geodesy Symposia, Vol. 121, pp. 26-31.
- JPL, 2016, The Global Differential GPS System, <http://www.gdgps.net/index.html>
- Jwo, D.-J., Lee, T.-S. and Tseng Y.-W., 2004, ARMA Neural Networks for Predicting DGPS Pseudorange Correction, Journal of Navigation, Vol. 57, pp. 275-286.
- Kaplan, E. D., 1996, Understanding GPS Principles and Applications, Boston, pp. 323-344.
- Klobuchar, J. A., 1987, Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users, IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System, Vol. 3, pp. 325-331.
- Leica, 2005, Leica Geosystems networked reference stations, White paper.
- Li, J., and Wu, M., 2009, The Improvement of Positioning Accuracy with Weighted Least Square Based on SNR, Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCom '09. 5th International Conference, September 2009, pp. 1-4.
- Misra, P., and Enge, P., 2011, Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance, Revised Second Edition, Ganga-Jamuna Press.
- Mosavi, M. R., 2006, Comparing DGPS corrections prediction using neural network, fuzzy neural network, and Kalman filter, GPS Solution, Vol. 10, pp. 97-107.
- Parkinson, B. W., and Spilker, J. J., 1996, Global Positioning System : Theory and Applications, Vol. I and II, Washington D.C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.
- Phelts, R. E., 2001, Multicorrelator Techniques for Robust Mitigation of Threats to GPS Signal Quality, Ph.D. Thesis, Stanford University.
- Russian Institute of Space Device Engineering, 2008, GLONASS Interface Control

Document (Version 5.1).

- Schwieger, V., Lilje, M., and Sarib, R., 2009, GNSS CORS - Reference Frames and Services, International Federation of Surveyors.
- Suh, Y.-C. and Shibasaki, R., 2007, Evaluation of Satellite-Based Navigation Services in Complex Urban Environments Using a Three-Dimensional GIS, IEICE Transactions on Communications, Vol. E90-B, No. 7, pp. 1816-1825.
- Tay, S. and Marais, J., 2013, Weighting Models for GPS Pseudorange Observations for Land Transportation in Urban Canyons, 6th European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing, December 2013, Munich, Germany, p. 4.
- van Dierendonck, A. J., and Braasch, Michael S., 1997, Evaluation of GNSS Receiver Correlation Processing Techniques for Multipath and Noise Mitigation, Proceedings of the 1997 National Technical Meeting of the Institute of Navigation, Santa Monica, CA, USA, January 1997, pp. 207-215.
- Wang, L., Groves, P. D., and Ziebart, M. K., 2012a, Multi-Constellation GNSS Performance Evaluation for Urban Canyons Using Large Virtual Reality City Models, The Journal of Navigation, Vol. 65, pp. 459-476.
- Wang, L., Groves, P. D., and Ziebart, M. K., 2012b, GNSS Shadow Matching: Improving Urban Positioning Accuracy Using a 3D City Model with Optimized Visibility Prediction Scoring, 25th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, September 2012, Nashville, TN, USA.
- Wang, L., Groves, P. D., and Ziebart, M. K., 2013, Urban Positioning on a Smartphone: Real-time Shadow Matching Using GNSS and 3D City Models, Institute of Navigation GNSS+ 2013, September 2013, Nashville, TN, USA.
- Wang, L., 2014, Kinematic GNSS Shadow Matching Using a Particle Filter, Institute of Navigation GNSS+ 2014, September 2014, USA.
- Wieser, A., and Brunner, F., 2000, An Extended Weight Model for GPS Phase Observation, Earth Planet Space, Vol. 52, pp. 777-782.
- Xu, G., 2007, GPS: Theory, Algorithms and Applications, 2nd edn. Springer, Berlin.
- Zhao, Chunmei, Ou, Jikun and Yuan, Yunbin, 2005, Positioning accuracy and reliability of GALILEO, integrated GPS-GALILEO system based on single positioning model, Chinese Science Bulletin, Vol. 50, Issue. 12, pp. 1252-1260.
- 국토지리정보원, 2016, VRS (Virtual Reference Station) 서비스,
<http://gnss.ngii.go.kr/vrs/VrsUserView.do>
- 김군택, 김혜인, 박관동, 2011, 국토해양부 NDGPS 정확도 향상을 위한 의사거리 보정치

- 의 이상점 및 노이즈 제거기법 개발, 한국지형공간정보학회지, Vol. 19, No. 2, pp. 63-73.
- 김혜인, 2015, GNSS 신호강도 기반 가중치 모델 개발을 통한 난수신환경에서의 실시간 측위 정확도 향상, 박사학위논문, 인하대학교.
- 박운용, 이인수, 이기부, 2002, RTK GPS/GLONASS 결합에 의한 차량의 이동궤적의 정확도 평가, 측량 및 지형공간정보공학, Vol. 22, No. 2D, pp. 271-279.
- 박찬식, 송하표, 2004, GPS와 GLONASS를 동시에 이용하는 정밀 측위 및 오차해석, 한국항공우주학회, Vol. 32, No. 5, pp. 74-83.
- 서기열, 김영기, 장원석, 박상현, 2014, DGNSS RSIM을 위한 GPS/Galileo 의사거리 보정 기법, 한국항해항만학회지, Vol. 38 No. 4, pp. 373-378.
- 서용철, 이양원, 2007, 통합 GNSS 환경에서 도시공간 위성측위의 가용성 평가 시뮬레이션, 한국측량학회지, Vol. 25, No. 3, pp. 231-238.
- 손동효, 박관동, 2015, DGNSS 위치정확도 향상을 위한 PRC 보정정보 모델링에 관한 연구, 한국지형공간정보학회지, Vol. 23, No. 4, pp. 43-49.
- 신미영, 장한진, 서상현, 박찬식, 황동환, 이상정, 2007, GPS 수신기의 다중경로 오차 제거를 위한 가중 상관기의 성능평가, 한국항해항만학회지, Vol. 31, No. 5, pp. 409-414.
- 유경호, 강태삼, 정상경, 이은성, 정성균, 신천식, 이상욱, 이영재, 2007, 도심에서의 3차원 GIS 기반 위성항법시스템 가시성 분석, 한국항공우주학회지, Vol. 35, No. 12, pp. 1095-1100.
- 이동락, 이흥규, 배경호, 2005, GPS/Galileo 결합 시스템의 측위 성능 분석, 한국측량학회지, Vol. 23, No. 3, pp. 283-292.
- 이인수, 이용희, 문두열, 2002, GPS/GLONASS의 반송파 위상을 이용한 차량항법, 한국항해항만학회지, Vol. 26, No. 3, pp. 303-310.
- 이창문, 박관동, 김혜인, 박재민, 2009, 초신속궤도력 기반 GPS 위성 Repeat Time 산출 및 궤도 예측, 한국측량학회지, Vol. 27, No. 4, pp. 411-420.
- 이호석, 2012, GPS/GLONASS 측위 정확도 및 위성 가시성 효과 분석, 석사학위논문, 인하대학교.
- 최형철, 박관동, 김혜인, 김군택, 2013a, 위성항법 보정시스템의 보정정보 처리 장치 및 그 방법-서버단, 등록특허 10-1344426.
- 최형철, 박관동, 김혜인, 김군택, 2013b, 위성항법 보정시스템의 보정정보 처리 장치 및 그 방법-사용자단, 등록특허 10-1419339.
- 태현우, 박관동, 김미소, 2015, 저가형 수신기를 이용한 GPS/GLONASS/BDS 통합 측위 정확도 분석, 한국지형공간정보학회, Vol. 23, No. 4, pp. 49-55.