

국가 위성항법사업 추진 방안 연구

(Study on National Satellite Navigation Project Promotion
Planning)

연구기관 : 건국대학교

2017. 11. 24.

과 학 기 술 정 보 통 신 부

안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의
개인적 견해이며 미래창조과학부의 공식견해가
아님을 알려드립니다.

과학기술정보통신부 장관 유 영 민

제 출 문

과 학 기 술 정 보 통 신 부 장 관 귀하

본 보고서를 “ 국가 위성항법사업 추진 방안 연구 ”의 최종보고서로 제출합니다.

2017. 11. 24.

요 약 문 (SUMMARY)

1. 국외 위성항법 시스템 개발 현황

- 전역 위성항법시스템(GNSS, Global Navigation Satellite System)과 지역위성항법시스템 (RNSS, Regional Navigation Satellite System)으로 구분
- 미국, 러시아는 전역 위성항법시스템을 개발 완료하였으며, 유럽, 중국이 전역 위성항법시스템, 인도와 일본이 지역위성항법시스템을 개발 중

<전 세계 위성항법 시스템 현황('17년 9월 현재)>

시스템	전역 위성항법 시스템				지역 위성항법 시스템	
	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou	IRNSS	QZSS
국가	미국	러시아	유럽	중국	인도	일본
위성 수 (정상/설계)	28/24	23/24	15/30	14/35	7/7	1/7
개발 기간	착수	`73	`76	`99	`93	`06
	첫 위성	`78	`82	`11	`07	`13
	완료	`95	`96	`20 예정	`20 예정	`16(발사 완료) `23 예정

* 정상적으로 신호를 송신하는 위성만 포함

2. 국내 위성항법 시스템 개발 및 관련 사업 현황

<국내 위성항법 관련 사업 현황>

사업명	주요 내용
KASS (Korea Augmentation Satellite System)	- 한반도 지역에 위성항법 보정정보 제공 - '22년 항공용 서비스 (SoL, Safty of Life) 제공 예정
국방위성항법특화연구 센터	- 미래 항법전(Navigation Warfare)에 대비한 차세대 무기체계 운용 및 관련 기술 개발을 위한 국방 위성항법시스템 기반기술을 확보
위성항법기반 교통인프라 기술 개발 사업	- 미래육상교통시스템의 안전성과 효율성을 증대시키기 위해 위성항법시스템의 활용에 있어서 위치정확도와 신뢰도를 향상시킬 수 있는 교통인프라 기술 개발
NDGPS (Nationwide-DGPS)	- 항만 입출항로 및 협수로 향해 선박의 안전운항을 위해 GPS의 위치오차를 30m에서 1m로 보정하여 실시간 제공

3. 위성항법 시스템 활용 현황

- 현재 위성항법은 가장 넓은 영역에서 위치 정보와 시각 정보를 상대적으로 저렴한 가격에 제공해 줄 수 있는 수단임
- 위성항법 정보를 기본적인 위치 정보로 사용하는 다양한 응용분야가 존재

<위치 정보 활용 분야>

구분	위치 정보의 이용	비고
자율 주행차	- 차량 유도를 위한 기본 정보로 이용	- 차량 센서와 통합
교통량 정보	- 카드 택시 7만 여대의 GPS 정보를 활용하여 교통 정보 생성	
버스 도착 시간 안내	- 버스 위치 정보 제공으로 정류장 도착 예정 시간 안내	
택시 호출	- 사용자, 차량 위치 파악을 통한 서비스	- 우버, 카카오 택시 등
위험물 운반 차량 관리	- 위험물 운반 차량의 경로 감시 - 위험 지역 진입 감시	
철도 차량 감시	- 철도 차량의 위치 및 이동 상태 감시	
드론	- 경로점 비행 등을 위해 사용	
ADS-B	- 항공기 상호간 위치 파악/관제	
항공기 이착륙	- 기존 대비 항공 물동량 증가 - 소형 공항 및 지형이 불량한 공항에서 계기 이착륙 가능	- 국내에도 SBAS 개발을 통해 항공 분야 활용을 추진 중
선박 조난 대응	- 해난 사고 선박, 조난자 위치 추적	
선박 AIS	- 선박 간 위치 공유로 충돌 사고 방지	
쓰나미 감지	- 쓰나미 조기 감지 및 경보 발생	- 기초 연구 수행
항만	- 컨테이너 관리 - 젠트리 크레인 제어	- 기초 연구 수행
측량 서비스	- 토목 공사, 건축을 위한 측지 정보 이용 - GIS정보 DB 개발	
지도 제작 로드뷰 제작	- 지도 제작을 위한 기준 정보로 사용 - 항공 사진의 좌표 보정	- 위성항법 외의 측정 정보와 통합하여 이용
지각 모니터링	- 지각 변동에 의한 지각 판 이동 감지	
정밀 토목 공사	- 토지 고저 측량 (도로 공사 시)	
교량 감시	- 교량의 처짐 실시간 감시	- 서해 대교 등
고층 건물 감시	- 지진, 강풍 등에 의한 건물 변이 실시간 감시	- 제2롯데월드 등 초고층 빌딩 변형 감시
위치 기반 게임	- 증강 현실 게임 등에서 위치 정보 이용	- 포켓몬고 등
위치 기반 광고	- 위치 정보를 이용한 광고 노출 - 위치 정보를 이용한 쿠폰 사용	- 각종 쿠폰 서비스
위치 연동 SNS	- 위치 정보를 기반으로 한 SNS 서비스	- 게시물 등에 현재 위치 정보 등을 포함
레저	- 자전거, 스키 등의 이동경로 기록	

<요 약 문>

<시각 정보 활용 분야>

구분	시각 정보의 이용	비고
이동통신망	- 기준국 시각 동기 이용	- 백업 시스템으로 NTP 서버를 이용하여 단기간 대응은 가능 - 장애가 지속될 경우 서비스 품질 저하 예상
금융망	- 금융, 증권 등의 거래 시 - OTP 등의 인증 절차	- 백업 시스템으로 NTP 서버를 이용하여 단기간 대응은 가능 - 장애가 지속될 경우 장애 발생 예상
DMB망	- 인접 방송국간 시분할을 위한 시각 동기 이용	- GPS를 이용한 직접 동기가 필요하므로 장애 발생 시 방송 품질 저하 예상
전력망	- 차세대 SCADA - PMU 시각 동기 활용	- 백업 시스템으로 NTP 서버를 이용하여 단기간 대응은 가능 - 장애가 지속될 경우 성능 저하 발생 예상
교통 신호 연동	- 교통 신호 연동을 위한 시각 정보로 이용	- 교통 신호 연동 불가로 교통 불편 증가

4. 위성항법 시스템과 PNT 시스템

- 국가 PNT 시스템 개요

- PNT 시스템은 다양한 분야의 사용자들에게 위치 및 시각 정보를 제공하기 위한 시스템
- 구조화된 PNT 시스템의 부재는 △PNT 시스템 운용상의 위험 PNT 관련 리소스의 비효율적인 전개 △비조작화된(uncoordinated) PNT 관련 기술 개발 및 연구 개발 경로 △PNT 관련 리소스의 비효율적인 전개 등의 문제를 발생시킬 수 있음
- 우리나라는 국가 PNT 시스템 구축 관련 연구가 산발적으로 수행되어 왔으며, 변화하는 PNT 정보 수준에 대해 개별 사용자 수준에서의 대응하고 있음

- 국가 PNT 시스템의 미래상

- PNT 소스의 다양화/단일·공통 솔루션 제공 및 국가적 관리

<국가 PNT 시스템의 미래상>

As Is	Should Be
· 외국 위성항법 체계의 보장없는 사용을 전제로 운영 · 항공, 해양 항법시설, 이동통신망 부가서비스 등 응용분야별 운영 · PNT 소스의 단순 결합과 이를 보완하기 위해 개별 사용자에게 특화된 보정시스템으로 구성 · PNT 정보의 필요성은 꾸준한 증가가 예상됨	· 국가 정보인프라로서 국가가 서비스제공의 책임과 관리감독 · PNT 소스의 다양화 · 다양한 소스에서 제공된 PNT 정보의 통합을 통한 단일·공통 솔루션 제공 · 기존 PNT 체계 및 정보통신 인프라와의 PNT 결합을 통한 시너지 효과 획득 · 부처 간 협력을 통한 PNT 시스템 구축

<요 약 문>

- 위성항법 시스템 기반의 국가 PNT 시스템 구축
 - 국가 PNT 시스템의 주요 요구사항을 폭넓게 만족시키는 위성항법 시스템을 중심으로 구축 (GCD 전략)
 - 주요 요구 사항 : △서비스 영역에 Integrity/Reliability를 만족하는 위치/시각 정보 제공 △기상, 시간, 동적 상태에 영향을 받지 않으며 수동적 사용자여야 함 △주파수 할당에서 자유로우며 동맹국과 상호 운용이 가능
 - 국가 PNT 시스템의 성능 및 역량 향상을 위해 안정적인 위성항법 시스템 운영과 위성항법 시스템의 성능 향상이 필수적임
- 국가 PNT 시스템의 발전 방향
 - 이동통신망, WiFi, Bluetooth, 센서 기반 방식 등 비 위성항법 PNT 방식의 비중이 점점 증가하고 있음. 특히 실내에서의 PNT 정보 제공의 필요성이 점점 높아짐에 따라 비 위성항법 PNT의 중요성은 점점 높아지고 있음
 - 향후 10년 이내에 측위 성능이 향상된 5G가 서비스 될 예정이며, IoT, 센서 기반 위치 결정 기술의 향상에 따라 다양한 상황에서 PNT 정보 제공이 가능한 통합된 솔루션이 개발될 것으로 예상하고 있음
 - 그러나 위성항법의 넓은 서비스 영역과 저렴한 단말기 비용, 타 인프라의 운용을 위해 시각 동기 기능을 제공하는 등 국가 PNT 시스템을 위한 핵심적인 역할을 수행하고 있어 가까운 미래에 위성항법 시스템을 대체할 시스템의 등장은 어려울 것으로 예상하고 있음

5. 국가 위성항법 시스템 개발 필요성



5.1. 안정적 국가망 운영을 통한 국민 안전 보장

- 국가 위성항법 시스템은 안정적인 국가망 운영을 위한 PNT 정보 제공을 위해 필수
- 위성항법 기반의 PNT 정보에 대한 주요 인프라의 의존성은 급격히 증가
- GPS 등 타국의 위성항법 장애 발생 상황에서 국가의 혼란과 경제적 손실을 방지하기 위해서는 안정적이고 신뢰할 수 있는 국가에서 PNT 정보의 제공이 필요
- 위성항법 보유국과의 이해관계 충돌 시 자국 이익을 관철을 위한 협상 카드로 악용

<위성항법 시스템 장애에 따른 예상 피해>

분야	예상 피해
교통 (Transportation)	- 항공, 철도, 물류 등, 정해진 시간에 정해진 경로로 이동하는 교통수단에 큰 피해 발생. 위험물 이동·관리 불가
통신 (Communications)	- 시각동기를 요구하는 통신망 사용 불가 - 응급구난 분야의 신속 대응 불가 - 공공재화(전기, 수도 등) 및 다양한 서비스(소액결제 등)에 대한 이용요금의 과금/집금 서비스 불가
뱅킹 (Banking)	- 주식, 인터넷 뱅킹 등이 불가. 거래 기록과 보안·인증 곤란
전력망 (Power Grids)	- 효율적 전력분배/관리 곤란. 안전하고 경제적 전력공급 불가

5.2. 4차 산업혁명 시대 PNT 기반 부가가치 극대화

- 4차 산업혁명은 인공지능 기술과 데이터 활용기술로 대표되는 지능 정보 기술을 바탕으로 기계가 진입하지 못했던 분야에서 생산성을 향상 시키고 산업 구조의 대대적 변화를 촉발하는 혁명적 변화임
- 지능정보 기술은 범용기술로 사회 전반에 혁신을 유발하고 광범위한 사회 경제적 파급력을 가짐
- 4차 산업혁명 이행을 위해서는 PNT 정보의 고도화가 필요
 - 지능정보 서비스를 위한 ‘4대 데이터 (검색, 위치, 구매, SNS 정보)’ 중 위치 정보는 사람/사물의 생각과 행동을 판단하기 위한 핵심 정보임
 - PNT 정보는 무인이동체 기반의 미래형 교통·유통·도시 구현을 위한 핵심 정보임
 - 9대 국가전략 프로젝트(‘16.8)’로 자율주행차 선정하였으며, 국내외 주요 상용차 메이커는 ‘20~‘30년대 상용화를 계획
 - 자율주행차 항법을 위한 위성항법 성능 부족 인지 및 이를 위한 발전 계획 수립
- PNT 정보의 고도화를 위해 국가 위성항법 시스템은 필수적인 요소임
- 우리나라의 주도적인 PNT 정책 운용 (정확도, 서비스 조정 등)

5.3. 정책적 필요성

- 정부에서는 위성항법 인프라의 중요성을 인식하고 위성항법 인프라의 독립을 위한 국가 계획을 수립하였음
- 국가 위성항법 종합 발전 기본 계획 ('05~)
 - 세계 위성항법 기술 및 시장의 선도국가 도약
 - 위성항법 개발 기반 조성하고 및 산업 발전을 도모
- 우주개발 중장기 계획 ('13~)
 - 독자적 우주개발 능력 강화를 통한 국가 위상 제고 및 국가 경제발전에 기여
 - 정지궤도와 경사궤도 위성으로 구성된 독자적인 위성항법 시스템 구축을 계획

5.4. 주파수 확보 시급성

- 위성 주파수는 그 수가 한정되어 있어 국가 간 확보를 위한 경쟁이 치열
- 후발 주자의 주파수 확보를 위해서는 인접 위성들과의 상호 운용성이 확보되어야 함

6. 국가 위성항법 시스템 개발 전략

6.1. 개발 환경 분석

- 위성항법 시스템은 제한된 궤도주파수 자원을 활용하여 개발하기 때문에 우리나라 내부의 사정뿐 아니라 국제 환경에 영향을 받음
 - 강점 : 우주개발, SBAS 개발 경험, 잘 갖춰진 IT 인프라
 - 약점 : 높은 GPS 의존, 핵심기술/인력부재, 정부전담조직 부재, 좁은 서비스 영역
 - 기회 : 자율주행차/드론 등의 활성화
 - 위기 : 주변국의 GNSS/RNSS 개발, 재밍 공격, 주파수 자원 고갈

6.2. 개발 전략

- 공통 전략
 - 성공적 국가 위성항법 시스템 개발을 위해 효율적 대응조직/기술적 역량확보 필요

<국가 위성항법 시스템 공통 개발 전략>

전략	세부 계획
부처간 조율을 위한 범부처 위성항법 대응 조직 구성 및 역할 분담	- 다양한 부처의 의견을 수렴하고 일관된 사업 추진을 수행할 수 있는 범부처 조직이 필수 - 상시 조직을 신설하고 전문적인 인력을 상시 배치하여 안정적인 정책 추진과 장기적인 계획 수립을 전담 - 부처 특성별 업무 분담을 통해 효율적인 개발 추진
유관사업 추진/지속적 학계 지원으로 기술/인력 확보	- 핵심 기술 및 인력확보를 위한 장기 계획 추진 필요 - 지속적인 학계 지원을 통해 안정적인 인력 확보에 주력
서비스 다양화를 통한 사용자 그룹 확보로 개발 당위성 확보	- L 대역 확보를 통한 위성항법 단말/칩 공유 - 당위성 확보를 위해 충분한 사용자 그룹 확보 필요 - 후발 주자라는 한계 극복을 위해 기능적 차별화 필요

- 타국과 협력을 통한 공동 개발 전략

- 기 구축된 위성항법 보유국과의 협력을 통해 기술 및 주파수 등의 자원을 공유하고 위성항법 서비스 제공을 위한 인프라 (지상국 등을) 공유하는 전략
- 상대 위성항법 시스템과의 상호 운용성의 보장 아래 협력 개발을 추진하여 기 개발된 위성항법 시스템과의 호환성 확보로 주파수 조정 용이성 확보
- 위성항법 보유국과의 기술 협력으로 개발 기간 및 비용 단축 및 위험 감소
- 감시국, 상향국 등의 지상국과 위성 등을 공유하여 상호 시스템 서비스 확장 및 성능 향상

7. 국가 위성항법 시스템 주파수 확보 전략

7.1. ITU-R 전파규칙(Radio Regulation) 분석

- 국제전기통신연합(ITU, International Telecommunication Union) 산하 무선통신섹터(ITU-R)에서 무선 통신 및 방송에 대한 주파수 규약을 관장
- ITU 산하 세계전파통신회의 (WRC, World Radiocommunication Conference)에서는 전파규칙 (RR, Radio Regulation)을 제정 또는 개정
- 전파항법 서비스(RNSS, Radionavigation Satellite Service) 관련 주파수 대역은 WRC 2003, WRC 2007 및 WRC 2013을 거쳐 L 대역, S대역 및 C 대역에 대한 주파수 정의

7.2. 위성항법용 주파수 분배 동향

- WRC-2000 이전 : 미국의 GPS와 러시아의 GLONASS만 존재
 - 주파수는 L1 대역(1559~1610MHz)과 L2 대역(1215~1260MHz)이 분배
- WRC-2000 이후: GALILEO 개발에 따라 L5/E5 대역(1164~1215MHz), E6 대역(1260~1300MHz), C 대역(5010~5030MHz)이 추가 분배
- WRC-12에서 S 대역(2483.5~2500MHz)이 추가로 전 세계적으로 분배

7.3. 주파수 확보 전략

- 기술적인 협상만으로는 상대 국가의 동의를 받는 것이 매우 어려운 상황임
- 아래와 같은 접근 전략이 가능할 것으로 예상
 - 국가 위성항법 시스템 위성망/위성시스템 주파수 확보를 위한 정부, 산학연 전문가들로 작업반을 구성. 국제회의 참석, 주파수 신청, 등록절차 대응, 조정 과정 담당
 - 조정 절차에서 난항이 예상되는 기존의 위성항법 시스템의 주파수 등록 신청 조기 추진. 상기 작업반에서 등록 및 조정 절차 진행.
 - 기존 위성항법 시스템과 국가 위성항법 시스템 간 상호 운용성 검토를 위한 정례 회의를 제안/추진. 주파수 조정 과정에 대비한 상호 운용성 검증
 - ITU-R과 ICG 등 RNSS 기술 및 정책을 결정하는 국제회의에 한국 대표단을 구성하고 정기적으로 참석하여 국제적인 발언권 신장을 위한 지속적 노력 유지

7.4. 주파수 관련 주요 일정

- 위성항법용 주파수는 개발 일정에 맞추어 확보 필요



<주파수 확보 관련 주요 일정>

8. 국가 위성항법 시스템 개발 시나리오 도출

8.1. 국가 위성항법 시스템 주요 서비스(안)

- 국가 위성항법 시스템은 기본적인 위치 정보 제공을 포함하여 다양한 서비스를 제공할 계획임
 - 국가 위성항법 시스템의 위성은 기본적인 항법 탑재체와 별도로 항공항법용 보강 서비스 (SBAS) 제공을 위한 탑재체를 추가로 탑재하고 있음
 - 항법 탑재체에서는 L 대역과 S 대역에서 공개 서비스와 미터급, 서브미터급 보강 서비스, 실험용 서비스 그리고 공공 안전 서비스를 제공함
 - SBAS 탑재체는 ICAO 표준의 항공항법 보강 서비스를 제공함
 - 서브미터급 보강서비스의 경우 조기 서비스 제공을 위해 '18년에 발사될 예정인 정지궤도복합위성(GK-2A/B)의 후속 위성을 활용 가능

<국가 위성항법 시스템 제공 서비스 (안)>

구분	주파수 대역	서비스
항법 서비스	L 대역	- 공개 서비스 - 미터급 보강서비스 - 서브미터급 보강서비스 - 실험용 서비스
	S 대역	- 공개 서비스 - 공공 안전 서비스
SBAS 서비스	L1, L5	- SBAS SoL 서비스

8.2. 국가 위성항법 시스템 요구 성능 및 서비스 영역 도출

- 위성항법시스템 운용 요구사항 분석
 - 위성항법시스템 운용 요구사항은 일반요구사항과 특수요구사항으로 분류함
 - 미국은 일반요구사항으로 17개 항목을 제시하고 있으며, 특수요구사항으로 운용생존 요구사항과 항공요구사항을 제시
 - 위성항법시스템의 개발 요구 성능은 운용 요구사항의 기술적 구현에 요구되는 수준을 정의하는 과정이며, 상세히 공개되지 않음
- 국가 위성항법시스템 운용 요구사항
 - 기본적으로 GPS의 일반요구사항을 포함하고, 미국의 Vision 2025에서 언급했던 Greater Common Denominator 전략의 다양화, 상호교환성, PNT와 통신의 상승효과, 협력적 조직구조를 고려

<요 약 문>

- 운용개념 요구사항
 - PNT 서비스로는 기본 항법 서비스와 보강 서비스, 재난 대응 서비스 제공
 - 감시국은 우리나라뿐만 아니라 해외에 배치하는 것도 고려
- 운용범위 요구사항 분석 : 한반도와 한반도 주변으로 함
- 위치정확도 요구사항 : 위치정확도 15 m 이내
- 시각정확도 요구사항 : 시각정확도 40 ns 이내

<위성항법시스템의 운용요구 사항 요소 식별>

성능요소	정의
위치정확도(Position accuracy)	실제 위치와 추정된 위치의 일치성
속도정확도(Velocity accuracy)	실제 속도와 추정된 속도의 일치성
시각정확도(Timing accuracy)	세계표준시각과 추정된 시각의 일치성
무결성(Integrity)	시스템 불용상황에 대한 탐지/경고 적시성
가용도(Availability)	운용성능이 충족되는 정보제공이 가능한 시간비율
보안성(Security)	전파/정보 교란에 대한 대항 능력
연속성(Continuity)	시스템의 우발적 중단에 대한 대비 능력
수용성(Affordability)	제한된 운용예산 범위를 충족하는 능력
운용범위(Coverage)	운용성능이 충족되는 정보제공이 가능한 공간
지원도(Supportability)	시스템 운용에 요구되는 지원 규모 정도
생존성(Survivability)	적대적(자연재해 포함) 환경 下 회피/인내 능력
상호운용성(Inter-operability)	다양한 체계에 적용되는 정보형식화 능력

8.3. 위성항법시스템 개발 사례 연구

- 운용중이거나 개발 중인 위성항법 시스템의 GPS(미국), Galileo(EU), BeiDou(중국), IRNSS(인도) 개발 사례를 분석

<요 약 문>

<각 위성항법시스템 개발의 특징 요약>

	특징
QZSS	• ‘98년부터 지금까지 미국-일본 간 협력 관계가 지속됨 • SBAS인 MSAS 구축을 통해 독자 위성항법시스템 개발의 기반을 다짐 • QZSS는 GPS와 동일한 신호를 사용하는 GPS 보완 및 보강시스템임 • 미국 괌 및 하와이 지역 일본 QZSS 관제국 설치 • 전체적으로 GPS와 동일한 신호를 활용 • L1-SAIF와 LEX 등 독자적인 기술도 일부 시도하고 있음
Galileo	• 미국 GPS로 대표되는 전역 위성항법시스템에 대응하기 위하여 구축 • ‘20년까지 30기의 위성과 확장된 지상망을 전개하여 완전정상가동 (FOC, Full Operational Capability) 서비스를 실시할 예정임 • ‘17년 1월 보고에 의하면 일부 수조시계에서 이상이 발생하였으나, 각 위성은 4중화된 시계를 탑재하므로 운용에는 이상이 없음을 공지 • 최근 기초/응용 기술은 민간 개방형 수요기반으로 인프라 구축과 서비스 제공은 정부 주도로 추진하는 이원화 정책을 취함
BeiDou	• ‘07년부터 미국, 러시아와 주파수 협상을 시작하여 ‘15년에 완료 • EU와는 L5 대역에 대한 Compatibility 및 Interoperability에 대한 논의는 현재까지 진행 중 • 파키스탄과 브라질에 추적소(Tracking Station)를 설치하였으며 이외 다수의 국가들과도 추적소 설치를 위한 협의를 진행 중 • 캐나다, 말레이시아, 아르헨티나와는 신호감시에 대해서 협력하기로 결정 • 기술 확보를 위하여 Galileo 프로젝트에 탐색/구조, SLR, 지상국 관련 분야에 참여하였음 • Galileo 프로젝트 참여를 통하여 위성항법 시스템 구축과 관련된 노하우를 습득한 것으로 예상됨
IRNSS	• ‘99년 GPS vital information에 대한 인도의 요청을 미국이 거부함에 따라 ‘06년에 인도 정부가 IRNSS 구축 개발을 승인 • 미국과는 ‘07년 협력을 위한 공동성명을 발표 • ‘08년 SpectraTime사의 루비듐 원자시계 도입 • ‘10년 러시아와 고정밀 신호 공유 협정 • ‘13년 미국과 주파수 Compatibility 협상을 완료 • ‘13년 C대역에서 L5/S대역으로의 중계기를 탑재한 IRNSS-1A 발사

8.4. 국가 위성항법 시스템 개발 방안 연구

- 기술 개발 요소 도출 및 제약 조건 분석

- 위성군 및 궤도 설계 : 좁은 한반도 영역에 대하여 효율적으로 4개 이상의 가시 위성을 확보하기 위해서는 정지궤도의 활용이 불가피하며, 위성의 궤도가 인접국과의 마찰이 없도록 설계할 필요가 있음
- 좌표계 기준 확립 : 국가 위성항법 시스템은 지역 위성항법의 협력성으로 인하여 전

<요 약 문>

역 좌표계 수립에 난점이 예상되므로, ITRF(International Terrestrial Reference Frame)와의 명료한 관계 수립 필요

- 시간계 기준 확립 : 국가 위성항법 시스템 시간계는 협정세계시 (UTC, Universal Time Coordinated)와의 명료한 관계를 수립해야 하며, 위성과 감시국의 수가 상대적으로 적으므로 시간계 기준의 정확도에 제약 조건으로 작용할 수 있음
 - 원자시계 소형화 및 탑재 : 국내에서 원자시계 관련 연구 개발이 진행되고 있으나 지상 실험 모델 정도의 수준으로, 원자시계를 위성에 탑재하기 위해서는 소형화 및 경량화와 우주 환경에 대한 대비가 필요
 - 항법신호 설계 및 생성 모듈 개발 : 국내에서 위성항법 수신기 개발 기술은 축적되어 있으나 항법신호 생성 모듈의 개발 경험이 없어 국가 위성항법 시스템 개발 시에 제약 요건으로 작용할 수 있음
 - 위성간 거리 측정 기술 : 좁은 한반도 영역에서 지상감시국만을 활용하여 국가 위성항법 시스템의 시간계와 좌표계를 관리할 경우에는 정확도가 크게 제한될 수 있으므로 지상감시국을 해외에도 설치해야 할 뿐만 아니라 위성간 거리 측정 기술도 개발해야 함
 - 정밀궤도결정 기술 : 정밀궤도결정을 위해서는 인공위성 레이저 추적시스템이 널리 활용되고 있으며 국내에서는 저궤도 위성에 대한 레이저 추적시스템을 개발한 경험이 있으므로 항법위성의 정밀궤도결정을 위해 정지궤도 위성에 대한 레이저 추적시스템을 개발하고 실시간성에 대한 연구가 필수적임
 - 지상국 기술 : 국내에서는 위성 시계 오차, 궤도 오차, 전리층 지연, 대류권 지연과 관련하여 사용자 관점에서 연구는 많이 수행되어 왔으나 인프라의 개발과 운용 관점에서의 연구 개발이 상대적으로 부족하며, 특히 위성항법 임무제어국에 대한 기술이 부족하여 현재 진행되고 있는 한국형 SBAS 사업을 통하여 이러한 기술을 확보할 수 있는 방안 마련 필요
 - 지상 테스트베드 : Galileo 개발 시에 활용되었던 GATE(GALileo Test and development Environment) 시험 시설과 같이 항법 탑재체와 사용자 단말기의 설계 및 시험/평가에 필수적인 시설이며, 다수의 지상감시국, 위성항법 임무제어국, 시각제어국, 궤도결정국, 네트워크 제어국 등을 테스트할 수 있어야 함
- － 국가 위성항법 시스템 개발 모델
- 위성 : 국가 위성항법 시스템은 정지궤도와 경사궤도 위성으로 구성되며, 위성의 개수는 DOP와 비용 등을 고려하여 7기로 구성
 - 지상국 : 지상감시국, 궤도결정국, 시각제어국, 네트워크 제어국과 위성항법 임무제어국, 상향국과 위성관제국으로 구성



<국가 위성항법 시스템 구성>

- 주파수 : 국가 위성항법 시스템의 주파수는 ITU에서 위성항법용으로 분배한 주파수에 대하여 국제등록을 신청하고, 국가 간 조정·협상 결과로부터 결정해야함
- 좌표계 : 국가 위성항법 시스템은 독자적인 기준좌표계를 수립하되 국제 표준 좌표계인 ITRF로부터 허용 오차 이내가 되도록 관리
- 시간계 : 국가 위성항법 시스템은 독자적인 시간계를 수립하되 협정세계시(UTC)와 일정한 관계를 가지며 허용 오차 이내가 되도록 관리
- 위성 확보 방안
 - 위성체는 정지궤도 복합위성 플랫폼을 활용하며, SBAS 등의 탑재체와 최대한 함께 탑재하는 방안을 마련

8.5. 추가 고려 사항

- 주파수/신호체계 공유 vs 새로운 주파수 사용 및 자체 개발
- 개발 기간의 장기성과 문서화의 필요성
- 전문 교육 프로그램의 운영
- 협업 중요성
- 설계 도구 개발의 중요성
- 신기술에 대한 모니터링
- 위성항법 협력센터의 건립

9. 국가 위성항법 시스템 기술 개발 로드맵 수립

9.1. 핵심기술 도출

－ 우주 부문, 지상국 부문, 사용자 부문에 대한 핵심기술 도출

분류	핵심 기술	기술 설명
우주 부분	항법신호생성 기술	항법 신호(코드/데이터) 생성기 개발 기술
	위성 원자시계 기술	우주환경에서 동작하는 원자시계 개발 기술
	위성 시각동기 기술	지상국 시각과 위성 시각간의 동기화 기술
	항법 중계기 기술	항법 중계기 및 항법 안테나 개발 기술
지상국 부분	정밀궤도결정 기술	항법 위성의 궤도(위치)를 정밀하게 결정하는 기술
	전파지연예측 기술	전리층 및 대류권에 의한 위성신호의 지연을 예측하는 기술
	항법신호감시 기술	항법신호를 수신/감시하여 고장 유무를 식별하는 기술
	위성관제 기술	정지궤도 및 경사궤도 위성의 상태를 감시/분석하고 제어하기 위한 기술
	시스템 시각생성 및 지상국 동기 기술	위성항법 시스템의 기준 시각을 생성/관리하기 위한 기술
사용자 부분	다중항법 신호처리 기술	국가 위성항법 시스템의 신호와 더불어 GPS, Galileo, BeiDou 등의 다중 위성항법 신호를 처리하는 기술

9.2. 핵심기술별 국내기술수준 분석

- 우주 부문

분야	선진국 기술 수준	국내 기술 수준	TRL	선진국 대비수준
항법신호 생성기술	●기술개발 완료 및 서비스 중 ●Novatel사(캐)의 경우, GPS 및 갈릴레오 위성에 탑재되어 PRN 코드를 생성할 수 있는 우주급 신호생성장치를 개발·납품	●정부출연연구소 및 대학 등에서 S/W 기반 GPS L1 신호 생성 기술을 보유 ●위성에 탑재할 수 있는 항법 신호 생성기술은 미보유	실험단계 (TRL 3)	30%
위성 원자시계 기술	●미국, 유럽, 인도, 중국에서는 위성 탑재용 원자시계를 개발/운영	●표과연에서 지상에서 동작하는 원자시계 개발 중 ●우주급 원자시계는 개발 기술은 없음	실험단계 (TRL 3)	30%
위성 시각동기 기술	●단방향 시각비교 기술과 양방향 시각비교 기술을 개발/적용 ●정밀케도추정을 위해서 지상국 간 동기 및 SLR 기술을 활용	●지상국간 시각비교 기술 확보 ●시각오차 추정 기술은 소프트웨어 기반으로 연구	실험단계 (TRL 3)	30%
항법 중계기 기술	●기술개발 완료 및 서비스 중	●정지궤도용 Ku 및 Ka 대역 통신용 중계기는 천리안 위성 에 탑재해 발사하여 동작 중 ●항법중계기 및 안테나에 대한 기술 미보유	실험단계 (TRL 4)	40%

<요 약 문>

－ 지상국 부문

분야	선진국 기술 수준	국내 기술 수준	TRL	선진국 대비수준
정밀궤도결정 기술	•GPS 궤도결정 정밀도 －후처리(약 2주후): 2.5cm, －실시간예측: 5cm	•정밀궤도 전파 및 관측자료 처리기술은 선진국 수준 확보 •정밀궤도결정기술은 실험단계의 S/W와 기반기술 확보	시작품 단계 (TRL 5)	55%
전파지연예측 기술	•전 지구 전리층 전파지연 예측 모델 보정정보 서비스 •대류층 전파 지연 모델 개발 기술 확보	•우리나라 전리층 맵 모델 및 위험 모델 개발 •대류층 전파지연 모델 기술은 미확보 (준실시간 가(可) 강수량 산출 기술은 확보)	시작품 단계 (TRL 5)	50%
항법신호감시 기술	•URE 무결성 감시기술 · $\leq 10^{-5}$ 신뢰도 확보 •URE 이상요인 식별기술 · 위성기인 이상 식별기술 확보	•선박연에서 일부 URE 추정 기술 개발 (무결성 감시수준의 URE 추정 기술 미확보) •URE 이상요인 식별을 위한 다양한 기초원천 기술 개발	실험단계 (TRL 4)	40%
위성관제 기술	•저궤도 및 정지궤도 다중위성 관제기술 확보 및 상용화	•저궤도위성 및 정지궤도 위성단일 위성 관제기술 개발 •정지궤도 및 경사궤도 다중위성에 대한 관제기술개발 미보유	실용화 단계 (TRL 7)	70%
시스템 시각 생성 및 지상국 동기 기술	•미군해군천문대는 1차 주파수 표준(PFS, Primary Frequency Standard)급 원자시계 4기와 39 기의 수소메이저 및 세슘 원자시계를 운영하여 타임스케일을 생성 (UTC 기준 10 ns 이내)	•포파연은 광펄핑 세슘 원자시계와 분수형 세슘 원자시계 개발 •수소메이저 5기와 세슘 원자시계 5기로 시스템 시각 생성 (UTC 기준 30ns 이내)	시작품 단계 (TRL 5)	50%

－ 사용자 부문

분야	선진국 기술 수준	국내 기술 수준	TRL	선진국 대비수준
다중항법 신호처리 기술	•스위스 Ublox, 미국 Trimble 및 Garmin, 벨기에 Septentrio, 독일 IfEN, 캐나다 NovAtel 등은 다중항법신호 처리가 가능한 단말기 판매 중	•GPS, GLONASS, Galileo 및 BeiDou의 민간용 신호를 처리할 수 있는 기술 확보	시작품 단계 (TRL 6)	60%

9.3. 핵심기술 개발 시 위험요소 분석 및 확보방안 도출

구분	핵심기술명	위험요소	확보방안 도출
우주 부문	항법신호 생성 기술	● 기존 위성항법 시스템과의 상호운용성을 고려한 위성식별코드 생성 알고리즘 ● 주파수 효율성을 도모할 수 있는 데이터 프레임 생성기술	● 1단계(지상 테스트베드) 사업 및 항우연 주요사업 등을 통해 확보 ● 해외기관들과의 연구협력/공동연구 추진을 통해 확보 ● 주파수/신호에 대한 권리를 갖고 있는 국가와 협의체 구성을 통해 확보
	위성 원자시계 기술	● 위성탑재 원자시계 개발 경험 전무	● 우주핵심기술사업 등을 통해 확보
	위성 시각동기기술	● 우주용 RF 및 신호처리부 개발	● 우주급 원자시계 개발 경험이 있는 해외 기관/업체와 협력을 통해 확보
	항법 중계기 기술	● 우주급 항법신호생성기 기술 및 우주급 항법안테나 기술에 대한 국내기술력미비	● 1단계(지상 테스트베드) 사업 등을 통해 핵심 기술 확보 ● 해외기관들과의 연구협력/공동연구 추진을 통해 확보
지상국 부문	정밀궤도결정 기술	● 필요한 궤도예측 및 결정 정밀도 도출과 그에 따른 궤도와 관측 모델링	● 1단계(지상 테스트베드) 사업 등을 통해 핵심 기술 확보 ● 천문연에서 확보한 기술/시설과 국제 네트워크(IGS) 활용
	전파지연예측 기술	● 전파지연량 예측을 위한 최적함수 도출 ● 전파지연 오차보정을 위한 한반도 주변 해외 지상감시국 시설 개발	● 1단계(지상 테스트베드) 사업 등을 통해 핵심 기술 확보 ● SBAS 사업에서 일부 확보한 기술 활용 ● 전리층 지연 예측을 위한 주변국과의 협력을 통해 확보
	항법신호감시 기술	● 실용화를 목표로 실효성 있는 원시정보 취득 및 이를 위한 지상감시국 개발	● 1단계(지상 테스트베드) 사업 등을 통해 핵심 기술 확보 ● SBAS 사업에서 일부 확보한 기술 활용
	위성관제 기술	● 정지궤도 및 경사궤도 다중위성관제기술	● 정지궤도위성은 항우연에서 확보한 기술 활용 ● 경사궤도위성은 관련 기술이 있는 일본, 인도와의 협력을 통해 확보
	시스템 시각 생성 및 지상국 동기 기술	● 타임스케일 성능	● 우주핵심기술사업 등을 통해 확보 ● 1차 주파수 표준(PFS, Primary Frequency Standard)급 초고정밀 원자 시계와 다수의 수소메이저 및 세슘 원자시계를 조합하여 시스템시각 생성 기술 개발 ● 해외기관들과의 연구협력/공동연구 추진을 통해 확보
사용자 부문	다중항법 신호처리 기술	● 기존 전역/지역 위성항법 신호와 신규 추가되는 위성시스템 제공 신호에 특성이 미정의된 상태에서의 신호처리	● 국내연구기관 또는 산업체의 보유 기술 활용 ● 해외기관들과의 연구협력/공동연구 추진을 통해 확보

9.4. 개발 전략 및 핵심기술 확보 계획

－ 개발 전략

- 경제성, 기술개발 리스크 등을 고려하여 단계적으로 사업을 추진하고, 축적된 기술역량을 바탕으로 개발을 추진하되 국내 부족기술에 대해서는 국제협력을 추진
- 1단계, 2단계 사업을 통해 위성항법시스템 핵심기술(우주, 지상, 사용자 부문) 확보
- ‘28년 발사 예정인 정지궤도복합위성 후속 위성을 활용하여 서브미터급 보강 서비스 조기 제공으로 활용 분야 확대

<단계별 확보 기술>

구분	우주 (Space)	지상 (Ground)	사용자 (User)	TRL
1단계	•항법 신호 설계 기술 •S 대역 안테나 기술	•정밀궤도 결정 기술 •전파 지연 예측 기술	•S 대역 신호 처리 기술 •시험용 단말 기술	•TRL 5~7 수준 기술확보
2단계	•항법 탑재체 제작 기술 •경사궤도 제어 기술	•지상국 제작/운영 기술 •항법 신호 감시 기술	•다중 항법 신호 처리 기술 •다중 항법 단말 기술	•TRL8~9 수준 기술확보



<기술 개발 및 구축 전략>

<요 약 문>

－ 핵심기술별 목표 성능

분류	핵심 기술	목표 성능
우주 부분	항법신호 생성 기술	-코드위상 동기 : < 0.1 ns -혼신격리도 : <-70 dBc -설계수명 : 13 년 이상 -군지연(Group Delay) 안정도 기울기 : <110 ps/10°C
	위성 원자시계 기술	-주파수 정확도: $\leq 2 \times 10^{-10}$ -주파수 안정도: 4×10^{-12} (1 s), 4×10^{-13} (100 s), 4×10^{-14} : drift removed (10000 s)
	위성 시각동기 기술	-위성 간 시각동기 성능 < 10 ns
	항법 중계기 기술	-EIRP/CH : >30 dBW -무게 : <60 kg (TBC) -설계수명 : 13 년 이상 -안테나 축비/중량 : <1.5 dB / <15 kg -강성(Stiffness) : >100 Hz
지상국 부분	정밀궤도결정 기술	-후처리궤도오차 : < 1 m
	전파지연예측 기술	-총 전자수(TEC, Total Electron Content) 및 지연 오차 정보 산출 -실시간 서비스 구현 -해외관측소 개발 : 3 개소 이상
	항법신호감시 기술	-URE 무결성 감시 신뢰도 : < 10^{-5} -고장 유무 및 이상 식별 기능
	위성관제 기술	-정지궤도 다중위성 관제기술 -경사궤도 다중위성 관제기술
	시스템 시각생성 및 지상국 동기 기술	-주파수 안정도 : 3×10^{-13} (1 s), 3×10^{-14} (100 s), 9×10^{-16} (100000 s) -표과연 표준 시각(UTC KRISS)과 시각동기 : < 5 ns -지상국간 시각동기 성능 : < 10 ns
사용자 부분	다중항법 신호처리 기술	-항법신호 처리규모 : 3개 이상 -항법신호 획득/추적 신호세기 : -142 dBm / -152 dBm -TTFF : 6 초 이내

<요 약 문>

－ 핵심기술개발 로드맵

· 우주 부분

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
항법신호 생성 기술	기초 연구	지상기반 항법신호 생성기 기술 연구		위성탐재용 항법신호 생성기 기술 연구	위성탐재용 항법신호 생성기 EM 모델 개발	위성탐재용 항법신호 생성기 EQM 모델 개발			위성탐재용 항법신호 생성기 FM 모델 개발		조립/연동 검증
TRL 수준	3	4			5	6		7		9	
비고	1단계 사업 / 우주핵심(항우연)					2단계 사업					

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
위성 원자시계 기술	위성탐재용 원자시계 예비설계 및 실험실 모델 구현				위성탐재용 원자시계 EM 모델 개발	위성탐재용 원자시계 EQM 모델 개발		위성탐재용 원자시계 FM 모델 개발		조립/연동 검증	
	3	4			5	6		7		9	
TRL 수준 비고	1단계 사업 / 우주핵심(표과연)					2단계 사업					

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
위성 시각동기 기술											
	기초 연구		위성시계 오차추정 및 동기 기술 연구		시각동기 모듈 EM 모델 개발	시각동기 모듈 EQM 모델 개발		시각동기 모듈 FM 모델 개발		조립/연동 검증	
TRL 수준	3		4		5	6		7		9	
비고	1단계 사업 / 우주핵심(표과연)					2단계 사업					

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
항법 증계기 기술	기초연구		S대역 증계기 실험실 모델 구현		S대역 증계기 EM 모델 개발						
						L/S 대역 증계기 EQM 모델 개발		L/S 대역 증계기 FM 모델 개발		조립/연동 검증	
TRL 수준	3		4		5	5	6	7		9	
비고	1단계 사업 / 우주핵심(전통연)					2단계 사업					

<요 약 문>

· 지상 부분

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
정밀케도결정 기술											
	기초 연구	동역학/관측/필터링 모델 개발		정밀케도결정 모델 개발		정밀케도결정 검증 모델 개발			정밀케도결정 시스템 고도화		
TRL 수준	3	4		5		6		7		8	9
비고	1단계 사업					2단계 사업					

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
전파지연예측 기술						예측모델 구동체계 상세설계	예측모델 구동체계 개발		예측모델 구동체계 시험	예측모델 시험서비스	예측모델 서비스
	기초 연구			예측모델 구동체계 예비설계							
				관측정보 관리체계 수립		관측정보 관리체계 설계/개발		해외관측소 확보방안 수립	해외관측소 체계수립		실시간 관측정보 관리체계 설계/가동
TRL 수준	5		6			7		8		9	
비고	1단계 사업					2단계 사업					

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
항법신호감시 기술	항법신호 오차해석 기술 개발		항법신호 이상식별 기술 개발			항법신호감시 시스템 기본/상세설계		항법신호감시 시스템 개발 및 성능검증		항법신호감시 시스템 시험운영 및 검증	
TRL 수준	4	5		6		7		8		9	
비고	1단계 사업					2단계 사업					

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
위성관제 기술						경사케도 위성관제 시스템 기본/상세설계		경사케도 위성관제 시스템 개발		경사케도 위성관제 시스템 시험 및 종합화	
TRL 수준						7		8		9	
비고						2단계 사업					

<요 약 문>

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
시스템시각 생성 및 지상국 시각동기 기술	원자시계 오차 특성 분석 및 교안정도 클럭 생성 알고리즘 개발		시스템시각 생성 시스템 예비설계			시스템시각 생성 시스템 상세설계		시스템시각 생성 시스템 개발/시험/평가		시스템시각 생성 시스템 운영 및 성능 개선	
				지상국 시각동기 시스템 예비설계		지상국 시각동기 시스템 상세설계		지상국 시각동기 시스템 개발/시험/평가		지상국 시각동기 시스템 운영 및 성능 개선	
TRL 수준	5		6			7		8		9	
비고	1단계 사업					2단계 사업					

· 사용자 부분

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
다중항법 신호처리 기술	다중항법 신호처리 기초연구		국가 위성항법 시스템 신호처리 알고리즘 구현			다중항법 신호처리 알고리즘 구현 (국가 위성항법 시스템/GPS)		다중항법 신호처리 알고리즘 고도화 (국가 위성항법 시스템/GPS/Galileo)		다중항법 신호처리 알고리즘 상용화	
	TRL 수준		6			7		8		9	
비고	1단계 사업					2단계 사업					

9.5. 핵심기술별 개발비용 및 기간 산출

- 위성 발사 계획

- 1단계에서 지상 테스트베드를 구축하며 기술 개발 과정에서 활용
- 2단계에서 궤도 내 검증 (IOV, In-Orbit Validation) 일정에 따라 완전정상가동 (FOC, Full Operational Capability) 일정에 영향을 받게 됨. 개발 기간에 따라 개발 비용이 증가하고 경제성 등에 악영향을 미치기 때문에 기술 개발을 위해 요구되는 최소한의 기간을 감안하여 '28년 발사로 계획하였음
- 본 발사 계획은 추후 진행될 상세 기획 결과에 따라 변경 될 수 있음

단계	1단계(5년)					2단계(6년)						3단계(7년)						
연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35	'36
정지궤도						□				▼					◆	◆		◆
경사궤도											◆				◆		◆	◆
Event	지상 테스트베드 구축							CDR			IOV		CDR			IOC		FOC
기획연구			2단계 기획						3단계 기획									
주요일정	1단계 착수			2단계 예타	예산 반영	2단계 착수				3단계 예타	예산 반영	3단계 착수						

□ 정지궤도 위성 : 사업 추진 시 시험용으로 활용

◆ 항법위성 : 국가 위성항법 서비스 제공을 위한 위성

▼ 정지궤도복합위성 : '18년 발사 예정인 GK2A 후속으로 서브미터급 보강 서비스에 활용

<요 약 문>

－ 국가 위성항법 시스템 개발비용

단계	1단계(5년)					2단계(6년)						3단계(7년)							총계
연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35	'36	
지상 테스트베드	30	80	90	80	20														300
위성체						150	225	375	450	525	675	1,125	1,800	1,725	1,575	1,200	525	150	10,500
발사/보험								80	280	320	320	160	640	1,000	1,400	1,200	960	640	7,000
항법탑재체						80	100	120	150	210	280	420	680	570	440	350	100		3,500
지상국						50	150	250	300	250	200	200	200	150	100	50	50	50	2,000
소계	30	80	90	80	20	280	475	825	1,180	1,305	1,475	1,905	3,320	3,445	3,515	2,800	1,635	840	23,300

※ '28년 정지궤도복합위성 후속 위성을 대상으로 서브미터급 보강 서비스를 조기 제공할 경우 해당 위성의 탑재체 비용 180억 추가 소요되며, 수요 부처에서 지원 필요

10. 국가 위성항법사업 경제적 타당성 분석 결과

10.1. 경제성 분석 개요

- 분석방법: Galileo (EU) 경제성 분석 자료를 참고하여 시장수요접근법 하에 한국과학기술기획평가원(KISTEP) 분석기준 적용

<경제성 분석 기준>

구분	적용값	단위	비고
기준연도	'16	년	기획보고서 제출 전년도
부가가치율	61.5	%	'14 한국은행 산업연관표(연장), 여러 부문별 부가가치율 산술평균
R&D기여율	35.4	%	제 3차 과학기술기본계획('13.8)
R&D 사업화성공률	42.0	%	한국산업기술평가관리원(KEIT)의 성과활용현황조사분석보고서('14)에서 6T 중 ST 성공률
사업기여율	69.1	%	NTIS에서 위성항법 관련 키워드. 정부:민간 투자비율은 KISTEP의 민간투자활동보고서 비율
할인율	5.50	%	한국개발연구원('07)
환율	1,160.5	원	'16년 평균환율
편익기간	9	년	위성의 내용연수 고려 (완전정상가동 운영기간: '37년~'45년)
회임기간	—	년	시범운영기간 포함. 회임기간 없음

- 총 비용: 2조 7,450억 원(운영비 포함, 현재가치 1조 1,711억 원)
- 편익항목: LBS, 도로, 측량, 농업, 선박, 항공, 철도부문



<위성항법 관련 시장>

10.2. 경제성 분석 결과

－ 비용편익(B/C) 분석 결과 (모든 시나리오에 대해 B/C 비율 1 이상)

<비용 편익 분석 결과>

시나리오	비용의 현재가치	편익의 현재가치	B/C Ratio	NPV(순현재가치)
낙관적 시나리오	11,469	21,324	1.859	9,855
중립적 시나리오		17,770	1.549	6,301
보수적 시나리오		14,216	1.240	2,747

－ 경제적 파급효과 분석 결과

<경제적 파급 효과 분석 결과>

부문	평균 유발계수	유발효과
생산유발효과	0.791	1조 8,193억 원
부가가치유발효과	0.502	1조 1,546억 원
고용유발효과	8.0	18,400명

<제 목 차 례>

1. 국외 위성항법 시스템 개발 현황	1
1.1. 전역 위성항법 시스템 개발 현황	2
1.2. 지역 위성항법 시스템 개발 현황	12
1.3. 위성항법 보강시스템 개발 현황	15
2. 국내 위성항법 시스템 개발 및 관련 사업 현황	19
2.1. KASS (Korea Augmentation Satellite System)	19
2.2. 국방위성항법특화연구센터	20
2.3. 위성항법기반 교통인프라 기술 개발 사업	21
2.4. NDGPS (Nationwide-DGPS)	21
3. 위성항법 시스템 활용 현황	23
3.1. 위치 정보 활용 현황	23
3.2. 시각 정보 활용 현황	25
4. 위성항법 시스템과 PNT 시스템	29
4.1. 국가 PNT 시스템 개요	29
4.2. 국가 PNT 시스템의 미래상	30
4.3. 위성항법 시스템 중심의 PNT 시스템 구축	32
4.4. 국가 PNT 시스템의 발전 방향	33
5. 국가 위성항법 시스템 개발 필요성	37
5.1. 안정적 국가망 운영을 통한 국민 안전 보장	38
5.2. 4차 산업혁명 시대 PNT 기반 부가가치 극대화	41
5.3. 정책적 필요성	45
5.4. 주파수 확보 시급성	47
6. 국가 위성항법 시스템 개발 전략	49
6.1. 개발 환경 분석	49
6.2. 개발 전략	50
7. 국가 위성항법 시스템 주파수 확보 전략	55
7.1. ITU-R 전파규칙(Radio Regulation) 분석	56
7.2. 위성항법용 주파수 분배 동향	57
7.3. 주파수 확보 전략	58
7.4. 주파수 확보 관련 주요 일정	61
8. 국가 위성항법 시스템 구축 시나리오 도출	63
8.1. 국가 위성항법 시스템 구성/주요 서비스(안)	63
8.2. 국가 위성항법 시스템 요구 성능 및 서비스 영역 도출	64
8.3. 위성항법시스템 개발 사례 연구	70
8.4. 국가 위성항법 시스템 개발 방안 연구	106
8.5. 추가 고려 사항	113
9. 국가 위성항법 시스템 기술 개발 로드맵 수립	115
9.1. 핵심기술 도출	115
9.2. 핵심기술별 국내기술수준 분석	126
9.3. 핵심기술 개발 시 위험요소 분석 및 확보방안 도출	146
9.4. 핵심기술별 목표 성능 및 개발 전략	157
9.5. 핵심기술별 개발비용 및 기간 산출	162

10. 국가 위성항법사업 경제적 타당성 분석 결과	165
10.1. 경제적 타당성 분석	165
10.2. 경제적 파급효과	187

부록 A. 무선 측위 기반 위치 추적 기술 현황

부록 B. 국가 PNT 아키텍처 실행 계획 (미국)

부록 C. 국가 위성항법 토론회

부록 D. 차세대 이동통신 연계 방안 자문회의

부록 E. 주요 부처별 위성항법 관련 현황

부록 F. 무인이동체 기술 개발 및 산업 성장 전략

<표 차례>

표 1 전 세계 위성항법 시스템 현황	1
표 2 GPS 지상부문 구성	3
표 3 지상국 기능	5
표 4 BeiDou-1의 기능 및 성능	10
표 5 지상국의 각 요소별 주요 역할	11
표 6 위성항법기반 교통인프라 기술 활용	21
표 7 NDGPS 사업을 통한 활용 현황	22
표 8 육상 교통 분야의 위치 정보 활용	23
표 9 항공 교통 분야의 위치 정보 활용	23
표 10 해양 분야의 위치 정보 활용 예	24
표 11 측지·측량 분야의 위치 정보 활용 예	24
표 12 구조물 안전 활용 분야	25
표 13 위치 기반 서비스 활용 분야	25
표 14 시각 정보 기술 및 성능	26
표 15 시각 동기 필요 분야 및 분야별 요구 성능/방식	27
표 16 위성항법 장애 시 피해 예상 분야	28
표 17 PNT 정보의 활용 분야	29
표 18 국가 PNT 시스템의 미래상	31
표 19 대표적인 측위인프라 구축·운영비 및 매출액 합계	34
표 20 부처별 국가 위성항법 시스템 활용	38
표 21 위성항법 시스템 장애 사례	39
표 22 위성항법 시스템 장애에 따른 예상 피해	39
표 23 주요 인프라 종속 관련 사례	40
표 24 4차 산업혁명 핵심 요소 기술과 PNT 정보 활용 예	42
표 25 부처 간 통합 대응 체제 구성 예	50
표 26 위성항법 관련 전담 대응 조직의 업무 (안)	51
표 27 부처별 담당 업무 (안)	52
표 28 인력 양성 방안	53
표 29 위성기반 전파항법 서비스(RNSS) 신호특성 및 보호기준 관련 ITU-R 권고	56
표 30 위성항법용 주파수와 사용 국가	58
표 31 위성항법 관련 국제기구·학회	60
표 32 국가 위성항법 시스템 제공 서비스 (안)	63
표 33 위성항법시스템의 운용요구 사항 요소 식별	65
표 34 각 위성항법시스템 개발의 특징 요약	70
표 35 군사적 측면에서 우주사업의 필요성	77
표 36 외교적 측면에서 우주사업의 필요성	78
표 37 경제적 측면에서 우주사업의 필요성	81
표 38 일본 정부와 미국 정부 간 협의	82
표 39 Galileo 구축 배경 및 현황 요약	85
표 40 HR2020내 우주 분야 중 Galileo 관련 Work Packages	86
표 41 HR2020-GALILEO-GSA-2014/2015	87
표 42 HR2020 프로젝트 형태에 따른 편당률	88

표 43 '14년을 기점으로 한 유럽의 위성항법 분야 연구개발 펀딩 주체 변화	89
표 44 일반 보조금(Grant)과 조달(Procurement) 프로그램의 차이	90
표 45 BeiDou-I 구축 과정	95
표 46 BeiDou II 구축 과정	95
표 47 BeiDou III 구축 과정	96
표 48 BeiDou의 호환성 및 상호운용성 협력 사례	99
표 49 중국의 EU 갈릴레오 프로젝트 참여 과정	100
표 50 중국이 참여한 갈릴레오 관련 연구 프로젝트	100
표 51 IRNSS 구축 경위	102
표 52 IRNSS의 호환성 및 상호운용성 협력 사례	105
표 53 민간 우주 프로그램 지출액	105
표 54 기술 개발 요소	106
표 55 국내위성 프로그램 및 관제시스템 현황	140
표 56 국내위성 관제국 현황	141
표 57 단계별 확보 기술	158
표 58 부가가치율 산정	168
표 59 기술분야별(6T) 사업화 성공률	168
표 60 편익 산정 기준 정리	169
표 61 연차별 사업비 내역	170
표 62 국내 LBS 산업 미래시장 규모 전망	173
표 63 위성항법 기여도 반영 국내 LBS 산업 미래시장 규모 전망	174
표 64 LBS 산업 부문 편익	174
표 65 위성항법 기여도 반영 국내 공간정보 산업 미래시장 규모 전망	175
표 66 공간정보 산업 부문 편익	175
표 67 LBS 부문 편익	175
표 68 자율주행의 정의	176
표 69 '37~'45년 자율주행 자동차 미래시장 규모 전망	177
표 70 위성항법 기여도 반영 국내 자율주행차 미래시장 규모 전망	178
표 71 자율 주행차 부문 편익	178
표 72 국내 ITS 산업 미래시장 규모 전망	178
표 73 위성항법 기여도 반영 국내 ITS 산업 미래시장 규모 전망	179
표 74 ITS 산업 부문 편익	179
표 75 도로 부문 편익	179
표 76 국내 측량 미래시장 규모 전망	179
표 77 위성항법 기여도 반영 국내 측량 미래시장 규모 전망	179
표 78 측량 부문 편익	180
표 79 국내 지능형 농작업기 미래시장 규모 전망	180
표 80 위성항법 기여도 반영 국내 지능형 농작업기 미래시장 규모 전망	180
표 81 농업 부문 편익	180
표 82 국내 선박IT 산업 미래시장 규모 전망	181
표 83 위성항법 기여도 반영 국내 선박IT 산업 미래시장 규모 전망	181
표 84 선박 부문 편익	181
표 85 국내 레저항공 산업 미래시장 규모 전망	182

표 86 위성항법 기여도 반영 국내 레저항공 산업 미래시장 규모 전망	182
표 87 레저항공 산업 부문 편익	182
표 88 국내 드론 산업 미래시장 규모 전망	182
표 89 위성항법 기여도 반영 국내 드론 산업 미래시장 규모 전망	183
표 90 드론 산업 부문 편익	183
표 91 항공 부문 편익	183
표 92 국내 철도 산업 미래시장 규모 전망	183
표 93 위성항법 기여도 반영 국내 철도 산업 미래시장 규모 전망	184
표 94 철도 부문 편익	184
표 95 편익항목별 편익과 현재가치	184
표 96 사업의 비용편익 분석 결과	185
표 97 비용 및 편익의 현재가치(중립적)	186
표 98 산업연관표상 국가 위성항법사업 관련 산업 분류	189
표 99 생산유발계수	190
표 100 부가가치유발계수	190
표 101 고용유발계수	191
표 102 파급효과 분석 결과	191

<그림 차례>

그림 1 GNSS와 RNSS 개념도	1
그림 2 GPS 위성군	2
그림 3 GPS 현대화 계획	4
그림 4 GPS 위성의 종류 및 특징	4
그림 5 GLONASS 위성군	6
그림 6 GLONASS 위성부문의 현대화 계획	7
그림 7 GLONASS 현대화 계획을 위한 로켓발사 계획	7
그림 8 Galileo 시스템 구성	8
그림 9 Galileo 위성 운용 현황 및 목표	9
그림 10 Galileo 핵심 인프라 및 서비스 인프라	9
그림 11 Galileo 위성 서비스	10
그림 12 QZSS 서비스 구성	12
그림 13 QZSS 위성 발사 및 서비스 계획	13
그림 14 QZSS 개발 계획	13
그림 15 IRNSS 위성 배치 및 서비스 영역	14
그림 16 미국 WAAS 시스템 구성도	15
그림 17 WAAS 현대화 계획	16
그림 18 유럽 EGNOS 시스템 구성도	18
그림 19 KASS 시스템 아키텍처	19
그림 20 KASS 개발 로드맵	20
그림 21 국방위성항법특화연구센터 추진 체계	20
그림 22 국가 PNT 시스템의 미래상	31
그림 23 통합된 PNT와 단순 기술 발전에 의한 PNT 역량 증가 비교	32
그림 24 위성항법 시스템 중심의 국가 PNT 시스템 구성	34
그림 25 위성항법 / 차세대 이동통신 연계 개념	35
그림 26 지능정보 기술과 타 산업기술의 융합 예	41
그림 27 위성항법 시스템 구축 계획	46
그림 28 항법 주파수 대역의 등록 건수 증가	47
그림 29 위성항법 시스템 개발 현황과 항법 관련 위성 주파수 등록 현황	48
그림 30 내·외적 요인 분석	49
그림 31 국가 위성항법 시스템 개발 추진 체계	51
그림 32 위성항법 관련 국내 인력 수요 예측	52
그림 33 국가 위성항법 시스템 궤도주파수 확보 전략	55
그림 34 위성항법용 주파수 할당	57
그림 35 위성항법용 주파수 대역별 업무	58
그림 36 최근 4년간 RES 609 자문회의 결과	59
그림 37 주파수 확보 관련 주요 일정	61
그림 38 국가 위성항법 시스템의 운용개념도	67
그림 39 IGEB의 조직과 기능	72
그림 40 QZSS 사업을 위한 일본의 민관 협력도	74
그림 41 QZSS 구축 계획	74
그림 42 QZSS 운용 계획	75

그림 43 ‘Next Steps for Japan-U.S. Cooperation in Space’ 보고서 내 M-code의 QZSS 탑재 가능성 관련 부분	78
그림 44 아시아-오세아니아 지역에서의 QZSS 고도각	79
그림 45 협동 실험(Joint Experiment) 요청 건수	79
그림 46 다중 위성항법 시스템 감시 네트워크	80
그림 47 일본 정부와 미국 정부 간 협의 요약	83
그림 48 HR2020과 기존 Galileo/EGNOS 프로그램의 펀딩률 변화	89
그림 49 HR2020 위성항법 분야 프로젝트 형태에 따른 제반 사항	91
그림 50 차세대 Galileo 추진체계 변환(EGEP -> G2G)	92
그림 51 위성 개발 관련 중국 정부의 의사결정 체계	97
그림 52 인도 국가 우주개발 조직도	103
그림 53 ISRO 조직도	104
그림 54 국가 위성항법 시스템 구성	109
그림 55 국가 위성항법 시스템 서비스 종류에 따른 구성	110
그림 56 우주개발 중장기 계획	112
그림 57 항법 탑재체 구성	117
그림 58 항법위성 탑재체 구성도(예시)	117
그림 59 Helix Type 안테나 제작 예	118
그림 60 위성관제기술 구성	123
그림 61 GPS 위성 안테나(좌)와 갈릴레오 위성 안테나(우)	132
그림 62 위성항법 가강수량 분포도 예시	136
그림 63 강수예측검증 - ‘14.08.25.	137
그림 64 이동형 대기관측시스템 - MAOS	137
그림 65 전국망 위성항법보정시스템과 개발기술 탑재 운영 모습	139
그림 66 천리안 위성 관제시스템 하드웨어 구성	142
그림 67 천리안위성 TTC 안테나, RF/MODEM/BB 장비, C&M 컴퓨터	143
그림 68 기술 개발 및 구축 전략	158
그림 69 GNSS market by application	172
그림 70 ‘14~’19 세계 LBS시장 규모 전망	173
그림 71 자율주행 자동차 판매 전망	177
그림 72 산업연관표 기본 구조	188
그림 73 산업연관표 실제 구조	188

<여 백>

1. 국외 위성항법 시스템 개발 현황

위성항법 시스템은 전 지구적으로 위성항법 서비스를 제공하기 위한 전역 위성항법 시스템 (GNSS, Global Navigation System)과 특정 지역을 대상으로 위성항법 서비스를 제공하는 지역 위성항법 시스템 (RNSS, Regional Navigation Satellite System)으로 구분된다. 아래 그림은 전역 위성항법 시스템과 지역 위성항법 시스템의 차이를 나타낸 것이며, 아래 표는 전 세계 위성항법 시스템 개발 현황을 나타낸 것이다.



그림 1 GNSS와 RNSS 개념도

표 1 전 세계 위성항법 시스템 현황
(‘17년 9월 현재, 정상 위성만 포함)

시스템		전역 위성항법 시스템				지역 위성항법 시스템	
		GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou	IRNSS	QZSS
국가		미국	러시아	유럽	중국	인도	일본
위성 수 (정상/설계)		28/24	23/24	15/30	14/35	7/7	1/7
개발 기간	착수	’73	’76	’99	’93	’06	’02
	첫 위성	’78	’82	’11	’07	’13	’10
	완료	’95	’96	’20 예정	’20 예정	’16(발사 완료)	’23 예정

1.1. 전역 위성항법 시스템 개발 현황

전역 위성항법시스템은 중궤도(2만km 내외)를 선회하는 20~30기의 위성으로 구성되며 미국의 GPS, EU의 Galileo, 러시아의 GLONASS, 중국의 BeiDou 등이 있다.

1.1.1. GPS (미국)

1.1.1.1. 시스템 개요

GPS (Global Positioning System)는 미국 국방성(DoD, Department of Defence)이 투자하고 관리하는 전역 위성항법 시스템으로 초기부터 군용으로 설계된 시스템이다. GPS는 우주부분 (Space Segment), 제어 부분 (Control Segment), 사용자 부분 (User Segment)로 구성된다.

1.1.1.2. 개발 현황

○ 우주 부분

GPS 초기의 위성군은 아래 그림과 같이 24개의 위성군으로 구성되어 있다.(위성 운용 상황에 따라 위성 수는 변경) GPS 위성은 지구상의 이용범위와 위성 수명을 고려하여 약 20,000km의 고도에서 12시간의 공전 주기를 갖도록 설계되었다. 궤도면은 적도면과 55° 의 기울기를 이루고 있으며, 궤도면당 4개의 위성이 배치된다.



그림 2 GPS 위성군
(GPS.gov, '16)

○ 제어 부문

제어 부문은 1개의 주관제소(Master Control Station), 15개의 관측소(Monitor Station), 그리고 4개의 상향 링크 안테나로 구성되어 있다. GPS 지상 부분의 구성 및 역할은 다음 표와 같다.

표 2 GPS 지상부분 구성

Master Control Station	- o Colorado Springs에 위치 - o 원격모니터링과 송수신 사이트 관리에 대한 총괄 - o 모니터 기지국으로부터의 정보를 받아 각각의 위성위치와 시각 오차를 계산 - o 적절한 명령을 위성에 송신 - o 항법 메시지 생산 및 업로드
Monitor Stations	- o 각각의 모니터 기지국은 고도, 위치, 속도, 그리고 위성의 이상 유무를 점검 - o 동시에 11개의 위성을 추적할 수 있음
Ground Antennas	- o 지상 안테나는 위성을 지평선에서 지평선에 걸쳐 모니터하고 추적함 - o 보정정보를 각각의 위성에 송신함

○ 사용자 부문

사용자 부문은 실제로 위성항법 서비스를 이용하는 사용자이다. 사용자는 수신한 GPS 위성 신호를 이용하여 의사거리와 위성의 위치를 구하고, 이어서 자신(수신기)의 위치를 구한다. 기본적인 수신기의 기능을 다음의 세 부분으로 나눌 수 있다.

- 안테나 부분 : GPS 신호를 수신한다.
- RF 부분 : 반송파에 실린 코드 정보를 알아낸다.
- 디지털 부분 : 코드 정보와 항법 메시지를 처리한다.

수신기는 위의 각 부분을 거쳐 위성으로부터 위성신호가 수신기에 전달되는 시간을 계산함으로써 의사거리를 측정한다. 3차원 위치와 시간의 해를 구하기 위해 4개의 위성으로부터 의사거리 정보가 필요하다.

1.1.1.3. 발전 방향

미국은 위성항법 시스템의 성능 향상을 위해 GPS 현대화 계획을 추진하고 있다. GPS 현대화는 크게 GPS 위성 신호설계를 포함한 위성부문의 현대화, 지상부문의 현대화로 나눌 수 있으며, 추진일정은 아래 그림과 같다.



그림 3 GPS 현대화 계획
(GPS Update to PNT Advisory Board, '17)

○ 우주 부문의 현대화

위성부문의 현대화를 위해 Block IIR(M), Block IIF, GPS III 위성을 운영 중이거나 운영 예정에 있다. Block IIR(M) 위성부터 L2C 신호 및 M 코드 신호를 제공하며, Block IIF 위성은 L5 신호를, GPS III 위성에서는 L1C 신호를 제공한다. 확장된 민간주파수를 이용하여 4m RMS 이내의 서비스를 제공 예정이다. 아래 그림은 GPS 위성의 현황 및 각 위성별 성능 차이를 나타낸 것이다.



그림 4 GPS 위성의 종류 및 특징
(GPS.gov, '16)

○ 지상 부문의 현대화

지상 부문의 현대화를 위해 1개의 주 관제소, 15개의 관측소, 4개의 상향 링크 안테나, 8개의 예비 주 관제소에 새로운 운용 관제 장비를 개발할 예정이다. AEP(Architecture Evolution Plan)는 MCS(Master Control Station)의 역할을 할 수 있으며 MCS의 대체 역할로 사용될 수 있다. AEP 이후 사용될 OCX 시스템은 GPS의 현대화 계획에 맞추어 현대화된 명령 및 제어 시스템, 현대 민간 신호 관측, 계량된 PNT, 강력한 사이버 보안 기반 시설역할을 한다. 현재 OCX 시스템은 개발 중에 있다.¹⁾

표 3 지상국 기능

시스템		기능
AEP		Distributed Architecture Increased Signal Monitoring Coverage Security, Accuracy Launch and Disposal Operations
OCX	Block0	GPS III Launch & Checkout
	Block1	Fly Constellation & GPS III Begin New Signal Control Upgraded Information Assurance
	Block2	Control all signals, Capability On-Ramps GPS III Evolution, III-12, '99년

1.1.2. GLONASS (러시아)

1.1.2.1. 시스템 개요

GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System)는 러시아의 위성항법시스템으로 '70년대 중반부터 개발에 착수 되었다. '82.10월 12일 첫 발사를 시작으로 '88년 국제민간 항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)의 FANS(Future Air Navigation Service) 회의에서 국제사회에 공식 발표되었다. '93년 초기정상가동 (IOC, Initial Operational Capability)을 선언하였고, '95년에 21개의 위성과 3개의 예비 위성군을 완성하였다. 그러나 후속 발사의 지연과 관리 부실로 '03.1월 경제난으로 인해 정상적인 유지 보수가 진행되지 않아 9개의 위성군으로 감소되어 정상적인 서비스가 한때 불가능하였다. '02년 이후 수명이 연장된 GLONASS-M, GLONASS-K 위성의 운용 및 지속적인 위성 개수를 확장하고 있다.²⁾

1.1.2.2. 개발 현황

GLONASS 위성군은 24개로 구성되며, 각각 120°의 간격을 두고 3개의 평면에 8개씩 규칙적으로 배열되어 있다. 이러한 위성 배열을 통해 지구상 어디에서나 99% 이상의

1) GPS.gov, '16\

2) Ivan Revnivkykh, '16

확률로 5개 위성을 관측할 수 있다. GLONASS는 GPS에 비해 상대적으로 고도가 낮아 위성 수명이 짧고, GPS와는 달리 주파수 분할 방식을 이용하기 때문에 위성별 주파수가 상이하다는 특징이 있다.



그림 5 GLONASS 위성군
(GLONASS: Status and Development, Mirgorodskaya, '16)

1.1.2.3. 발전 방향

‘99년 GLONASS-M을 통하여 개방과 개선을 위해 새로운 차원의 국제협력을 도모할 것을 결정하였다. 이를 위해 ‘98년도 말에 GLONASS 시스템 보강을 위해 이미 3개의 위성을 발사하였으며, GLONASS의 운영을 민간에 이양하고, GLONASS 기반의 국제 민간협력을 제의하였다. GLONASS-M Block-II 위성의 첫 번째 발사는 ‘03.12월에 시행하였다.

GLONASS의 성능향상 및 24개의 위성 운용에 대한 목표를 ‘02년부터 ‘11년까지 계획하여 추진하였으며, ‘12.3월에 ‘20년을 목표로 정부협력차원의 성능 개선 및 GLONASS 유지 및 개발 계획을 수립하였다. 이에 따른 위성 부문의 현대화 개발은 아래 그림과 같다.



그림 6 GLONASS 위성부분의 현대화 계획
(Ekaterina Oleynik, '11)

‘11년 이후 기존의 GLONASS-M의 수명인 7년에서 10년으로 확장된 GLONASS-K1 및 GLONASS-K2의 운용을 추진 중에 있으며, 이에 따른 ‘14년부터 ‘20년까지의 로켓 발사 계획은 아래 그림과 같다.

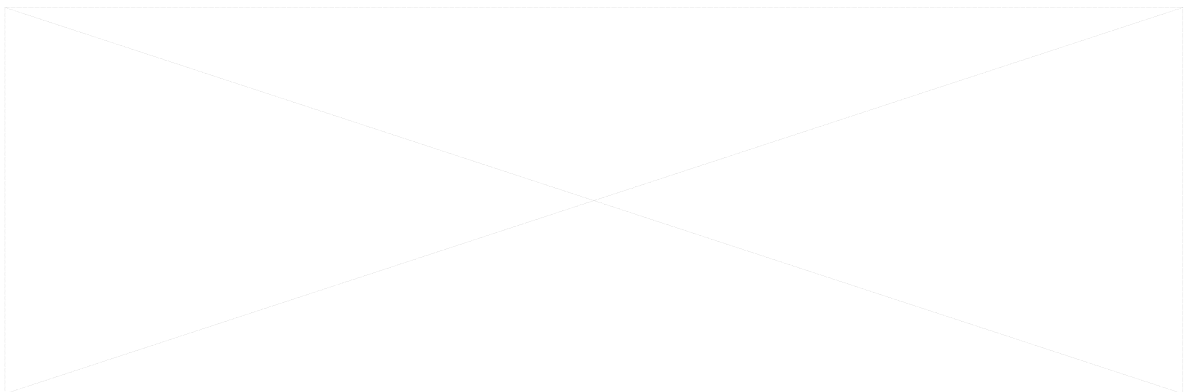


그림 7 GLONASS 현대화 계획을 위한 로켓발사 계획
(RussianSpaceWeb.com)

차기 GLONASS-K 위성은 기존 위성에 비해 아래와 같은 성능이 개선된다.

- 3 번째 주파수를 추가 (항법 정확도/신뢰도 향상)
- 위성 수명을 10년으로 연장
- 위성 질량을 750 kg으로 축소
- SAR (Search And Rescue) 기능을 추가

1.1.3. GALILEO (EU)

1.1.3.1. 시스템 개요

Galileo 시스템은 EU에서 개발 중인 전역 위성항법 시스템으로, 다음 그림과 같이 구성된다.



그림 8 Galileo 시스템 구성
(ec.europa.eu)

Global component는 3개의 MEO(medium earth orbit) 위에 30기의 항법 위성으로 구성되는 Space segment와 항법 위성들을 모니터링하고 서비스를 제공하는 Ground control 및 Mission segment를 포함한다. Local components는 정확도, 가용성, 연속성, 무결성 등에 대하여 부가적인 성능이나 기능을 더하여 지역적인 서비스를 제공하기 위하여 필요한 구성요소이다.

1.1.3.2. 개발 현황

Galileo 시스템을 구성하는 30기의 항법 위성은 27기의 운영 위성과 3기의 예비 위성으로 이루어져 있고, 위성들은 평균 장반경이 29601.297km인 3개의 원형 중궤도에 위치하며, 궤도면은 적도면을 기준으로 56도 기울어져 있다. Galileo의 민간용 OS(Open Service)신호는 GPS L1C와 유사하게 설계되었고, GPS를 군에서 운영하는 것과 달리 Galileo는 민간에서 운영한다.

Galileo는 ‘20년까지 30기의 위성 동작을 목표로 하고 있으며, GPS와 GLONASS와의 통합항법을 통하여 기존 위성항법 시스템의 성능 개선을 목표로 하고 있다. 다음 그림은 Galileo 위성의 운용현황 및 목표를 도시한 그림이다.



그림 9 Galileo 위성 운용 현황 및 목표
(Pieter De Smet, '16)

1.1.3.3. 발전 방향

Galileo의 서비스는 민간 사용자들을 위해 무료로 서비스를 제공하며, 상용 서비스를 통해 향상된 서비스 제공에 목적을 가지고 있다. GSA(European GNSS Agency)는 Galileo 개발의 중추 역할을 맡고 있으며, 핵심 인프라와 서비스 인프라, Galileo 위성 서비스 계획은 다음 그림과 같다.



그림 10 Galileo 핵심 인프라 및 서비스 인프라
(ESSA, '16)



그림 11 Galileo 위성 서비스
(ESSA, '16)

Galileo가 제공하는 서비스는 OS(Open Service), CS(Commercial Service), PRS(Public Regulated Service), SAR(support to search and rescue service)와 같이 4가지로 분류된다. SoL(Safety Of Life) 서비스의 경우 '12년에 중단을 선언하였다.

1.1.4. BeiDou (중국)

1.1.4.1. 시스템 개요

BeiDou 시스템은 중국에서 자체적으로 개발하여 운영하는 전역 위성 항법 시스템이다. BeiDou 시스템 개발은 총 3단계로 계획되어 있다.³⁾ 첫 번째 단계인 BeiDou-1은 초기 버전으로 3개의 정지궤도위성으로 구성되어 있다.⁴⁾ BeiDou-1은 '00년 이후 중국을 중심으로 인접지역에 있는 국가에 대해 서비스를 제공했다. BeiDou-1의 주요 기능과 성능은 다음 표와 같다.

표 4 BeiDou-1의 기능 및 성능

Main Functions	-Positioning -one-way and two-way timing -short message communications
Service Area	-China and the surrounding areas
Position Accuracy	-better than 20m
Time Accuracy	-one-way 100ns, two-way 20ns
Short message Communications	-120 Chinese characters per message

3) 1단계 : '94년~'00년, 2단계 : '04년~'12년, 3단계 : '13년~'20년

4) CSNO, '13, Jun Shen, '16

이후의 개발단계인 BeiDou-2는 35개의 위성으로 구성된 전역 위성항법시스템이며 현재까지도 개발을 진행하고 있다. '12년 10월 이후로 10개의 위성이 운용 중이며, '12년 내로 아시아 태평양 지역의 범위의 서비스, '20년까지 30개의 위성을 운용하는 중국내 전역 서비스를 목표로 한다. 또한, '12.12월 BeiDou 항법 시스템의 Open Service Signal B1I에 대한 ICD를 공개하였다.

1.1.4.2. 개발 현황

BeiDou 시스템은 위성군과 지상국으로 나눌 수 있다. 위성군은 5개의 GEO 위성, 27개의 MEO 위성 그리고 3개의 IGSO 위성으로 구성된다. 지상국은 MCS(Master Control Stations), US(Upload Stations) 그리고 MS(Monitor Stations)으로 구성되며, 지상국의 각 요소별 주요 역할은 다음 표와 같다.

표 5 지상국의 각 요소별 주요 역할

요소	역할
MCS	-MS(Master Station)으로부터 관측 데이터 수집 -데이터 처리 -위성 항법 메시지, 광역 보정을 위한 데이터, 무결성 정보 생성 -계획 및 일정 수행 -시스템 운영 및 제어
US	-위성 항법 메시지, 광역 보정을 위한 데이터, 무결성 정보 업로드 -페이로드 관리 및 제어
MS	-항법 위성 추적 및 모니터링 -위성 궤도 판별 및 시간 동기를 위해 관측치를 MCS로 전송

1.1.4.3. 발전 방향

BeiDou는 현재 3단계 개발을 진행하고 있으며, '12년 이후 지역적 서비스를 확장하여 '20년까지 지구전역에 서비스의 제공을 목표로 하며 최종 목표 사양은 다음과 같다.

- open service : global
- authorized service : positioning accuracy <10m
- wide range differential service : velocity accuracy <0.2m/s
- position report service : timing accuracy <20ns

또한 BeiDou 기반의 SBAS 시스템인 BDSBAS를 개발을 진행하고 있으며 최근 CSNO(Chian Satellite Navigation Office)에서 발표한 BDSBAS 개발 계획은 '25년 까지 서비스 확립 및 개선을 목표로 하고 있다.

BDSBAS는 차세대 이중주파수 다중 항법시스템(DFMC, Double Multiple Constellation) SBAS를 개발하기 위한 연구 진행 및 국제 협력을 추진하고 있다.

1.2. 지역 위성항법 시스템 개발 현황

1.2.1. QZSS

1.2.1.1. 시스템 개요

일본의 QZSS(Quasi-Zenith Satellite System)은 GPS의 보완 및 서비스 증강을 위한 시스템이다. 일본은 민·관 합작으로 '02년부터 연간 100억엔 이상 투입하여 QZSS 개발에 나섰다. QZSS는 '10년 9월 11일에 발사한 “MICHIBIKI”에 추가적으로 3개의 Quasi-Zenith 위성을 발사하여 운용할 예정이며, 기본적으로 현대화되고 있는 미국의 GPS와 호환되고 일본, 동북아, 호주 등을 8자 궤도로 선회한다. QZSS는 DOP(Dilution of Precision) 향상에 의해 항법 정확도 향상을 목표로 하며, '02년 11월에 조직된 일본의 ASBC (Advanced Space Business Corp.)가 관장하여, Mitsubishi electric, Hitachi, ITOCHU, NEC-Toshiba space system, Mitsubishi Corp, Toyota motors가 참여하고 있다.

1.2.1.2. 개발 현황

QZSS는 '10년 첫 발사를 시작으로, '18년까지 세 개의 위성을 추가로 발사하여 4개의 위성으로 시스템을 가용할 예정이다. 서비스의 개념도와 구성도는 아래 그림과 같다.



그림 12 QZSS 서비스 구성

(Choy, Real-Time Precise Point Positioning Utilizing the Japanese QZSS LEX corrections, PPP Workshop, '13)

1.2.1.3. 발전 방향

QZSS의 첫 번째 위성 QZS-1 MICHIBIKI는 '10.9월 11일 발사되었다. 그 후 3개월 동안 On-Orbit Checkout 기간을 가지고 9월 27일 MICHIBIKI 위성이

QZO(Quasi-Zenith Orbit)에 도달함에 따라 ‘10.12월부터 기술 및 애플리케이션에 대한 검증을 시작하였다. ‘11.6월 신호의 위치 추정 및 클럭 파라미터의 정확도를 의미하는 SIS-URE (Signal-in-space User Range Error)의 규격을 정의했다. 또한 IS-QZSS에 명시된 성능을 제공하는 안정성을 확인한 후 L1 C/A와 L2C 신호는 ‘11.6월 22일에 운영하였고 ‘11.7월 14일 L5와 L1C 신호를 운영하였다. ‘13년까지 위성궤도의 정밀 조정, 장기적인 관점에서의 평가 등 정밀한 설계요소를 조정했으며, ‘23년까지 설정한 QZSS 위성 발사 및 서비스 계획은 다음 그림과 같다.⁵⁾

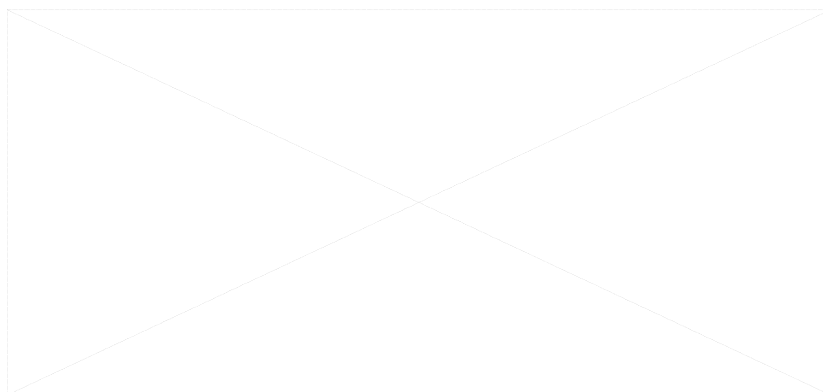


그림 13 QZSS 위성 발사 및 서비스 계획
(QSS, Project Overview of QZSS, PNT Advisory Board, ‘15)

‘11.9월 30일 일본 내각의 “QZSS 운영을 위한 프로젝트에 대한 기본 정책” 결정에 의하면 일본 내각은 QZSS가 자연재해 대응 능력을 포함한 넓은 범위의 사용자 안전 분야에서 아시아와 태평양 지역의 복지에 기여하는 것을 목표로 한다. 최종적으로는 7개의 QZSS 위성을 확보하여 위치정보를 지속적으로 얻기 위한 환경을 확립할 계획이다. 일본 내각은 첫 번째 QZSS 위성인 MICHIBIKI에서 얻은 성과물을 바탕으로 하여 향후 QZSS 개발, 운용을 지원하며 이를 위하여 법률적인 개정을 통해 필요한 예산을 확보할 예정에 있다. QZSS에 대한 개발 계획은 아래 그림과 같다.

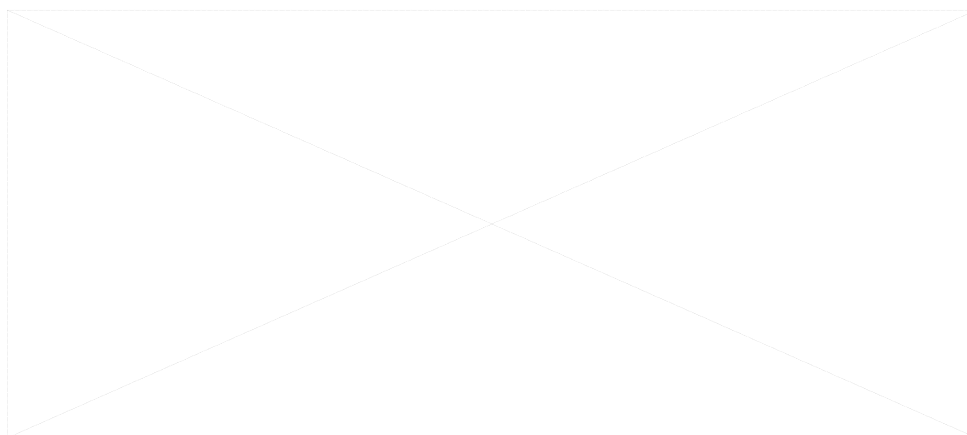


그림 14 QZSS 개발 계획
(QSS, Project Overview of QZSS, PNT Advisory Board, ‘15)

5) Satoshi Kogure, ‘16, Ken Harima, ‘15

1.2.2. IRNSS

1.2.2.1. 시스템 개요

IRNSS는 ISRO (Indian Space Research Organization)에서 개발을 주도한 인도의 지역 위성항법시스템이다. 인도에서는 IRNSS를 NAVIC(NAVigation with Indian Constellation)이라고도 하며, '06.5월부터 개발되기 시작하여 '16.4월에 7개의 위성이 모두 발사되었다. 각 위성의 이름은 '1'로 시작하며, 발사 순서대로 뒤에 A, B, C와 같이 알파벳 순서대로 이름이 붙여진다. 예를 들면 첫 번째 발사된 위성의 이름은 IRNSS-1A 위성이며, 가장 마지막에 발사된 위성의 이름은 IRNSS-1G이다. 각각의 위성은 '13.8월부터 발사되기 시작하였는데, '13년에 1개, '14년에 2개, '15년에 1개, '16년에 3개가 발사되었다. 총 개발 비용은 2억11백만 달러로 지상 부문이 \$45백만 달러, 나머지 비용이 우주 부문에 사용되었다. '15.10월 인도의 SBAS (Satellite-Based Augmentation System)인 GAGAN과 IRNSS 서비스가 SAARC (South Asian Association for Regional Cooperation) 지역에 제공될 것이라고 발표되었다. IRNSS 위성이 모두 발사된 후 '16.9월에 ISRO에서 최종적으로 2개의 spare 위성을 추가 발사하기로 결정하였다. Spare 위성은 '17.3월까지 제작을 완료하고, '18년까지 프로젝트를 완료하도록 계획되었다.

1.2.2.2. 개발 현황

'13년부터 첫 위성을 발사하고 '16.4월에 마지막 위성을 발사하여 현재 총 7 대의 위성을 운용 중이다. 아래 그림은 IRNSS 위성의 배치 형태와 서비스 영역을 나타낸다.



그림 15 IRNSS 위성 배치 및 서비스 영역
(www.quora.com)

1.3. 위성항법 보강시스템 개발 현황

1.3.1. WAAS

1.3.1.1. 시스템 개요

미국의 WAAS (Wide Area Augmentation System)은 미연방항공국 (Federal Aviation Administration, FAA)에서 개발을 주관하고, 미국 Raytheon 사가 제작하여 북미 지역을 비스 범위로 하는 세계 최초의 SBAS이다. '92년부터 개발 사업이 시작되었으며, '99년 시험용 위성신호 전송 개시를 거쳐, '03년 항공용 사용 승인을 받고, 초기정상가동 (IOC, Initial Operational Capability)을 완료한 바 있다. '03.7월부터 WAAS Phase I ('96~'03)을 통해서 LNAV/VNAV (Lateral NAVigation/Vertical NAVigation) 및 제한적 LPV(Localizer Performance with Vertical Guidance) 서비스 시작하였으며, WAAS Phase II ('03~'08)를 통해 서비스 영역을 알래스카와 멕시코, 캐나다까지 확장하여 '08년 LPV 완전정상가동(FOC, Full Operational Capability)을 달성하였다. 이후 WAAS Phase III ('09~'13)을 거쳐 Full LPV-200 서비스 및 GEO 레인징 기능을 제공할 수 있게 되었다.

1.3.1.2. 개발 현황

현재 WAAS는 기준국 (Reference Station) 38기, 중앙처리국 (Master Station) 3기, 위성통신국 (Ground Earth Station) 6기, 통합운영국 (Operational Control Center) 2기로 지상국이 개발되어 있으며, 3개의 정지궤도 위성 (GEO)을 통해 WAAS 보정정보를 방송하고 있다.



그림 16 미국 WAAS 시스템 구성도
(FAA, Inside GNSS, '12)

정지궤도 위성은 Intelsat사의 Galaxy XV (CRW), Telesat사의 Anik FIR (CRE), Inmarsat 사의 Inmarsat I4F3 (AMR)로 구성되어 있고, 이중 AMR 위성을 제외한 CRW, CRE 위성은 거리 측정치 제공도 가능하다.

1.3.1.3. 발전 방향

WAAS는 '13년에 Full LPV-200 성능을 달성한 이후 '14년부터 Phase IV 개발을 시작하였다. Phase IV의 주요 목적은 GPS 민간용 주파수인 L1/L5 이중주파수 운용이다. 현재 군용으로 암호화된 GPS L2 주파수 신호를 민간 신호인 L5 주파수로 완전히 변경하고, 이중주파수 신호를 사용하여 사용자의 전리층 지연을 제거함으로써 시스템의 가용성 및 연속성 성능 향상을 기대하고 있다. '28년에 L1/L5 이중주파수 WAAS 서비스를 제공하는 것을 목표로 하고 있으며, 이를 달성하기 위한 지속적인 연구를 수행하고 있다.

아래 그림은 WAAS의 현대화 계획을 정리한 것이다. WAAS는 이중주파수 SBAS 개발을 위해 기존 단일주파수 SBAS의 Safety Computer와 네트워크 통신망, 그리고 기준국 수신기의 교체를 준비하고 있으며, 새로운 정지궤도 위성의 개발 및 통합도 고려하고 있다.



그림 17 WAAS 현대화 계획
(FAA, IWG 26, '14)

1.3.2. EGNOS

1.3.2.1. 시스템 개요

유럽의 EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)은 유럽의 독자 위성항법 개발단계 중 첫 단계로 개발된 SBAS 시스템으로 European Commission (EC)에서 개발을 주관하였으며, THALES 사가 시스템을 제작하였다. '94년 유럽 의회 (EC)가 EGNOS 프로그램 착수를 승인한 이후, '95년부터 유럽우주청 (European Space Agency, ESA) 주관으로 개발을 시작하였다. 그리고 '98년부터는 ESA와 EC 그리고 Eurocontrol 3자 기관으로 구성된 ETG (European Tripartite Group)이 EGNOS 공동개발을 추진하였다. 이중 ESA가 주도적으로 EGNOS의 설계, 개발, 기술검증을 수행하였다. '03년 시험신호 방송을 시작으로 '05.7월 EGNOS의 초기 운영 단계 (Initial Operation Phase, IOP)를 달성한 바 있다. 이후 '06년에는 EGNOS v2.1 설치 및 북부 아프리카로 서비스 영역을 확대하였다. '09.10월부터는 Non Safety-of-Life (SoL) 용 EGNOS 공개서비스를 무료로 제공하였으며, '11.3월부터 유럽 및 북부아프리카 지역에서 항공용 인명 안전 (Safety-of-Life, SoL) 서비스 시작을 정식으로 발표하였다. '11년 ICAO SARPs(International Standards and Recommended Practices)의 APV-I급 요구 성능을 만족한다는 항공용 인증 이후 독일(38개), 프랑스(18개), 스위스(2개) 공항에서 EGNOS 시스템을 활용 중에 있다. 이후 유럽의 GNSS 현대화 계획에 따라 EGNOS 서비스 지역 확대 및 다른 SBAS 시스템과의 연계를 위한 개선 작업을 착수하였으며, '15년 미국 WAAS와 동일한 수준인 항공용 LPV-200 절차 활용이 가능한 시스템 승인이 완료되어 현재 서비스 제공 중이다. 유럽 역시 EGNOS 개발에 있어 미국의 WAAS 처럼 SBAS 시스템을 직접 개발하여 자체적인 기술을 확보하고 있다는 특징이 있다.

1.3.2.2. 개발 현황

현재 EGNOS는 GPS 신호에 대한 레인징 및 무결성을 감시하는 39개의 기준국(Ranging Integrity & Monitoring Station, RIMS), 기준국으로 부터 데이터를 활용해 SBAS 보정 정보 생성을 수행하는 4개의 중앙처리국 (Mission Control Centre, MCC), 생성된 보정 정보를 정지궤도위성에 업링크하기 위한 6개의 위성통신국 (Navigation Land Earth Station, NLES), EGNOS 운용을 위한 2개의 통합운영국 (Support Facility)로 구성되어 있다.

3기의 정지궤도 위성은 Inmarsat사의 Inmarsat 3F2 (AOR-E)과 Inmarsat 4F2(IOR-W) 및 Artemis 위성으로 구성되어 있다. AOR-E 위성은 1996년 9월 발사해 '11.3월부터 SoL 서비스를 개시하였고, IOR-W 위성은 '12.3월부터 SoL 서비스를 개시하였다. '15년부터는 Inmarsat 4F2 위성을 대신하여 새로운 EGNOS의 정지위성인 SES-5 위성이 사용되고 있다. 그리고 추후 Inmarsat 3F2 위성을 대체하여 ASTRA-5B 위성을 사용할 계획을 가지고 있다. 새로운 EGNOS 정지궤도 위성을 통해 EGNOS의 서비스 품질 향상 및 WAAS와 마찬가지로 정지궤도 위성 측위 기능 제공을 기대하고 있다.



그림 18 유럽 EGNOS 시스템 구성도
(ESA, EGNOS and Galileo, UASD, '16)

1.3.2.3. 발전 방향

유럽은 미국과 마찬가지로 이중주파수 SBAS 개발을 위한 EGNOS V3을 계획하고 있으며, 이를 통해 CAT-I급 성능을 목표로 하고 있다. 유럽의 이중주파수 SBAS 개발은 L1/L5가 탑재된 GPS Block III 위성과 E1/E5a가 탑재된 Galileo 위성이 완전 운용 능력 상태가 되는 '22년부터 본격화 될 예정이며, 현재는 이중주파수 SBAS의 가용성 분석이 수행되고 있다.

2. 국내 위성항법 시스템 개발 및 관련 사업 현황

2.1. KASS (Korea Augmentation Satellite System)

2.1.1. 시스템 개요

우리나라에서의 SBAS에 대한 요구는 '03년 12월 광역보정시스템 개발 타당성 연구에서부터 제기되었다. '13년 8월 예비타당성 조사를 통하여 Korea SBAS (K-SBAS) 프로그램 수행이 결정되었으며, 이후 '13년 12월부터 '14년 6월까지 K-SBAS 개발·개발을 위한 기반조성 연구가 시행되었다. '14년 10월 한국항공우주연구원(KARI: Korea Aerospace Research Institute)이 K-SBAS 프로그램 주관기관으로 선정되었으며, '14년 12월 K-SBAS 프로그램 착수와 동시에 KASS (Korea Augmentation Satellite System)로 명명하였다. KASS 사업기간은 '14년 10월부터 '22년 10월까지 총 8년이며, 3단계로 구분한다. 현재까지 시스템 요구사항 및 규격 정의를 위한 예비설계 및 국내외 공동개발 사업자 선정을 목표로 하는 1단계('14.10~'17.02) 연구수행을 완료하였으며, EGNOS 시스템 제작사인 프랑스 THALES가 국외 공동개발 사업자로 선정되었다. 2단계('17.03~'20.02)에서는 시스템 상세설계/제작 및 통합, 3단계('20.03~'22.10)에서는 시험 및 인증을 진행할 예정이다. KASS는 APV-I급 성능 제공을 목표로, 기준국 7개소, 위성통신국 3개소, 통합운영국 2개소, 중앙처리국 2개소, 정지궤도위성 2기로 구성할 예정이며, '20년 7월 공개서비스, '22년 10월 항공용 서비스(SoL: Safety of Life) 제공을 목표로 하고 있다.



그림 19 KASS 시스템 아키텍처

2.1.2. 개발 현황

KASS는 '16년 10월 공동개발업체로 프랑스 Thales Alenia Space를 선정하여 현재까지 시스템 예비설계를 진행하고, 현재 상세설계를 진행 중이다.



그림 20 KASS 개발 로드맵

2.2. 국방위성항법특화연구센터

국방위성항법특화연구센터는 미래 항법전(Navigation Warfare)에 대비한 차세대 무기체계 운용 및 관련 기술 개발을 위한 국방 위성항법시스템의 기반기술을 확보하고, 국방기술 연구 인력의 저변확대를 목표로 설립되었다. 국방위성항법특화연구센터에서는 위치, 항법 및 시간(PNT : Position, Navigation, and Timing)정보를 제공하는 국방 위성항법 기술 분야에 국가차원의 산·학·연 역량 최적화를 통하여 국제경쟁력을 신장하고 선진국 수준의 기술을 확보한다. 아래 그림은 국방위성항법특화연구센터의 조직 체계이다.



그림 21 국방위성항법특화연구센터 추진 체계

국방위성항법특화연구센터의 연구 기간은 ‘10~‘18년이며 주요 연구 내용은 아래와 같다.

- 위성항법 아키텍처
- 위성항법 신호 생성
- 항법 위성군 상태 감시
- 재밍 대응 신호 처리
- 위성항법 정보 융합

2.3. 위성항법기반 교통인프라 기술 개발 사업

위성항법기반 교통인프라 기술개발은 미래육상교통시스템의 안전성과 효율성을 증대시키기 위한 위성항법시스템의 활용에 있어서 위치정확도와 신뢰도를 향상시킬 수 있는 교통인프라 기술을 개발하기 위해 추진되었다. 세부적으로 위성항법을 기반으로 차로 구분 가능한 수준의 위치결정 기술과 신호감시를 통한 위치정보의 신뢰성 향상 기술개발, 위성항법을 기반으로 한 육상교통 분야 위치결정 표준화 기술개발을 진행하였다. 연구 개발 기간은 ‘06 ~ ‘14년이다.

교통인프라 기술을 통하여 육상 정밀 위성항법에 필요한 시스템을 최소화할 수 있으므로 인프라 개발 및 유지보수에 드는 비용을 절감할 수 있다. 이 사업을 이용한 예상되는 활용 분야는 아래 표와 같으며, 본 사업은 현재 후속 사업으로 실용화 사업을 진행 중이다.

표 6 위성항법기반 교통인프라 기술 활용

분야	활용 현황
육상교통	- 차로별 차량의 위치정보 수집 - 차량용 블랙박스의 성능 개선 - 위험물 운반차량 차로 관리
육상 교통 관련 후속 연구에 활용	- 육상교통 체계에서 정밀위치 결정정보의 필요성과 그 활용도가 높으므로 실용화 개발기술 확보를 위한 후속 사업에 활용 가능 - 본 연구의 실용화로 육상교통의 편의성 증대 및 육상교통의 사고예방에 직접적으로 활용할 수 있을 것으로 예상

2.4. NDGPS (Nationwide-DGPS)

NDGPS와 관련하여서 ‘해양용 위성항법보정시스템(DGPS) 개발·운영 사업 (‘98 ~ ‘02)’과 ‘전국망 위성항법보정시스템(DGPS) 개발 추진 사업 (‘03 ~ ‘09)’이 진행되었다. 본 사업은 항만 입출항로 및 협수로 향해 선박의 안전운항을 위해 GPS의 위치오차를 30m에서 10m로 보정하여 실시간 제공하기 위해 추진되었다. 또한 이렇게 개발된 DGPS가 내륙 산간지역을 제외한 전 국토의 65% 지역에서 이용 가능함에 따라 육상 교통 이용

자를 위한 DPGS 전국망 개발을 위한 사업이었다. 현재 국토해양부의 DGPS 인프라는 통제소 1개소, 해안 기준국 11개소, 내륙 기준국 6개소, 감시국 9개소로 구성되어 운영되고 있다.

해당 사업을 통해 1m 수준의 정확도를 가진 실시간 측위보정정보를 제공한다. 또한 200km의 넓은 서비스 지역과 우리나라의 내륙 및 전 해역에서 서비스가 가능하다.

이 위성항법보정시스템 사업을 이용한 활용 분야는 아래 표와 같다.

표 7 NDGPS 사업을 통한 활용 현황

분야	활용 현황
해양분야	- 선박안전통항수심/통과높이결정 - 선박 접이안 보조서비스 - 선박 접이안 중 선위검출서비스 - 선박항행원조 및 관리서비스 - 선박 시운전 보조서비스 - 적조 모니터링 시스템 - 연안어장 폐기물 관리시스템 - 어장감시시스템 - GIS 기반 연안침식 및 퇴적물 관리시스템
과학/환경 분야	- 구조물 안전진단용 무선센서 네트워크 서비스 - 모바일 기반의 습지 및 생태계 조사 및 관리시스템 - 모바일 기반의 천연기념물 관리시스템 - 조류 바이러스 관련 피해대응 및 관리시스템
통신/제어 분야	- DGPS 비컨을 이용한 Assisted GPS 서비스 - 자동차 안전운행 확보시스템 - 자기부상열차 주행안전시스템 - 수색구조, 준설, 화재진압 등을 위한 모바일 로봇시스템 - eBook과 GPS 위치정보를 결합한 실시간 관광 안내 서비스
측지, 측량 분야	- 3D 기반 u-City 통합관제 서비스 - 3D 가상현실 네트워크 기반의 항만구조물 설계/관리 서비스

3. 위성항법 시스템 활용 현황

3.1. 위치 정보 활용 현황

위치는 다양한 교통수단(육상, 해상, 항공)에서 위치 파악을 위한 기본적인 수단으로 사용되고 있다. 특히 육상 교통 분야에서는 해상, 항공분야와는 달리 동일한 성능을 갖는 백업 시스템이 없는 사실상 유일한 위치 정보 제공 수단이라고 할 수 있다.⁶⁾

3.1.1. 육상 교통 분야 활용

육상 교통 분야에서 다양한 방식으로 위성항법 시스템이 사용되고 있으며 세부 활용 분야의 예는 다음 표와 같다.

표 8 육상 교통 분야의 위치 정보 활용

구분	위치 정보의 이용	비고
자율 주행차	- 차량 유도를 위한 기본 정보로 이용	- 차량 센서 (Lidar 등) 과 통합하여 사용
교통량 정보	- 카드 택시 7만 여대의 GPS 정보를 활용하여 교통 정보 생성	
버스 도착 시간 안내	- 버스 위치 정보 제공으로 정류장 도착 예정 시간 안내	
택시 호출	- 사용자, 차량 위치 파악을 통한 서비스 제공	- 우버, 카카오 택시 등
위험물 운반 차량 관리	- 위험물 운반 차량의 경로 감시 - 위험 지역 (인구 밀집 지역, 상수원 등) 진입 감시	
철도 차량 감시	- 철도 차량의 위치 및 이동 상태 감시	

3.1.2. 항공 분야

항공 교통의 경우 기존의 상용 항공기들이 사용하는 지상 항법 시스템이 있으나 최근 무인기, 드론 등의 활용이 폭발적으로 증가하면서 위치정보 제공 수단으로서의 위성항법 시스템의 중요성이 점점 증가하고 있다. 아래의 표는 항공 분야의 활용 예이다.

표 9 항공 교통 분야의 위치 정보 활용

구분	위치 정보의 이용	비고
드론	- 경로점 비행 등을 위해 사용	
ADS-B	- 항공기 상호간 위치 파악 및 관제를 위해 사용	
항공기 이착륙	- 기존 대비 항공 물동량 증가 - 소형 공항 및 지형이 불량한 공항에서 계기 이착륙 가능	- 국내에도 SBAS 개발을 통해 항공 분야 활용을 추진 중

6) 부록 A, '무선 측위 기반 위치 추적 기술 현황' 참조

3.1.3. 해양 분야

해양 분야도 위성항법이 다양하게 사용되고 있는 분야이며, 선박 항법에서부터 각종 재해재난 및 수색·구조 등에 활용되고 있다. 아래의 표는 해양 분야의 활용 예이다.

표 10 해양 분야의 위치 정보 활용 예

구분	위치 정보의 이용	비고
선박 조난 대응	- 해난 사고 발생 시 선박, 조난자의 위치 추적	
선박 AIS ⁷⁾	- 선박 상호간 위치 정보 공유로 충돌 사고 방지	
쓰나미 조기 감지	- 쓰나미 조기 감지 및 경보 발생	- 기초 연구 수행
항만	- 컨테이너 관리 - 젠트리 크레인 제어	- 기초 연구 수행

3.1.4. 측지·측량 분야

측지·측량 분야에서는 기존의 측량 방법에 비해 높은 정확도와 사용자의 숙련도와 상관 없이 일정한 수준의 해를 준다는 점에서 기존 측량 방식을 많은 부분에서 대체하고 있다. 아래 표는 측지·측량 분야의 활용 예를 나타낸 것이다.

표 11 측지·측량 분야의 위치 정보 활용 예

구분	위치 정보의 이용	비고
측량 서비스	- 토목 공사, 건축을 위한 측지 정보 이용 - GIS정보 DB 개발	
지도 제작 로드뷰 제작	- 지도 제작을 위한 기준 정보로 사용 - 항공 사진의 좌표 보정	- 위성항법 외의 측정 정보와 통합하여 이용
지각 운동 모니터링	- 지각 변동에 의한 지각 판 이동 감지	
정밀 토목 공사	- 토지 고저 측량 (도로 공사 시)	

3.1.5. 구조물 안전

최근의 빈번한 지진 발생과 장대 교량, 고층 빌딩의 증가로 인해 구조물 안전에 대한 관심이 높아지고 있다. 위성항법 시스템을 이용한 정밀 위치 정보는 구조물 안전을 위해 처짐, 변형 등의 감시를 위해 이용되고 있다.

7) AIS : Automatic Identification System. 선박 상호간의 GPS 기반 위치 정보 및 기타 정보 제공으로 충돌 사고 등을 예방하기 위한 국제 표준 장비. AIS 이전에는 Radar를 이용하였으며 기상/선박 크기/가시선에 따른 감지 한계가 있었음

표 12 구조물 안전 활용 분야

구분	위치 정보의 이용	비고
교량 감시	- 교량의 처짐 실시간 감시	- 서해 대교 등
고층 건물 감시	- 지진, 강풍 등에 의한 건물 변이 실시간 감시	- 제2롯데월드 등 초고층 빌딩 변형 감시

3.1.6. 위치 기반 서비스 (LBS, Location Based Service)

최근 사용자의 위치를 기반으로 한 광고, 게임 등의 각종 서비스가 개발되고 있으며, 이러한 서비스를 위한 위치 정보로 위성항법 정보가 사용되고 있다. 이동 통신 셀이나 WiFi 등의 정보를 이용하는 방법도 사용되고 있으나 정확도가 낮아 서비스가 제한되는 한계가 있다.

표 13 위치 기반 서비스 활용 분야

구분	위치 정보의 이용	비고
위치 기반 게임	- 증강 현실 게임 등에서 자신의 위치 정보 이용	- 포켓몬고 등
위치 기반 광고	- 위치 정보를 이용한 광고 노출 - 위치 정보를 이용한 쿠폰 사용	- 각종 쿠폰 서비스
위치 연동 SNS	- 위치 정보를 기반으로 한 SNS 서비스 제공 곤란	- 게시물 등에 현재 위치 정보 등을 포함
레저	- 자전거, 스키 등의 이동경로 기록	

3.2. 시각 정보 활용 현황

위성항법 시스템은 기본적으로 정확한 시각 정보를 제공한다. 위성항법 시스템 기반의 시각 정보는 다른 시각 동기 방법들에 비해 상대적으로 높은 성능을 제공하며 저렴하고 신뢰성이 높다는 장점이 있다. 다음은 시각 동기 방식에 따른 성능을 나타낸 것이다.

표 14 시각 정보 기술 및 성능

구분	기술	성능	특징
위성 기반	단독(Stand-alone) 위성항법	40 ns	-단일 수신기를 사용하여 위성항법 시스템 시각에 동기
	동시측정(Common view) 위성항법	5 ns	-원격지에서 동시에 관측되는 항법위성을 이용하여 시각동기 -원격지에 설치된 수신기간 통신 필요
	양방향 통신(TWSTFT, Two-Way Satellite Time Frequency Transfer)	< 1 ns	-통신 위성을 이용하여 이격지간 양방향 통신에 의한 시각 동기 -장비가 고가이고 위성 사용료를 지불하여야 함
네트워크 기반	NTP (Network Time Protocol)	1~10 ms	-네트워크 상태에 따라 동기 성능에 영향을 줌 -기준 시계로서 GPS 수신기와 높은 등급의 오실레이터 또는 루비듐 원자시계를 사용 -GPS 이용 불가시 오차 증가 ⁸⁾
	IRIG (Inter Range Instrumentation Group)	1~10 us	-전용선(Coaxial cable)을 사용하여 시각 동기 -전용 장비 필요
	PTP (Precise Time Protocol)	0.1~1 us	-NTP가 소프트웨어 기반의 Time Stamp이었다면, PTP는 하드웨어 기반의 Time stamp 개념 -NTP와 마찬가지로 기준 시계로서 GPS 수신기와 높은 등급의 오실레이터 또는 루비듐 원자시계를 사용하기 때문에 GPS 이용 불가시 오차 증가
	TWOTT (Two-Way Optical Time Transfer)	< 수십 ps	-성능보장을 위해 전용선(dark fiber)이 필수 -온도, 진동 등에 민감하여 이를 보상하기 위한 다양한 추가 장치들이 필요하며 전송 거리에 따라 다수의 중간 증폭기 삽입이 필요
지상과 기반	Radio Clock	1~10 ms	-수신기의 위치측정이 불가하므로 송신국과 수신기간 거리에 따른 전파지연 발생 -시간에 따른 지표면 특성 변동에 기인한 지연 변동 발생
	enhanced LORAN	50 ns	-1개의 eLoran 송신국 신호 수신 필요 -dLoran 보정국이 필요하며 그것으로부터 약 30 km 이내 보장

8) GPS 이용 불가 시 자체 오실레이터 또는 루비듐 원자시계로만 동작하기 때문에 시간이 지남에 따라 오차가 증가 (오실레이터는 하루에 1us, 루비듐은 5일에 1us 정도의 오차를 가짐)

시각 동기는 통신, 방송, 전력, 교통, 금융 등의 분야에서 사용되고 있다. 각 분야에서 필요로 하는 시각 동기 성능은 다음 표와 같다.

표 15 시각 동기 필요 분야 및 분야별 요구 성능/방식

분야	세부 분야	위상/시각 동기 요구 성능	동기 방식
통신	CDMA 2000	3 us ~ 10 us	GNSS / PTP(IEEE 1588v2)
	WCDMA / LTE-FDD	—	GNSS / PTP(IEEE 1588v2)
	LTE-TDD	1.5 us	GNSS / PTP(IEEE 1588v2)
	LTE-Advance	1.5 us ~ 5 us	GNSS / PTP(IEEE 1588v2)
	OTDOA for E911	100 ns	GNSS
방송	—	—	—
전력	Synchrophasors	1 us	GNSS / PTP(IEEE 1588v2)
	Line Differential Protection	1 us	GNSS / PTP(IEEE 1588v2)
	Sampled Analog Values	1 us	GNSS / PTP(IEEE 1588v2)
	SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)	1 ms	GNSS / PTP(IEEE 1588v2)
교통	지능형 교통 시스템	1 ms	GNSS
	교통신호 제어	10 ms	GNSS
금융	전자상거래, 시점인증서비스	100 us	GNSS / PTP(IEEE 1588v2)
기타	공장자동화 및 제어	1 ms	GNSS
	우주, 첨단 과학	< 1 ns	GNSS/TWSTFT/ TWOTT

시각 동기는 국가의 주요 인프라에서 의존하고 있는 관계로 위성항법 장애가 발생할 경우 사회 전반적인 분야에서 문제가 발생할 수 있다. 다음은 위성항법 시스템에 장애가 발생할 경우 예상되는 피해를 나타낸 것이다.

표 16 위성항법 장애 시 피해 예상 분야

구분	시각 정보의 이용	위성항법 장애 시 예상 피해
통신	-원거리통신 -이동통신 기지국 -CDMA/TDMA -멀티미디어 통신	-동기화 신호(GPS) 부재 시 점차적으로 망 성능 저하 발생 -2세대 기지국 등 동기방식의 이동통신 기지국 간 망동기 불가능으로 핸드오프 불능
방송	-T-DMB -DAB(데이터 오디오 방송)	-T-DMB 및 DAB의 동기 정보 손실로 일정시간 경과 시 두 개의 서비스 인접지역에서 신호 간섭으로 인한 서비스 품질 저하 발생
금융	-국제금융시스템 -ATM망 -주식거래시스템 -OTP 인증 절차	-시각동기 신호 부재 시, 통신망 장애로 인한 금융/교역 능력 상실, -ATM 망 및 주식거래시스템의 타임스탬프 오류로 인한 서비스 장애 발생
전력	-송배전시스템(스마트 그리드) -차세대 SCADA	-스마트그리드 시스템에서 60, 50 Hz의 주파수 대역을 사용하는 전력 전송에 문제 발생 -SCADA 시스템(감시제어 및 데이터 취득시스템) 운영 불가
자동화 산업현장	-생산라인(제약회사, 반도체 등) -타이밍 장비 제조업체	-프로세스 간 업무 스케줄링 문제로 생산효율 저하 및 장비 손상 발생
천문학	-전파 천문학	-관측 정보의 신뢰성 저하
기타 망 운영	-교통체계 망 -컴퓨터 노드 간 전송 -디지털 증명서	-시스템 오류위치를 기록 및 이슈 디버깅 불가 -시스템 간 보안 문제 발생

4. 위성항법 시스템과 PNT 시스템

국가 PNT (Position, Navigation, and Timing) 시스템은 국가의 책임 하에 안정적인 PNT 정보를 제공해 주기 위한 시스템이다. 국가 PNT 시스템에 대한 주요 인프라의 의존성은 급격히 증가되고 있는 상황에서 국가적인 혼란과 경제적 손실, 그리고 안보상의 실패를 방지하기 안정적이고 신뢰할 수 있는 PNT 정보의 제공은 국가 유지를 위해 필수적이라고 할 수 있다.

4.1. 국가 PNT 시스템 개요

PNT 정보는 국가 안보, 인프라 등에 핵심적인 정보로 광범위하게 사용 중인 정보이다. 국가 안보의 경우 PNT 정보는 지휘, 통제 및 통신 체계에서 핵심적인 역할을 하며, 대부분의 유도무기 체계나 군수 관련 업무에 활용된다. 국가 경제의 측면에서 보면 PNT는 교통, 통신, 전력망 운용을 위한 스마트 그리드, 재난 대응 등에 활용되고 있다. 아래 표는 PNT 정보의 활용 분야를 나타낸 것이다.

표 17 PNT 정보의 활용 분야

구분	활용 분야
민간	교통 안내, 물류 관리
정부	인프라 관리, 재난재해 모니터링 및 대응

그러나 현재 우리나라의 PNT 시스템은 국가적 관점에서 체계화된 구조를 가지고 있지 않은 상황이다. 미국에서 발행된 ‘국가 PNT 아키텍처 - 실행 계획(미 교통성, 국방성, ‘10)’에서는 구조화된 PNT 시스템의 부재는 아래와 같은 문제점을 발생시킬 수 있다고 예상하고 있다.⁹⁾

- PNT 시스템 운용상의 위험 (시스템 고장 및 테러 등에 의한 인프라 손실)

일부 PNT 소스의 장애가 발생할 경우 이에 대한 교체 수단이 체계적으로 준비되어 있지 않아 전체 시스템의 실패를 야기할 수 있으며, 이는 곧 국가적인 손실과 연계되게 된다. 이러한 장애는 시스템 고장은 물론 테러 등에 의한 인프라 손실에 의해 발생할 수 있는 가능성을 항상 가지고 있다고 할 수 있다.

- 비조직화된(uncoordinated) PNT 관련 기술 개발 및 연구 개발 경로(development path)의 부재

PNT 시스템을 구성하는 각 구성 요소가 종합적으로 관리되지 않는 경우 서비스 영역의 공백이 생겨 PNT 정보 제공의 단절이 발생할 수 있다. 반면 필요 이상의 중복이 발생할 경우 시스템 구축을 위한 예산 투입에 중복이 발생할 수 있다. 기술 개발 과정에서도 적절한 중장기 연구 개발 계획의 수립이 불가능하여 예산의 낭비 및 구축이 지연될 위험이 있다.

9) 부록 B, ‘국가 PNT 아키텍처 - 실행 계획’ 참조.

- PNT 관련 리소스의 비효율적인 전개 (중복 등)

종합적인 계획이 없이 인프라가 전개되는 경우 관련 자원들이 중복으로 투입될 수 있으며, 구축 예산의 낭비가 발생할 수 있다. PNT 시스템의 경우 전 국가에 걸친 방대한 시스템으로 국가적인 예산이 투입됨을 감안하면 이러한 비효율성에 의한 경제적인 손실이 막대하다고 할 수 있다.

앞서 언급했다시피 우리나라도 국가 PNT 시스템 구축을 위한 다양한 연구 개발 업무가 진행되어 왔으나 부처별 연계 없이 산발적으로 진행되어 왔고 아직 통합된 시스템을 가지고 있지 못하다. 이러한 이유로 국민들이 사용하고 있는 PNT 정보는 신뢰성에 대한 보장이 없고 운용 상황에 독립적으로 연속적이지 않아 변화하는 PNT 정보 수준에 대해 개별 사용자 수준에서의 대응만을 하고 있다.

4.2. 국가 PNT 시스템의 미래상

현재의 PNT는 GPS로 대표되는 전역 위성항법 시스템에 크게 의존하고 있으며, 다양한 사용자의 요구에 특화된 복수의 위성 기반, 혹은 비 위성기반의 보강 시스템을 운용하고 있다. 최근 수십년간의 연구로 PNT 역량은 급격히 향상되고 있으나, 기술 발달에 따라 PNT 역량의 부족함이 계속해서 증가할 것으로 예상되고 있다.

미래의 PNT 시스템은 기존의 PNT 단순 결합 방식에서 다양한 PNT 소스를 통합하여 하나의 솔루션(common solution) 제공하는 방식으로 발전하여야 한다. 이러한 발전은 아래와 같은 구축 전략을 통해 획득될 수 있다.

- PNT 소스의 다양화

단일 기술에 PNT 정보를 의존하는 경우 장애 발생에 의해 전체 시스템의 운영 실패로 연결된다. 이러한 위험을 감소시키기 위해 다양한 소스를 통한 PNT 정보 획득이 필요하다.

- 다양한 소스에서 제공된 PNT 정보의 통합을 통한 단일·공통 솔루션 제공

PNT 정보의 사용자는 사용하는 PNT 종류에 상관없이 일정한 수준의 PNT 정보를 단일 단말기에서 획득할 수 있어야 한다.

- 통신과 PNT 결합을 통한 시너지 효과 획득

다양한 PNT 소스와 사용자간의 통신 네트워크 구축을 통하여 PNT 정보의 성능 및 안정성 향상을 기대할 수 있다.

- 부처 간 협력을 통한 PNT 시스템 구축

현재까지는 PNT 시스템 관리를 위한 기구가 없이 각 부처의 활용 현황에 적합한 PNT 소스들을 개별적으로 구축해 왔다. 이러한 PNT 소스들은 상호 연계가 어렵고 자원을 중복적으로 투입하기 때문에 예산 낭비가 심각한 수준이다. 국가 PNT 시스템의 구축을 위해서는 부처별로 개별적으로 개발 및 구축이 진행된 PNT 소스들을 통합하고 관리할 구가 기구가 존재하여서 부처간 협력을 이끌어 내어야 한다.

아래 표는 현재의 PNT 시스템의 현황과 체계적인 전략을 통한 PNT 시스템의 미래상을 나타낸 것이며, 아래 그림은

표 18 국가 PNT 시스템의 미래상

As Is	Should Be
· 외국 위성항법 체계의 <u>보장없는 사용</u>을 전제로 운영 · 항공, 해양 항법시설, 이동통신망 부가서비스 등 <u>응용분야별</u> 운영 · PNT 소스의 <u>단순 결합</u>과 이를 보완하기 위해 <u>개별 사용자에게 특화</u>된 보정 시스템으로 구성 · PNT 정보의 <u>필요성이 계속해서 증가</u>할 것으로 예상	· 국가 정보인프라로서 국가가 서비스제공의 책임과 관리감독 · PNT 소스의 다양화 · 다양한 소스에서 제공된 PNT 정보의 통합을 통한 <u>단일·공통 솔루션</u> 제공 · 기존 PNT 체계 및 정보통신 인프라와의 PNT 결합을 통한 시너지 효과 획득 · 부처 간 협력을 통한 PNT 시스템 구축



그림 22 국가 PNT 시스템의 미래상

(National Positioning Navigation and Timing Architecture and SatNav Backup Study, ICNS Conference, Karen Van Dyke, 미 교통성, '09)

PNT 정보는 국가의 전략적인 통제 없이도 각 구성 요소의 기술 향상에 의해 시간에 따라 점진적으로 성능이 향상될 것이다. 그러나 국가적으로 통제된 PNT 전략에 의해 잘 관리된 PNT 정보는 각 구성요소들 간에 발생하는 시너지 효과에 의해 향상된 역량을 획득할 수 있다. 아래 그림은 이러한 PNT 시스템의 발전을 나타낸 것으로 아래쪽 커브는 단순 기술 발전에 의한 PNT의 역량 증가를 나타내고 있으며, 위쪽 커브는 국가전 전략에 의해 PNT 시스템이 구축될 경우의 향상된 역량을 나타내고 있다.



그림 23 통합된 PNT와 단순 기술 발전에 의한 PNT 역량 증가 비교
(National Positioning, Navigation, and Timing Architecture -
Implementation Plan, 미 국방부, '10)

4.3. 위성항법 시스템 중심의 PNT 시스템 구축

위성항법 시스템은 국가 PNT 시스템 구축을 위한 가장 핵심적인 요소이다. 국가 PNT 시스템은 다양한 사용자가 통합된 솔루션을 이용하여 PNT 정보를 획득하여야하기 때문에 다음과 같은 요구사항을 만족하여야 한다.¹⁰⁾

- 서비스 목표로 하는 전 지역에 정보 제공 가능

국가 PNT 시스템은 지역적인 편차 없이 일정한 수준 이상의 PNT 정보를 제공할 수 있어야 한다. 지상 기반의 항법 시스템의 경우 가시성 문제로 인해 모든 지역에 고르게 정보를 제공하기 위해서는 많은 수의 지상국이 필요하게 된다. 반면, 위성항법 시스템의 경우 단일 시스템으로 서비스 영역을 커버할 수 있기 때문에 다수의 지상국이 필요하지 않다는 장점이 있다.

- 사용자는 수동적(passive)이어야 함, 사용자 수의 제한이 없어야 함

사용자가 인프라로 정보를 보내야 하는 경우 다수 사용자의 통신 문제를 해결하여야 하고, 단말의 단가, 중량 등이 증가하는 문제가 있다. 더욱이 단말의 위치를 노출시키므로 프라이버시 문제가 발생할 수도 있고, 군사적으로는 역추적 당할 위험이 있다. 특히 사용자의 송신을 필요로 하는 양방향 시스템인 경우 일반적으로 동시 사용자 수에 제한을 받기 때문에 국가적인 인프라로는 적합하지 않다.

- 군사적인 활용 시 상대방의 사용을 제한할 수 있어야 하며, 이때 아군이나 민간 사용자의 사용에 영향을 주지 않아야 함

유사시 상대방이 우리의 인프라를 이용하여 피해를 입힐 수 있는 가능성이 있기 때문에

10) Joint staff, '03 CJCS Master Positioning, Navigation, and Timing Plan, '03

상대방의 사용을 차단할 수 있는 방법이 있어야 한다. 그러나 우리의 사용까지 차단하면 인프라 유지에 문제가 발생하기 때문에 선별적인 사용이 가능하도록 하여야 한다.

- 시스템은 적의 공격, 자연 현상 등에 의해 생존할 수 있어야 하며, 계속적으로 PNT 정보를 제공할 수 있어야 함

지상 기반의 PNT 시스템의 경우 지상 인프라가 정밀 타격 무기나 테러에 의해 마비될 경우 특정 지역의 PNT 정보 제공이 불가해 지는 경우가 있다. 그러므로 PNT 시스템은 일부 인프라가 파괴되거나 기능이 정지하더라도 시스템 전체가 영향을 받지 않고 운용될 수 있어야 한다. 위성항법 시스템은 원자시계 등을 탑재함에 따라 지상국이 공격 받더라도 일정 기간 동안 자력으로 생존할 수 있어, 시스템 복구 시 까지 중단 없이 PNT 정보를 제공할 수 있다.

- 시스템 완전성 (integrity) 정보를 제공하여야 함. 신뢰할 수 있어야 함 (Reliable)

자율주행 차량, 드론 등의 무인 운송 체계는 인간의 개입이 배제된 상태에서 운용되는 것을 최종적인 목표로 한다. 이러한 무인 시스템은 유인 시스템과 달리 시스템 고장이 발생했을 경우 인간의 개입으로 대응할 수 없다. 그러므로 무인 운송 체계의 의사 결정을 위한 PNT 정보는 신뢰성 정보를 제공하여 신뢰도 수준을 고려하여 결정을 내릴 수 있어야 한다.

- 실시간으로 PNT 정보 제공이 가능하여야 함

PNT 정보에 지연이 있을 경우 실시간 동작을 요구하는 시스템의 경우 운용에 차질이 생길 수 있다.

- 정확도/가용성이 위치, 기상, 기동에 의해 영향을 받지 않으며, 연중 일정한 수준의 정보를 제공할 수 있어야 함. 4차원(x, y, x, time) 정보 제공

이러한 국가 PNT 시스템의 요구 사항에 가장 근접하는 시스템은 위성항법 시스템으로 대부분의 국가들이 위성항법 시스템과 이를 보완하는 보강항법 시스템을 PNT 전략의 핵심으로 유지하고 있다.

미국의 경우도 자국의 위성항법 시스템인 GPS를 중심으로 국가 PNT 시스템을 구축한다는 GCD (Great Common Denominator) 전략을 채택하고 있으며, GCD로써 GPS의 성능 및 신뢰도를 향상시켜 최대한 많은 수의 사용자의 요구조건을 만족시키고, 특수한 성능 조건을 필요로 하는 사용자에게는 특화 된 솔루션을 제공하는 방식으로 GCD 전략을 구사하고 있다. GPS 현대화 계획도 이러한 GCD 전략의 일환으로 볼 수 있다.

국가 PNT 시스템은 위성항법 단독으로 구성되지는 않으나 가장 핵심적인 역할을 수행하는 요소로써 PNT 정보의 전반적인 성능 향상을 위해서는 위성항법 시스템의 성능 고도화가 우선되어야 한다.

4.4. 국가 PNT 시스템의 발전 방향

PNT 시스템은 이동통신망, WiFi, Bluetooth, 센서 기반 측위 기술의 향상에 따라 비 위성항법 PNT 방식의 비중이 점점 향상되고 있는 상황이다. 특히 실내 PNT 정보의 필요

성이 높아짐에 따라 비 위성항법 PNT의 중요성은 점점 높아지고 있다. 향후 10년 이내에 서비스 될 예정인 5G는 향상된 측위 성능을 포함할 예정이며, IoT 등의 확산을 기반으로 통합 PNT 솔루션이 개발될 것으로 예상하고 있다.



그림 24 위성항법 시스템 중심의 국가 PNT 시스템 구성

이동통신망은 위성항법을 보완할 수 있는 측위 수단으로 여겨지고 있으나 아직까지 측위 성능이 낮은 관계로 보조적인 역할만을 수행하고 있다. 아래 표는 LBS 시장 동향을 나타낸 것으로 이동통신망이나 WiFi 같은 측위망의 중요성이 증가함에도 불구하고 LBS 시장에서 위성항법 시스템이 갖는 비중은 매우 큼을 알 수 있다.

표 19 대표적인 측위인프라 구축·운영비 및 매출액 합계
(‘16 국내 LBS 산업 실태조사 결과 보고서, 한국인터넷진흥원, 단위 :백만원)

구분	‘15년	‘16년 (추정)	‘17년 (예상)
위성 측위 인프라	6,802	9,570	<u>10,175</u>
이동통신망 인프라	1,940	1,940	1,820
Wi-Fi 측위 인프라	1,845	1,800	2,120
합계	10,587	13,310	14,115

차세대 이동통신망은 다양한 신기술의 적용으로 측위 정확도를 획기적으로 향상시킬 예정이다. 아직 이와 관련된 표준화가 완료되지 않았으나 10년 이내에 상용화가 가능할 것으로 예상하고 있다.¹¹⁾

국가 위성항법 시스템과 차세대 이동통신망과의 연계는 상호 필요하고, 연계 시 기대되

11) 부록 C, ‘국가 위성항법 토론회’ 참조

는 효과가 있을 것으로 예상하고 있다. 그러나 차세대 이동통신망인 5G의 경우 아직 요구사항만이 도출된 상황이고 국가 위성항법 시스템 또한 신호 설계 등이 진행되지 않은 상황이므로 즉각적인 협의를 통해 연계 방안을 도출해 내기는 어려운 상황이다.

차세대 이동통신망과 국가 위성항법 시스템의 연계를 위해 연계 분야, 시점, 방법 등을 논의하기 위한 협의체를 구성하고 기초 연구를 수행하면서 연계 방안을 도출해 내는 것이 바람직하다.¹²⁾

아래의 그림은 위성항법과 이동통신망을 복합적으로 이용한 위치 결정 개념을 나타낸 것이다. 현재 상태에서도 위성항법과 이동통신망 연계 사용이 가능하나 사용자 단위에서의 통합일 뿐 시스템적인 고려가 없어 성능 및 시스템 효율 면에서 한계가 있다. 국가 위성항법은 설계 단계에서의 고려를 통해 좀 더 효율적인 연계 방안을 추가하여야 한다.



그림 25 위성항법 / 차세대 이동통신 연계 개념

12) 부록 D, ‘차세대 이동통신 연계 방안 자문회의’ 참조

<여 백>

5. 국가 위성항법 시스템 개발 필요성



국가 PNT 시스템은 국가 운영을 위한 핵심적인 정보로서 다양한 분야에서 인프라 운용을 위해 활용된다. 국가 PNT 시스템은 다양한 구성 요소로 이루어져 사용자에게 일정한 수준의 PNT 정보를 상시 사용 가능하도록 국가가 보장해 주는 시스템이다.

위성항법 시스템은 광범위한 영역에서 불특정 다수에게 안정적인 위치 및 시각 정보를 제공할 수 있기 때문에 PNT 정보 제공을 위한 핵심 인프라로 이용되고 있다. 그러나 위성항법 시스템은 복잡한 국제 관계에서 장애가 발생할 위험이 점점 더 증가하고 있고 이에 따른 예상 피해도 급격하게 증가하고 있는 상황이므로 타국의 위성항법 시스템의 단순 사용자로서 국가 PNT 시스템의 안정성을 향상시키는 것에는 한계가 있다.

국가 위성항법 시스템의 개발은 국가 PNT 시스템의 안정성 확보를 위한 가장 기본적인 방법이다. 국가 위성항법 시스템의 설계 단계에서 장애 유발 요인들에 대해 강인한 기술이 추가 가능하며, 운영 단계에서도 국가 간의 이익에 영향 받지 않고 안정적인 서비스 제공이 가능하다. 국가 위성항법 시스템은 국가 안보와 경제 활동의 안정성을 보장해 주는 핵심적인 인프라로, 장기적인 계획을 통해 반드시 확보하여야 한다.

국가 위성항법 시스템은 국가 안보적인 측면 뿐 아니라 다양한 기능을 통해 다가오는 4차 산업혁명과 이와 관련된 자율주행차량 및 드론 분야를 가속화 시키며, 개발 과정에서 획득한 우주 기술은 우리나라 우주 산업을 향상시켜 다가올 미래에 국가 경쟁력 향상을 위한 밑거름이 될 수 있다. 이는 단순히 경제적인 이익을 넘어 우리의 후세들을 위한 소중한 국가적 자산이 될 것이다.

5.1. 안정적 국가망 운영을 통한 국민 안전 보장

국가 위성항법 시스템은 안정적인 국가망 운영을 위한 PNT 정보 제공을 위해 필수적이다. 위성항법 기반의 PNT 정보에 대한 주요 인프라의 의존성은 급격히 증가되고 있는 상황에서 국가적인 혼란과 경제적 손실을 방지하기 안정적이고 신뢰할 수 있는 PNT 정보의 제공은 국가 유지를 위해 필수적이라고 할 수 있다.

PNT 정보는 국가 인프라 등에 핵심적인 정보로 광범위하게 사용 중인 정보이다. PNT는 교통, 통신, 전력망 운용을 위한 스마트 그리드, 재난 대응 등에 활용되고 있다. 아래 표는 정부 각 부처의 PNT 정보의 활용 분야 및 국가 위성항법 시스템 개발에 따른 예상 활용 분야를 나타낸 것이다.¹³⁾

표 20 부처별 국가 위성항법 시스템 활용

부처	활용 분야/항후 주요 사업	국가 위성항법 시스템 활용
과학기술정보통신부	- 무인 이동체, 가상/증강 현실	- 유사시 PNT 정보 제공을 위한 백업 시스템 제공
국토교통부	- 보강 항법 서비스 - 지리 정보 관련 서비스 - 자율주행차 등 교통 관련 인프라 - 무인 이동체 관련 인프라	- 보강항법 위성으로 활용 (기존 SBAS를 위한 보강 항법 위성 및 항법 신호에 추가) - 유사시 PNT 정보 제공을 위한 백업 시스템 제공 - 기존 위성항법 시스템과의 혼합 사용을 통한 성능 향상 (천정부근 위성으로 정확도 향상)
산업통상자원부	- 자율주행차의 측위 단말 - 무인기의 항법 단말	- 국가 위성항법 시스템 개발 과정에서 활용하기 위한 시험용 수신기 개발 - 국가 위성항법 수신 칩 개발 및 이를 활용한 표준 항법 단말 개발
해양수산부	- 선박 위치 추적, 항행 인프라 관리 - 정밀 접안을 위한 PPP 서비스 제공 (지상과 기반)	- 유사시 PNT 정보 제공을 위한 백업 시스템 제공 - 국가 위성항법 시스템을 활용한 초고정밀 위치 정보 제공
행정안전부	- 계측 관리 시스템 (급경사지 등) - 소방 차량 관리	- 유사시 PNT 정보 제공을 위한 백업 시스템 제공
기타	- 금융 망 시각 동기, ATM 운용 등 - 디지털 통신/라디오 방송	- 유사시 PNT 정보 제공을 위한 백업 시스템 제공

현재 PNT 정보는 GPS 등의 타국 위성항법 시스템에 의존하고 있는 상황이다. 이로 인해 발생할 수 있는 문제는 아래와 같다.

13) 부록 E, '주요 부처별 위성항법 관련 현황' 참조

5.1.1. 장애에 따른 피해 발생

위성항법 시스템은 국가의 주요 인프라가 의존하고 있기 때문에 장애 발생 시 국가적인 손실을 가져오게 된다.

위성항법 시스템의 고장은 위성 탑재체, 지상 시스템 등 하드웨어의 고장이나 소프트웨어의 고장으로 발생한다. GLONASS의 경우처럼 경제난으로 인해 위성 발사가 지연되면서 서비스 장애가 발생한 경우도 있다. 최근의 고장 발생 사례로는 '16년 초에 헨 위성 오차 갱신 과정에서의 오류로 시각에 백만분의 13초 오차가 발생하여 장애가 발생한 경우가 있었다. 당시 시각 오차로 인해 장거리 통신 등에 문제가 발생할 위험이 있었으나 백업 시스템으로 동작하면서 서비스 장애까지는 발생하지 않았다. 그러나 영국의 디지털 라디오 방송이나 미국의 소방관 등이 사용하는 디지털화 된 재난 통신망의 경우 백업 시스템이 없어 장애 발생이 보고되었다.¹⁴⁾

표 21 위성항법 시스템 장애 사례

장애 발생원인	장애 사례	영향
시스템 고장	- ('16) GPS 위성의 시각 오차 증가 (백만분의 13초)	- 미국과 캐나다의 경찰, 소방, 응급 구조 관련 무선 통신 마비 - 영국 BBC의 디지털 라디오 채널이 이틀간 마비 - 전력망에서의 이상 발생 - 장거리 통신은 단기 백업 시스템으로 전환

위성항법 시스템의 장애 발생 시 위치 정보를 이용하는 교통 분야는 물론 정확한 시각 동기를 필요로 하는 통신 및 금융 분야에서 막대한 피해가 예상된다. 아래는 분야별 예상 피해를 나타낸 것이다.

표 22 위성항법 시스템 장애에 따른 예상 피해
(Department of Homeland Security, U.S.)

분야	예상 피해
교통 (Transportation)	- 항공, 철도, 물류 등, 정해진 시간에 정해진 경로로 이동하는 교통수단에 큰 피해 발생. 위험물 이동·관리 불가
통신 (Communications)	- 시각동기를 요구하는 통신망 사용 불가 - 응급구난 분야의 신속 대응 불가 - 공공재화(전기, 수도 등) 및 다양한 서비스(소액결제 등)에 대한 이용요금의 과금/집금 서비스 불가
뱅킹 (Banking)	- 주식, 인터넷 뱅킹 등이 불가. 거래 기록과 보안·인증 곤란
전력망 (Power Grids)	- 효율적 전력분배/관리 곤란. 안전하고 경제적 전력공급 불가

14) Ari Mujunen, GPS Time Disruptions on 26-Jan-2016, Aalto University, School of Electrical Engineering, Metsahovi Radio Observatory, '16

5.1.2. 국가 간 이해관계 충돌 시 악용 가능성

위성항법 시스템 서비스는 상대국의 이해관계가 충돌하지 않을 경우 안정적으로 제공 받을 수 있다. 그러나 변화하는 국제관계 속에서 오늘의 우방이 내일의 적이 되는 경우가 빈번하게 발생하고 있다. 만약 위성항법 운영국과의 이해관계가 충돌하는 경우 해당 국가는 위성항법 시스템을 자국의 이익을 관철시키기 위한 무기로 사용할 수 있다. 아래의 표는 이해관계가 상충된 국가 사이에서 주요 인프라를 협상 카드로 이용한 경우이다.

표 23 주요 인프라 종속 관련 사례

사례	영향
러시아 가스관 차단	러시아 가스관에 대한 유럽의 전적인 의존에 의해 주요 분쟁 때마다 러시아 측 협상 카드로 활용 · ‘15 러시아 전투기 격추 사건 : 흑해를 통과하는 1,100km 가스관 건설 중단 위협 · ‘06, ‘09년 우크라이나 : 3차례 가스 공급 차단

러시아-유럽 간 가스관과 송유관의 경우 유럽과의 정치적인 이슈가 충돌할 때마다 압력을 가하기 위한 수단으로 사용되고 있으며, 실제로 차단한 경우도 있다. 이러한 사례는 위성항법과 직접적인 연관 관계는 없으나 국가 간 이익을 위해서는 수단과 방법을 가리지 않는다는 점에서 위성항법 시스템도 예외라고는 할 수 없다. 아래는 위성항법 시스템의 장애가 발생하였을 경우 경제 활동에 미치는 영향을 추정한 것이다.

(‘15년 기준)

- 한국 GDP : 1조3779억 달러
- 한국 GDP의 6%* = 827억 달러
- 일주일 지속 시 15.9억 달러 (1조9천억원) 규모의 경제 활동에 영향**
 - * : GDP에 대한 위성항법 기여율 (Galileo 경제성 분석 자료에 근거¹⁵⁾)
 - ** : 국가 위성항법 시스템 개발 예상 비용 약 2조3,000억

국가 위성항법 시스템은 이러한 장애 발생에 대비하여 최소한의 백업 시스템을 제공함으로써 국가적으로 발생할 수 있는 사회경제적인 손실을 최소화 할 수 있다. 그러므로 국가 위성항법 시스템의 개발은 시급하다고 할 수 있다.

15) Galileo, Europe's GPS, opens up business opportunities and makes life easier for citizens, Memo, European Commission, '13

5.2. 4차 산업혁명 시대 PNT 기반 부가가치 극대화

5.2.1. 4차 산업혁명 이행을 위한 핵심 인프라

4차 산업혁명은 인공지능 기술과 데이터 활용 기술(ICBM, IoT, Cloud, Big data, Mobile)로 대표되는 지능정보 기술을 바탕으로 기계가 진입하지 못했던 분야에서 생산성을 향상시키고 산업 구조의 대대적 변화를 촉발하는 혁명적 변화이다. 지능정보 기술은 범용기술¹⁶⁾로 사회 전반에 혁신을 유발하고 광범위한 사회 경제적 파급력을 갖는다.



그림 26 지능정보 기술과 타 산업기술의 융합 예

(제4차 산업혁명에 대응한 지능정보사회 중장기 종합대책, (舊)미래창조과학부, 16.12.)

4차 산업혁명으로 이행을 위해서는 PNT 정보의 고도화가 필요하다. 지능정보 서비스를 위한 ‘4대 데이터 (검색, 위치, 구매, SNS 정보)’¹⁷⁾ 중 위치 정보는 사람/사물의 생각과 행동을 판단하기 위한 핵심 정보이다. 이와 함께 PNT 정보는 무인이동체 기반의 미래형 교통·유통도시 구현을 위한 핵심적인 정보이다. 자율주행차는 ‘9대 국가전략 프로젝트 (‘16.8)’중 하나로 국내와 주요 상용차 메이커는 ‘20~‘30년대 상용화를 계획하고 있다. ‘무인이동체 기술개발 및 산업성장 전략’¹⁸⁾에서는 자율주행차 항법을 위한 위성항법 성능 부족을 인지하고 있으며, 이를 위한 발전 계획을 수립하였다.

PNT 정보의 고도화를 위해 국가 위성항법 시스템은 필수적인 요소로써, 일차적으로 안정적인 PNT 정보를 제공하는데 기여할 수 있다. 더욱이 위성항법 시스템은 단순 위치 정보만을 제공하는 것이 아니라 사용자에게 따른 보강항법 서비스, 메시지 서비스 등을 포함할 수 있다. 외국의 시스템 사용 시 이러한 서비스의 추가 및 조정이 불가능하고 국가

16) 범용기술 : △다른 분야로 급속히 확산되고 △지속적 개선이 가능하며 △혁신을 유발하여 경제사회에 큰 파급효과를 미치는 기술을 의미 (예 : 증기기관, 전기 등)

17) 제4차 산업혁명에 대응한 지능정보사회 중장기 종합대책, (舊)미래창조과학부, 16.12.

18) 부록 F, ‘무인이동체 기술 개발 및 산업성장 전략’ 참조

위성항법 시스템 보유 시에만 이러한 서비스의 제공 및 조정이 가능하다.

국가 위성항법 시스템은 위성항법 서비스의 신뢰성을 향상시키고 고도화된 서비스를 추가하여 PNT 정보를 비약적으로 향상시킬 수 있으며, 이를 통하여 무인이동체에 안정적인 PNT 정보를 제공하여 활용 분야를 극대화 할 수 있을 것으로 예상된다. 아래의 표는 4차 산업혁명 핵심 요소 기술에서 활용되는 PNT 기술을 나타낸 것이다.

표 24 4차 산업혁명 핵심 요소 기술과 PNT 정보 활용 예

요 소	내 용	핵심키워드	적용 예
사물인터넷 (IoT)	- 인간의 개입 없이 사물 간 데이터 교환, 분석, 자동화	PN	- 공공 대여용 자전거에 PNT 기능(위성항법 수신기) 및 인터넷 접속 기능이 포함된 IoT 단말 장착 (IoT : Internet of Thing) - 공공 대여용 자전거의 <u>위치 및 상태 정보를 인터넷으로 전송</u>하여 관리 
자율주행, 드론	- 적응성과 유연성 확대	PNT	- 자율 주행 차량/드론의 경로 추적·생성 및 유도를 위해 사용 - 타 차량과의 <u>대열 주행을 위한 시각 동기</u> (대열 주행 : 교통량 증가를 위하여 자율주행차량의 간격을 최소화하는 주행 방식) 
AR, VR	- 증강 및 가상 현실	PNT	- 가상현실 사용자 간의 상호 작용 시 <u>사용자간 위치 파악 및 영상 동기화</u>를 위한 시각 동기 (예 : 가상 물체 교환 등)
빅 데이터	- 패턴 분석 및 예측	PNT	- 공공 대여 자전거에 설치된 IoT 디바이스로 사용자 빅데이터 수집 (위치, 이동 경로, 사용 시간 등) - 이를 분석하여 향후 공공 대여용 자전거 <u>투입 수량 및 대여 시설 확장 계획 수립</u>
고속데이터 통신	- 5G 또는 이상의 고속 데이터	T	- 디지털 통신/라디오 방송 등을 위한 시각 동기

5.2.2. 국가 위성항법 시스템 개발에 따른 경제성 분석

국가 위성항법 시스템 개발은 국가 주요 인프라의 안정성 향상에 기여할 뿐 아니라 여러 산업 분야에서 경제적 편익을 발생시킬 수 있다. 국가 위성항법 시스템은 LBS, 도로, 측량, 농업, 선박, 철도 분야에서 편익을 발생시킬 수 있을 것으로 예상된다.¹⁹⁾

개발 시나리오에 따라 개발 비용은 차이가 있을 수 있으나 약 2조 3,000억 원을 기준으로 편익 분석을 수행하였을 때 중립적인 조건을 기준으로 약 1.5의 B/C를 얻을 수 있음을 확인하였다.

국가 위성항법 시스템은 기존 인프라의 안정성 확보 뿐 아니라 산업 분야의 확대에도 기여할 수 있다. 국가 위성항법 시스템은 개발과 유지 관리 과정에서 다수의 위성 제작 및 구성품 제작이 필요하며, 이를 통해 국내 위성 제작 업체와 부품 생산 업체를 양상하고 우주 산업 발달을 촉진할 수 있다. 이러한 우주 산업 기반을 활용하여 해외 신규 위성 시장을 개척하고 부품 시장에서의 점유율을 높이면 국가 성장을 위한 새로운 동력으로 자리매김 할 수 있을 것이다.

국가 위성항법 시스템과 관련된 단말기 시장도 시간이 지남에 따라 점차적으로 교체가 될 것이므로 국내 업체의 안정적인 캐시 카우 역할을 할 수 있다. 이러한 기반을 통해 호환 다양한 위성항법 시스템의 호환 단말기 시장에 도전해 볼 수 있는 기회를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

국가 위성항법 시스템은 개발과 유지관리, 그리고 이에 따른 새로운 시장 확대로 약 3 조원의 경제적 파급효과와 18,000여명의 일자리 창출 효과를 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

5.2.3. 우주 산업의 원동력

우주개발은 천문학적인 비용의 투입과 함께 장시간에 걸쳐 진행되는 국가적인 사업이다. 이러한 우주 개발 사업을 진행하기 위해서는 국민적인 공감대 형성이 필수적이다. 그러나 우주 개발 사업을 통한 국민 생활의 변화가 실감되지 않는 상황에서 이러한 국민적 공감대를 형성하기는 용이하지 않다.

국가 위성항법 시스템은 기존의 우주 개발 사업과는 달리 개발과 동시에 대부분의 국민을 대상으로 서비스를 제공할 수 있고 향상된 위성항법 서비스를 경험할 수 있기 때문에 우주 개발의 결실을 실감할 수 있는 사업이다. 이를 통해 우주 개발을 위한 국민적 공감대를 형성할 수 있고, 위성항법 시스템을 직접 개발하고 보유한 ‘항법 선진국’의 대열에 들어섰다는 자긍심을 얻을 수 있을 것이다.

우주 개발은 다양한 기술의 결합체로 소수의 핵심 기술뿐 아니라 다양한 분야의 산업 역량을 보유하고 있어야 추진 가능한 사업이다. 지금까지의 국내 우주 개발은 핵심 기술의 미비는 물론 이를 뒷받침 해 주어야 하는 산업체의 역량이 따르지 못해 한계에 부딪혀 왔으며, 이를 국제 협력을 통해 해결해 왔다. 그러나 우주 개발사업의 고도화에 따라

19) 자세한 경제성 분석 방법 및 결과는 경제성 분석 항목에서 언급

더 이상 국제간 협력이 어려운 분야가 종종 발생하고 있으며, 더욱이 그 규모나 기간에 있어서도 차이가 있기 때문에 국가적인 역량 향상 없이는 진행되기 어렵다.

위성항법 시스템은 그 규모 면에서 소수의 위성 발사나 발사체의 발사로 종료되는 기존의 우주 개발 사업과 달리 개발 단계에서 많은 수의 위성 발사가 필요하며, 개발 완료 이후에도 일정한 주기로 유지 보수를 위한 위성 발사가 필요하다. 이 때문에 개발 단계에서는 물론 이후 유지 보수 단계에서 산업체의 기반 없이는 추진이 어려운 상황이다.

국가 위성항법 시스템의 개발은 개발 단계 및 유지 보수 상황에서 국내 산업체의 참여를 필요로 한다. 이를 통해 우주 개발 관련 부품 산업 및 인공위성 제작 등의 산업 기반을 확보 할 수 있을 것으로 예상되며, 향후 이를 바탕으로 세계 시장에 진출하여 우리 산업의 경쟁력 향상에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

5.3. 정책적 필요성

정부는 국가 위성항법 시스템의 필요성을 인지하고 이를 위한 개발 계획을 수립해 놓고 있다. 기 수립된 국가 단위의 장기 계획은 아래와 같다.

5.3.1. 국가 위성항법 종합 발전 기본 계획 ('05~)

유비쿼터스 사회의 도래에 따라 항법, 측지, 긴급구조, 정보 통신 등 위성항법 시스템의 활용 영역 및 의존도가 증대되고 사회 전반의 기간 활동을 지원하고 개인의 편익을 증진하는 주요 인프라로서 위성항법 시스템의 중요성이 부각되고 있다. 이에 따라 EU, 일본 중국 등 주요 국가는 독자적인 위성항법 시스템 개발을 주요 내용으로 하는 국가적 차원의 위성항법 발전 방향을 수립·추진하고 있다.

우리나라에서도 세계 위성항법 기술 및 시장의 선도국가 도약을 목표로 위성항법 개발 기반을 조성하고 산업 발전을 도모하기 위한 '국가 위성항법 종합발전 기본 계획'을 수립하여 추진하였다. ('16)

국가 위성항법 종합 발전 계획의 세부 추진 내용은 다음과 같다.

- 위성항법 대응 체제 개발 : 국가 위성항법 전담위원회 및 전담 부서를 구성 및 운영
- 위성항법시스템 개발 기반 조성 : 위성항법 시스템 핵심기반기술 개발 및 항법기능 정지궤도 복합위성 발사
- 보강시스템 인프라 고도화 : Galileo, 항법용 보정정보 공유체계 개발 및 활용분야 확대
- 위성항법 기술 개발 추진 : 위성항법 인프라 및 이용 기술 개발 및 추진 체계 정비
- 위성항법 전문인력 양성 : 위성항법 고급인력 양성 지원 및 교육 홍보 센터 운영
- 위성항법 국제협력 활성화 : Galileo 프로젝트 참여 및 한-미, 한-일 위성항법 협력 체계 개발

본 계획은 독자적인 위성항법 시스템 개발을 위해 위성항법 시스템 개발 기반 조성 및 관련 인력, 기술 및 이를 위한 국제 협력을 언급하고 있어 국가 위성항법 개발 계획에 일치한다고 볼 수 있다.

본 계획은 계획 수립 이후의 기술적 수준 향상과 국제 환경 변화를 고려하여 '17년 이후 수정·보완될 계획이다.

5.3.2. 우주개발 중장기 계획 ('13~)

과거 우리나라의 우주 개발 계획은 선진국의 기술을 추적하는 방식으로 우주 사업을 추진하였다. 그러나 각종 위성 발사, 나로호 등의 발사체 개발 성공에도 불구하고 기술 격차를 줄이지 못하고 있다. 이러한 문제를 극복하기 위해 패러다임 전환과 우주 개발에 대한 국민적 기대, 그리고 국내외 환경변화를 반영 및 우주산업 육성을 위한 우주개발 전략의 필요성이 대두 되었다.

이러한 필요성에 의해 독자적 우주개발 능력 강화를 통한 국가 위상 제고 및 국가 경제 발전에 기여하기 위한 ‘우주개발중장기 계획’이 수립되었다. (‘13)

우주개발 중장기 계획의 세부 추진 내용은 다음과 같다.

- 독자 우주개발 추진을 위한 자력 발사능력 확보 : 한국형 발사체 발사, 중궤도 및 정지궤도 발사체 개발, 다양한 발사임무 수행을 위한 발사장 개발
- 국가 위성수요를 고려한 인공위성 독자 개발 : 저궤도위성 개발, 중궤도 및 정지궤도 위성 개발
- 국민 삶의 질 향상을 위한 ‘다가가는 위성정보’ 활용 시스템 개발 : 수요자 중심의 위성정보 활용 서비스 강화, 국가 위성정보 활용·지원 시스템 및 인프라 개발
- 미래 우주활동 영역 확보를 위한 우주탐사 전개 : 무인 달 탐사를 통한 우주탐사 실현, 국제협력기반의 심우주 탐사 추진, 창의적 우주과학 연구 강화, 우주위협 대응 우주감시 시스템 개발
- 지속 가능한 우주개발을 위한 우주산업 역량 강화 : 산업체 역할 확대 및 경쟁력 강화, 산학연 역량 결집을 통한 수출 활성화, 우주기술 융·복합 활성화
- 우주개발 활성화 및 선진화를 위한 기반확충 : 우주 원천·핵심기술 강화 및 미래 기반기술 개발, 우주개발 인력양성 및 우주문화 확산, 우주개발 국제협력 강화

국가 위성항법 시스템과 관련하여 위성항법 보강항법 시스템 구축을 비롯하여 정지궤도와 경사궤도 위성으로 구성된 독자적인 위성항법 시스템 구축을 계획하고 있다. 아래 그림은 주요 계획을 나타낸 것이다.



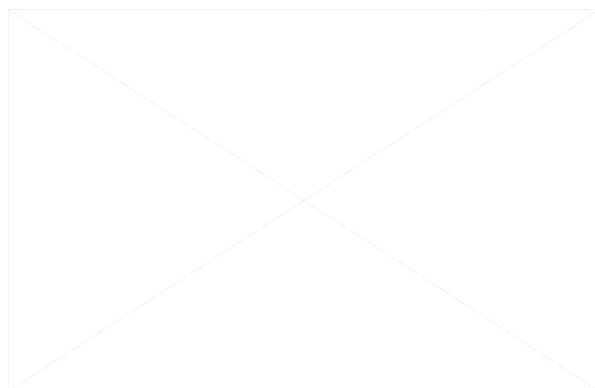
그림 27 위성항법 시스템 구축 계획

(우주개발 중장기 계획 - 제2차 우주개발진흥 기본계획 수정)

5.4. 주파수 확보 시급성

위성 궤도는 지구 공동의 자원으로 그 사용에 있어서 국제간의 동의가 있어야 한다. 특히 정지궤도는 그 수가 한정되어 있어 국가 간 확보를 위한 경쟁이 치열하다. 궤도는 단순히 위성이 배치되는 물리적인 공간뿐 아니라 해당 위성이 사용하는 주파수에 의해서도 영향을 받게 된다. 위성궤도와 주파수는 절대적으로 선점하고 있는 위성이 우선권을 갖고 있으며, 후발 주자가 궤도를 사용하기 위해서는 인접 위성들과의 상호 운용성이 확보되어야 한다는 전제가 있다.

특히 항법을 위한 주파수 대역은 세계 각국의 경쟁적인 위성항법 시스템 개발로 인해 최근 7년 동안 대략 6배 정도의 증가세를 보이고 있다²⁰⁾. 이러한 경향으로 볼 때 조속히 궤도주파수 확보 작업이 필요하다. 아래의 표는 ‘10년과 ‘17년의 위성망 등록 개수를 비교한 것이다. 항법 대역 주파수의 경우 최대 6.6배까지 증가하고 있음을 확인할 수 있다. (L6 대역의 경우)



주파수 대역	주파수 등록 건 수		증가 비율
	‘10년	‘17년	
L5	14	83	5.9배
L2	26	82	3.2배
L6	9	59	6.6배
L1	41	231	5.6배
S	17	106	6.2배

그림 28 항법 주파수 대역의 등록 건수 증가

아래 그림은 각국의 위성항법 시스템 개발 현황과 주파수 신청 및 등록 개수를 나타낸 것으로 위성항법 시스템 개수가 늘어나는 ‘00년대 초반과 ‘12년에 등록 신청 위성망 개수가 급격히 늘어나고 있음을 확인할 수 있다. ‘00년대 초반에는 EU, 중국 등에서 위성항법 시스템 개발을 개시하여 급격한 신청 건수 증가가 있고, ‘12년에는 S 대역의 추가 지정으로 인해 급격한 신청 건수 증가가 있음을 볼 수 있다. 그러나 이러한 신청 건수 증가에도 불구하고 등록 건수는 낮은 수준을 유지하고 있어 주파수 확보를 위한 경쟁이 점점 더 심화되고 있음을 확인할 수 있다.

20) http://www.itu.int/snl/freqtab_snl.html



그림 29 위성항법 시스템 개발 현황과 항법 관련 위성 주파수 등록 현황

6. 국가 위성항법 시스템 개발 전략

6.1. 개발 환경 분석

○ 내·외적 요인 분석

위성항법 시스템은 제한된 궤도주파수 자원을 활용하여 개발되기 때문에 우리나라 내부의 사정뿐 아니라 국제 환경에 영향을 받게 된다. 국가 위성항법 시스템 개발을 위해서는 이러한 국제 환경을 고려하여 개발방식에 적합한 개발 전략을 구사하여야 한다.

다음 표는 우리나라 내부적인 강점과 약점, 그리고 외부적인 기회 요인과 위기 요인을 정리한 것이다.



그림 30 내·외적 요인 분석

6.2. 개발 전략

○ 공통 전략

－ 범부처 위성항법 대응 조직 구성 (WO 전략)

국가 위성항법 시스템은 막대한 비용과 기간이 투입되는 국가적인 사업이다. 국가 위성항법 시스템 개발을 위해서는 아래와 같은 부처 간 협력이 필요하다.

- 각 부처별 응용 분야 적용을 위한 서비스 조정
- 궤도·주파수 확보와 기술 확보를 위한 국제 협력
- 항법 위성 활용 (복합 위성 구성)을 위한 탑재체 추가 등의 협력

국가 위성항법 시스템 개발 과정에서 발생할 수 있는 이러한 부처간 조정 과정에 효율적으로 대응하기 위해, 다양한 부처의 의견을 수렴하고 일관된 사업 추진을 수행할 수 있는 범부처 조직이 필수적이다.

‘우주개발 진흥법’에서는 국가우주위원회의 조직을 명시하고 있으나 상설 조직은 (舊)미래창조과학부 산하의 위성항법기획팀이 유일하다. 국가 위성항법 시스템 개발 사업의 추진을 위해서는 이러한 조직을 확대·격상하고 전문적인 인력을 상시 배치하여 안정적인 정책 추진과 장기적인 계획 수립을 전담하여야 한다. 아래 표는 타국의 위성항법 관련 전담 조직 구성 현황을 정리한 것이다.²¹⁾

표 25 부처 간 통합 대응 체제 구성 예

국가	부처 간 통합 대응 체제
미국	－ ‘04.12월 8일, ‘우주기반 PNT 상설 운영 위원회’ 설립 － 국무부(Department of State), 상무부(Commerce), 국토안보부(Homeland Security), 합동참모본부(Joint Chiefs of Staff), 항공우주국(NASA) 등 참여
일본	－ ‘96.12월, ‘성청(省·廳) 연락회’ 설립 － 우정성(우주통신 조사실), 경찰청(통신시설과), 과학기술청(우주정책과), 국토청(국토조사과), 외무성(국제과학 협력실), 통산산업성(항공무기 우주산업과), 운수성(기술안전과), 해상보안청, 건설성(기술조사실), 국토지리원(측지부) 등

아래 그림과 표는 국가 위성항법 시스템 개발 추진 체계와 범부처 대응 조직과 각 부처의 업무를 나타낸 것이다.

21) 부록 G, ‘해외 위성항법 운영 기관’ 참조



그림 31 국가 위성항법 시스템 개발 추진 체계

(‘국내 위성항법시스템 인프라 구축 및 이용 활성화 방안 연구’ 참조 및 수정, GNSS 기술협의회, ’05)

표 26 위성항법 관련 전담 대응 조직의 업무 (안)

담당 업무	세부 업무	상세 업무
위성항법 정책수립	관련 법 및 정책 마련	위성항법 종합발전 기본계획 정비
		지원 제도 및 관련 법 제정
	범부처 위원회 설립	운영위원회 및 실무위원회 설립·운영
		부처별 역할 정의 및 조정, 정책 심의
위성항법 시스템 개발·운 영	위성항법시스템 개발	위성항법시스템 개발계획 수립
		예산 편성/확보 및 지원
		사업 관리 및 개발기관 감독
	위성항법시스템 운영	시스템 관리운영 규정 제정
위성항법 대외협력	해외공동개발을 위한 국제협력	운영기관 지정 및 감독
		제도/주과수 확보를 위한 국제협력/활동
		해외공동개발을 위한 국제협력/활동
		해외 협력국과의 MOU, 공동성명, 정보교류
	국제기구 활동	해외공동개발을 위한 Technical Working Group 구성
		해외공동개발 체계구축 (탐재체개발 및 관제국 공동 설치/운영 등)
위성항법 활용	관련 지원정책 마련	국제기구 참여/홍보/교류 (ICG, ITU 등)
	작업반 구성 및 활동	다자간 국제협력 네트워크 구축
핵심인력 양성	인력양성 프로그램	위성항법 활용을 위한 지원 정책 및 제도 마련
	연구지원 및 교류	활용분야별 사업 모델 개발 작업반 구성 및 예산 지원
		대학 위성항법 연구센터 설립지원
		산·학·연 기술교류 프로그램 운영

또한 부처의 특성에 따른 업무 분담을 통해 효율적인 시스템 개발이 필요하다. 아래의 표는 부처별 담당 업무는 나타낸 것이다.

표 27 부처별 담당 업무 (안)

주무부처	담당 업무	세부 내용
과학기술정보통신부	위성체 개발	항법위성 위성체(버스) 개발
	항법탑재체 개발	신호생성기, 원자시계, 안테나 등 개발
	지상국	위성항법 임무제어국, 위성관제국, 시각제어국, 궤도결정국, 상향국, 네트워크 제어국 등 개발 (지상감시국 제외)
국토교통부	SBAS 탑재체 개발	SBAS용 탑재체 개발
	미터급 보강서비스	미터급 보강정보 생성 및 제공
해양수산부	감시국 개발	국내외 지상감시국 개발
	서브미터급 보강서비스	서브미터급 보강정보 생성 및 제공
산업통상자원부	수신 단말기 개발	L밴드, S밴드, 보강정보 수신 단말기 개발
	응용 SW 개발	응용 분야별 SW, 펌웨어 개발
행정안전부	재난 대응 서비스 개발	재난 대응용 탑재체 및 지상 시스템 개발
과학기술정보통신부 외교부	국제 협력	위성항법 관련 국제협력 지원
기타	활용 분야 개발	활용 분야별 사업모델 개발

- 유관 사업 추진 및 지속적 학계 지원을 통한 기술/인력 확보 (WO 전략)

이런 정부 차원의 대응과 별도로 국가 위성항법 개발을 위한 기반 기술 및 인력이 확보되어야 한다. 국가 위성항법 시스템 개발에 앞서 진행되고 있는 유관 사업을 통해 핵심 기술 및 필요 인력을 확보할 수 있도록 국가 차원의 장기 계획이 추진되어야 한다. 또한 지속적인 학계 지원을 통해 안정적인 개발 인력 확보에 주력하여야 한다.

다음은 '25까지의 인력 수요를 예측한 것이다. (단, 시장 확대에 따라 인력 수요도 비례하여 증가한다고 가정)



그림 32 위성항법 관련 국내 인력 수요 예측

위의 그림에서 볼 수 있듯이 최근 국내 위성항법 인력 수요가 연간 50%에 달하는 성장

률로 증가해 왔다. 향후 위성항법 관련 시장은 단말기 시장의 포화에도 불구하고 서비스 시장이 확대되어 ‘20년까지 연간 20%의 성장을 지속하다가 이후 ‘25년까지 9.6%의 성장이 예측되고 있다.

다음 표는 이러한 필요 인력 증가에 따른 인력 양성 및 지원 방안을 나타낸 것이다.

표 28 인력 양성 방안

구분	활동
위성항법 고급인력 양성 지원	- 산·학·연 수요를 반영하여 위성항법 관련 교과목 개발 - 위성항법 전공 Lab 지원, 연구센터 설립 지원 등을 통하여 위성항법 전문 대학인력양성을 적극 지원
위성항법 교육홍보센터 운영	- 위성항법 관련 기업·연구소 인력 교육 - 위성항법 시장 및 저변 확대를 위한 홍보 강화

- 사용자 그룹 확보 (SO 전략)

국가 위성항법 시스템의 개발 당위성을 확보하기 위해서는 해당 시스템의 사용자 그룹 확보되어야 한다. 이를 위해 기존 사용자 확보를 위한 L 대역 신호 확보 및 신규 사용자 확보를 위한 서비스 다양화가 필요하다.

기존의 위성항법 시스템이 L 대역에 집중되어 있기 때문에 단말기들은 모두 L 대역 신호를 받을 수 있도록 설계되어 있다. 만약 국가 위성항법 시스템이 L 대역을 사용한다면 기존 수신 단말에 소프트웨어 변경이나, 혹은 최악의 경우 최소한의 하드웨어 수정만으로 국가 위성항법 서비스를 이용할 수 있게 된다. 만약 L 대역 이외의 신호를 사용하는 경우 사용자 하드웨어가 큰 폭으로 수정되어야 하기 때문에 신규 사용자 확보가 어렵게 된다.

사용자가 소프트웨어나 하드웨어 수정을 감내하면서도 사용할 가치가 있는 차별화된 서비스를 제공한다면 신규 사용자 그룹의 확보가 가능하다. 특히 근 미래에 국가 위성항법 시스템이 가장 폭넓게 사용되리라 예상되는 분야는 자율 주행차, 드론 등 무인 이동체 분야이다. 국가 위성항법 시스템은 이러한 응용 분야를 위해 안정적인 PNT 정보를 제공한다는 가장 기본적인 역할을 수행하며, 이와 함께 추가적인 서비스를 제공할 수 있다. 이러한 서비스를 제공함으로써 타 위성항법 시스템과 차별화된 서비스를 추진한다면 국가 위성항법 시스템의 효용성은 더욱 증가할 것이다.

○ 공동 개발 전략 (ST 전략)

공동 개발 시 기존 위성항법 사용자에게 더하여 새로운 위성항법 사용자 그룹이 발생하기 때문에 당위성 확보에 유리하다. 더욱이 모든 기술을 새로 개발하지 않고 기존 위성항법 시스템의 기술을 일부 차용할 수 있으므로 비용적인 면은 물론 개발 과정에서의 기술적인 위험성을 최소화 할 수 있다. 또한 공동 개발을 통해 개발과정에서 필수적으로 해결해야 하는 주파수 문제의 해결에 레버리지가 될 수 있다.

협력 대상 위성항법 시스템의 협력은 시스템 공유의 차원의 협력이 진행될 경우 양국가 간 지상국 등 공유를 통해 시스템 유지비용을 감소시킬 수 있으며, 전체적인 위성항법

시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.²²⁾

○ 단독 개발 전략 (SO 전략)

타국과의 협력 개발은 궤도·주파수 확보 난이도를 낮출 수 있으며 기술 확보가 상대적으로 용이하다. 그러나 특정 국가에 대한 주요 인프라의 종속성을 완전히 제거할 수 없다는 한계를 가지고 있다.

단독 개발 방식은 완벽히 독립된 인프라로 자체적으로 시스템 개발 및 운용을 할 수 있다는 장점은 있으나 기술 확보가 어렵고 궤도주파수 확보 과정에서 어려움이 있을 것으로 예상된다.

22) 공동/단독 개발 전략은 '8. 국가 위성항법 시스템 구축 시나리오 도출'에서 언급

7. 국가 위성항법 시스템 주파수 확보 전략

국가 위성항법 시스템 개발을 위해 가정 선행되어야 할 사항은 항법 위성을 위한 주파수 확보이다. 현재 위성항법을 위한 주파수는 ITU에서 할당되어 사용되고 있으나 앞서 위성항법 시스템을 개발한 국가들이 대부분을 선점하고 있는 관계로 후발 주자들이 사용할 자원이 부족한 상황이다.

위성 궤도·주파수의 확보 작업은 우리나라에서 앞서 개발한 다양한 위성의 개발 과정에서 경험해 보았으나 위성항법 시스템의 경우는 각 국가 간 이해관계가 첨예하게 얽혀있는 사항으로 확보 과정에서의 어려움이 예상된다.

궤도·주파수 확보는 국가 위성항법 시스템의 개발뿐 아니라 앞으로의 우주 개발에 있어서 필수적인 자원으로 다수의 국가가 경쟁적으로 확보를 위한 노력을 기울이고 있다. 우리나라도 기술적인 접근 뿐 아니라 국가 외교적 총 역량을 투입하여 확보에 나서야 한다.



그림 33 국가 위성항법 시스템 궤도주파수 확보 전략

7.1. ITU-R 전파규칙(Radio Regulation) 분석

무선 통신 및 방송에 대한 주파수 규약을 관장하는 기구는 국제전기통신연합(ITU, International Telecommunication Union) 산하 무선통신섹터 (ITU-R)이다. ITU-R은 국가 간의 유해한 전파간섭을 방지하기 위하여 효율적인 주파수 스펙트럼 분배 및 할당 주파수 등록, 정지위성궤도의 위치 등록, 국가 간의 유해한 전파간섭 방지를 위한 조정, 주파수 이용 개선 및 정지위성 궤도 이용개선에 따른 국가 간 분쟁조정 등의 임무를 수행한다. 산하 세계전파통신회의 (WRC, World Radiocommunication Conference)에서는 국제적으로 준수해야 할 주파수 대역과 위성궤도의 분배 및 이용방법, 무선국 운용, 기술기준 등과 관련된 규제 및 절차를 규정하는 전파규칙 (RR, Radio Regulation)을 제정 또는 개정하는 ITU 전파통신부문 회의로 전파통신부문의 최고 의사결정기구로 위치한다. 산하 전파통신총회에는 다수의 작업반 (SG, Study Group)이 존재하며 방송, 고정위성, 과학, 스펙트럼 관리, 무선이동통신, 레이더/위성 등의 주파수 관련 연구를 수행하고 있으며 WP8D에서 이동위성 및 위성무선측위 서비스에 대한 주파수 제정, 관리 등에 관한 기초 연구를 수행하고 있다.

WRC에서 규정된 위성기반 전파항법 서비스(RNSS, Radionavigation Satellite Service) 관련 주파수 대역은 WRC 2003, WRC 2007 및 WRC 2013을 거쳐 L 대역 및 C 대역에 대한 주파수 정의 및 지역별 분배 규정 확립을 수립했을 뿐 아니라 다양한 전파 자원에 대한 규제 측면에서 전파 송출량에 대한 제한 규정을 두게 된다.

앞서 제시된 위성기반 전파항법 서비스의 주파수 계획에 따라 항법신호에 대한 특성 기술, 신호 보호 기준과 신호 간섭 평가 방법을 포함한 다수의 기술 문서 및 권고들이 채택되었다. 대표적인 항법 신호 관련 ITU-R M. 계열 권고들로서 Rec. ITU-R M. 1902~1906, M. 1787, M. 2031 등이 있다.

표 29 위성기반 전파항법 서비스(RNSS) 신호특성 및 보호기준 관련 ITU-R 권고

Rec. ITU-R	Band (MHz)	Types of stations	Contents
M.1905	1164-1215	User receiver	RNSS user receiver characteristics in 1 164-1 215 MHz band and their protection criteria
M.1902	1215-1300	User receiver	RNSS user receiver characteristics in 1 215-1 300 MHz band and their protection criteria
M.1903	1559-1610	User receiver	RNSS user receiver characteristics in 1 559-1 610 MHz band and their protection criteria
M.1906	5000-5010	Satellite receiver	RNSS satellite receiver characteristics in 5 000-5 010 MHz band and their protection criteria
M.1904	1164-1215 1215-1300 1559-1610	Space-born user receiver	Technical characteristics of space-to-space receivers of existing and planned RNSS systems in 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz and 1 559-1 610 MHz and their protection criteria
M.1787	1164-1215 1215-1300 1559-1610	Satellite transmitter	Characteristics of RNSS transmitted navigation signals in the bands 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz and 1 559-1 610 MHz
M.2031	5010-5030	User receiver /Satellite transmitter	RNSS user receiver/space transmitter characteristics in 5010-5030 MHz band and their protection criteria

7.2. 위성항법용 주파수 분배 동향

WRC-2000 이전에 위성항법 시스템은 미국의 GPS와 러시아의 GLONASS만 있었으며, 주파수는 L1 대역(1559~1610MHz)과 L2 대역(1215~1260MHz)이 분배되어 있었다. WRC-2000 이후에 유럽의 GALILEO 시스템 개발이 이루어짐에 따라 L5/E5 대역(1164~1215MHz), E6 대역(1260~1300MHz), C 대역(5010~5030MHz)이 위성항법용으로 추가 분배되었다.

WRC-12에서 S 대역(2483.5~2500MHz)이 추가로 전세계적으로 분배되었다. 따라서 현재 위성항법 용도로 분배된 주파수는 다음 그림과 같다.



그림 34 위성항법용 주파수 할당

위성항법용 주파수 대역별 업무는 다음 그림이 같이 요약할 수 있다. 그림에서 확인할 수 있듯이 L5/E5 대역과 L1 대역은 ARNS(항행항법) 및 RNSS(위성항법) 용도로만 할당되어 있으며, L2, Extended L2(E6/B3/LEX) 대역, S 대역은 비위성항법 업무를 보조(Secondary) 업무로 허용하고 있다.



그림 35 위성항법용 주파수 대역별 업무

위성항법용으로 사용되고 있는 주파수 대역과 사용국은 아래 표와 같다.

표 30 위성항법용 주파수와 사용 국가

대역	주파수 범위 / 폭	사용 국가
L 대역	1151~1215MHz / 64MHz	미국, 러시아, EU, 중국, 인도 등
	1559~1610MHz / 51MHz	미국, 러시아, EU, 중국, 일본 등
S 대역	2483.5~2500MHz / 16.5MHz	EU, 중국, 인도 등
C 대역	5010~5030MHz / 20MHz	EU, 중국, 일본 등

7.3. 주파수 확보 전략

7.3.1. 기존 주파수 조정 사례

국가 위성항법시스템의 케도 및 주파수등 위성망의 조정 과정은 이전의 사례인 일본 QZSS의 조정사례로 그 과정을 참고할 수 있다. ‘16년 8월 현재, 일본이 ITU 에 제출한 QZSS-GS4 위성망의 통고서에 기재된 조정동의 현황을 살펴보면 미국, 유럽, 중국 및 인도 등 위성항법 시스템 운용 국가들로부터 공식적으로 조정 부동의 상태임을 알 수 있다. 관련 발표인 UN 자료²³⁾에 QZSS 위성망/위성시스템의 조정 현황을 다음과 같이 기술하고 있다.

- 미국 GPS : GPS-QZSS 간 상호 공유 가능 방안을 위한 작업그룹이 ‘02년에 구성되었으며, ‘06년 QZSS 반송파의 기술적인 특성 (신호 형태, 주파수, 확산부호 및 데이터 형태 등) 설계를 통해 두 시스템 간 완전한 공유 가능성을 확인함.
- 유럽 Galileo : JAXA 와 EU 간 6차례 조정회의를 통해 상호 공유 방안(L5-E5a OS, LEX-E6 CS, L1C-E1 OS)에 대해 논의하였으나 조정이 완료되지 못함. 그러나 L1를 제외하고는 기술적인 검토가 완료되었음.

23) ‘Current and Planned Global and Regional Navigation Satellite Systems and Satellite-based Augmentation Systems’, UNOOSA

- 중국 Compass/BeiDou : '07년 QZSS-Compass 간 주파수 공유 조정이 완료되었음.
QZSS-Compass/BeiDou 간 L1, L5 반송파에 대해서는 추가적인 조정 협의가 요구됨.
- 인도 IRNSS : L5 반송파에 대해 QZSS-IRNSS 간 혼신 조정 협의가 요구됨.

최근에는 다중 GNSS 간의 호환성(Compatibility) 및 상호운용성(Interoperability)에 대한 기술, 서비스 및 정책에 대한 전반적 협의/조정 과정은 UNOOSA(United Nation Office for Outer Space Affairs) 산하 위원회인 ICG(International Committee of GNSS) 회의에서 이루어지고 있으며 이를 통하여 기존 위성망과 신규 망과의 제도/주파수의 조정에 관한 해당국간의 기술적, 정책적 사전 결정이 이루어지고 있다.

7.3.2. 다중 GNSS 환경을 고려한 고려 요소

다수 국가에서 위성항법시스템을 운용 및 설계를 진행하고 있으므로 다중 위성항법시스템 환경 하에서의 주파수 확보 방안을 고려해야 한다. 특히 L5 대역에서는 WRC-07을 통하여 위성기반 전파항법 서비스와 항공 전파항법 서비스(ARNS, Aeronautical Radionavigation Service)의 주파수 간섭 및 서비스 혼신에 대한 강한 전파규칙을 제정하고 있다. 이러한 전파규칙(RES-09)에 따라 매년 L5대역에서는 모든 고려대상 위성기반 전파항법 서비스 시스템에 대한 모의 시뮬레이션을 통하여 규정하고 있는 한계값(threshold)을 넘어서는 지에 대한 자문회의를 진행해 오고 있다. 구체적으로 RES 609는 ITU-R M.1639-1 및 1642-2 권고에 규정된 방법에 따라 최대 합계 ePFD(equivalent Power Flux Density) 측정 후 L5대역을 1MHz 단위로 결과를 도출하여 분석하고 있다.



그림 36 최근 4년간 RES 609 자문회의 결과

위의 그림은 최근 4개년간('13~'16) 자문회의를 통해 도출된 L5 대역에서의 합계 ePFD의 주파수 프로파일을 도시한다. 1176MHz 중심주파수와 1207MHz 중심주파수에서 합계 ePFD의 한계값인 -121.5dB/W/m^2 에 거의 근접한 0.48dB 차이까지 결과값을 도출하며 이는 두 주파수를 중심주파수로 하는 위성항법 신호 설계의 제한을 명시적으로 제시한다. 따라서 이러한 다중 위성항법시스템 환경 하에서 항법 신호 설계 주파수 선정 및 확보 노력 시에 전파규칙을 고려한 다양한 접근법이 필요하며 국제회의 참여를 통한 동향 파악 및 구체적 기술 기반 하에서의 협상, 조정 노력이 필요함을 알 수 있다.

7.3.3. 주파수 확보 전략

현재 운용 중이거나 운용 예정인 위성기반 전파항법 서비스용 위성망/위성시스템의 주파수 대역의 일부를 이용하기 위해서는 앞서 살펴본 바와 같이 선발 위성망/위성시스템 관찰 주관청과의 조정 협의를 통해 상호 운용 가능성을 확인하는 것이 선결과제이다. 위성기반 전파항법 서비스용 시스템의 용도가 국방 등 특수 목적으로 이용되기 때문에 기술적인 협상만으로는 상대 주관청의 동의를 받는 것이 매우 어렵다고 판단된다, 따라서 다음과 같은 접근 방법이 적절하다고 판단된다.

- 국가 위성항법 시스템 위성망/위성시스템 주파수 확보를 위한 정부, 산학연 전문가들로 작업반을 구성. 국제회의 참석, 주파수 신청, 등록절차 대응, 조정 과정 담당
- 조정 절차에서 난항이 예상되는 기존의 위성항법 시스템의 주파수 등록 신청 조기 추진. 상기 작업반에서 등록 및 조정 절차 진행.
- 기존 위성항법 시스템과 국가 위성항법 시스템 간 상호 운용성 검토를 위한 정례 회의를 제안/추진. 주파수 조정 과정에 대비한 상호 운용성 검증
- ITU-R과 ICG 등 위성항법 관련 기술 및 정책을 결정하는 국제회의에 한국 대표단을 구성하고 정기적으로 참석하여 국제적인 발언권 신장(Big mouth group)을 위한 지속적인 노력 유지

표 31 위성항법 관련 국제기구·학회

국제 기구/학회	주요 업무
ITU (International Telecommunication Union)	위성항법 관련 권고안 개발하고 및 위성항법용 주파수 분배. WRC (World Radiocommunication Conference) 회의는 주파수 할당 문제 협의를 위해 ITU 주최로 주기적으로 열리는 국제회의임
ICG (International Committee on GNSS)	위성항법 시스템간의 상호운용성/호환성 검토. 위성항법 관련 주파수는 일반적으로 ICG에서 상호 운용성을 확인하고 WRC 의제로 상정됨
ION (Institute Of Navigation)	항법 관련 가장 큰 학회로서 정보 교류 및 인적 네트워크 형성에 활용. 위성항법 관련 학계, 산업계, 정부 인사들이 참석

7.4. 주파수 확보 관련 주요 일정

국가 위성항법 시스템은 장기간의 시간이 소요되며, 기존의 위성항법 시스템 보유국들과의 조정과정에서의 난항이 예상된다. 특히 개발 일정을 고려하여 위성 운용에 차질이 없도록 주파수 확보를 추진하여야 한다.

아래의 그림은 국가 위성항법 시스템 개발 관련 주요 일정과 이와 관계된 국제 협력 일정, 그리고 이를 이와 관계되어 역으로 추산된 주파수 확보 관련된 일정을 나타낸 것이다. 사업 추진에 차질이 발생하지 않도록 사업 착수 이전에 주파수 등록 절차는 착수되어야 하며, 이를 위한 재원 투입, 업무 할당 등에 대한 고려가 필요하다. 특히 국제 협력을 통해 조정 대상국의 협력을 얻어내면 주파수 확보를 위한 레버리지로 활용 될 수 있으므로 조기에 협력 관계를 정립하여야 한다.



그림 37 주파수 확보 관련 주요 일정

<여 백>

8. 국가 위성항법 시스템 구축 시나리오 도출

8.1. 국가 위성항법 시스템 구성/주요 서비스(안)

국가 위성항법 시스템에서 제공하는 서비스는 아래와 같다.

- 공개 서비스 (L/S 대역) : 기본적인 위치 결정을 지원하는 신호로 L 대역과 S 대역에서 모두 서비스가 제공한다. 평상시에는 서비스 제공 중인 타 위성항법 시스템과 함께 이용하여 정확도 및 가용성을 향상시킬 수 있으며, 유사시 단독으로도 항법 서비스 제공이 가능하여 백업 기능을 수행할 수 있다.
- 미터급 보강서비스 (L 대역) : 실시간성과 신뢰성을 모두 필요로 하는 사용자에게 특화된 서비스로 LBS 등의 분야에서 활용될 수 있다.
- 서브미터급 보강서비스 (L 대역) : 서브미터급 보강서비스는 향상된 정확도의 보강 항법 서비스로 L 대역을 이용하기 때문에 별도의 수신 장비가 필요 없고 위성 신호를 이용하기 때문에 지형 지물의 영향을 덜 받는 특징이 있다.²⁴⁾ 해당 서비스는 기존의 위성항법 서비스에 비해 높은 정확도의 위치 정보를 제공해 주기 때문에 자율주행차, 드론, 측량 등의 분야에서 활용될 수 있다.
- 실험용 서비스 (L 대역) : 항법 기술연구 및 신규 서비스 개발에 활용을 위한 서비스이다.
- 공공안전 서비스 (S 대역) : 기본적인 위치 결정 서비스를 제공하여 국가 주요 인프라 등 공공안전에 민감한 분야에서 제한된 사용자의 위치 및 시각 정보 제공에 사용되며 탐색구조 (SAR : Search And Rescue) 서비스를 위해서도 사용된다.
- SBAS SoL 서비스 (L 대역) : 항법 탑재체와는 별도의 탑재체를 이용하여 제공하는 서비스로, ICAO 표준의 항공항법 서비스를 제공한다.²⁵⁾

표 32 국가 위성항법 시스템 제공 서비스 (안)

구분	주파수 대역	서비스
항법 서비스	L 대역	- 공개 서비스 - 미터급 보강서비스 - 서브미터급 보강서비스 - 실험용 서비스
	S 대역	- 공개 서비스 - 공공 안전 서비스
SBAS 서비스	L1, L5	- SBAS SoL ²⁶⁾ 서비스

24) 서브미터급 보강서비스의 경우 조기 서비스 제공을 위해 '18년에 발사될 예정인 정지궤도복합위성 (GK-2A/B)의 후속 위성을 활용 가능. 지상국은 국가 위성항법 시스템과 공유 가능. 탑재체의 별도 제작이 필요하며 수요 부처에서 예산 부담 필요

25) ICAO 표준의 항공항법 보강 서비스 제공을 위해서는 2개의 위성이 필요하여, 만약 해외 위성을 임차할 경우 연간 약 100억원 규모의 추가 예산 투입은 물론 안정적인 운영을 보장할 수 없음 (임차 위성의 위성 운영 상황에 따라 서비스 중단 위험). SBAS 탑재체는 독립적인 탑재체로 수요 부처에서 예산 부담 필요

26) SoL (Safe of Life) : 항공기 이착륙 등 안전에 민감한 응용 분야를 대상으로 하는 서비스

8.2. 국가 위성항법 시스템 요구 성능 및 서비스 영역 도출

8.2.1. 위성항법시스템 운용 요구사항 식별

위성항법시스템을 개발하는데 있어 요구사항은 일반요구사항과 특수요구사항으로 분류할 수 있다. 미국의 PNT 일반요구사항을 사례로 살펴보면²⁷⁾

- a. 지구전역범위(Worldwide coverage)
- b. 단방향 사용자 수신(User-passive)
- c. 적대적 사용 제한(Enable US denial/degradation of adversary use while not impacting friendly military operations or unduly disrupting civil users.)
- d. 무제한 사용자 지원(Able to support an unlimited number of users.)
- e. 적대적 방어 능력(Resistant to countermeasures including hostile attack, electromagnetic pulse (EMP), and natural disturbances. Systems should be as survivable and endurable as the forces and weapon systems they support.)
- f. 무결성 능력보유(Possess system integrity)
- g. 신뢰성(Reliable)
- h. 실시간 응답(Real-time response)
- i. 상호운용성(Interoperable among DOD Services, allied and/or coalition partners, and non-DOD agencies that interface with the combatant commands.)
- j. 주파수할당 자유도(Free from frequency allocation problems)
- k. 표준 좌표계 제공(Common grid or map datum reference for all users)
- l. 표준 시각 제공(Common time reference for all users)
- m. 수신자 운용 상태와 변화에 무관한 정확도의 보장(Accuracy that is not degraded by changes in location, altitude, high-“G” or other abrupt maneuvers, weather, complex terrain masking, or by time of year or day.)
- n. 사용자 중심의 유지능력(Maintainable by fully organic and sustainable organizational level maintenance personnel at the user’s location.)
- o. 자체 수반(Self-contained)
- p. 제한 받지 않는 가용도(Availability not limited by weather, altitude, complex terrain masking, structures, or depth of water.)
- q. 수평위치, 수직고도, 시각 정보제공(Provide four-dimensional information (i.e., x, y, z, and time and orientation.)

27) ‘CJCS Master Positioning, Navigation, and Timing Plan’, Joint Staff, Washington, D.C. 20318, Apr. ‘07

r. 육상, 해상, 공중 활용 보장성(Certifiable for applications involving civil land, maritime, and airspace operations.)

등 포괄적인 17개 항목으로 제시하고 있다. 현재까지 미국의 GPS는 “c, e, h”를 제외하면 대부분의 요구사항을 충족하고 있다. 특수요구사항의 경우 운용생존요구사항(Operational Survivability Requirements.)과 항공요구사항(Aviation Requirement)으로 나누어지는데 운용생존요구사항은 적대적 군사공격(EMP, 핵방사능, 테러 등)은 물론 자연재해에 대비하고, 신속한 복구 및 백업시스템을 요구하고 있다. 또한 적대적 사용에 대비하는 보안체제를 포함하고 있다. 항공요구사항의 경우 ICAO SARPS (Standards And Recommended Practices)를 기준으로 운영할 것을 기대하는 PPS 자체인증을 요구하고 있으나, 민간 신호인 L5를 포함하여 WAAS에 대한 군 요구사항은 포함하지 않고 있다.

위성항법시스템을 개발하는데 있어 개발요구 성능은 운용요구 사항의 기술적 구현에 요구되는 수준을 정의하는 과정으로서 GPS 경우 표의 성능요소에 대한 ORD(Operational Requirement Documentation)가 있을 것으로 예측되나, 군사비밀로서 일부 공개되어 있으나 상세히 공개되지 않고 있다²⁸⁾²⁹⁾.

표 33 위성항법시스템의 운용요구 사항 요소 식별

성능요소	정의
위치정확도(Position accuracy)	실제 위치와 추정된 위치의 일치성
속도정확도(Velocity accuracy)	실제 속도와 추정된 속도의 일치성
시각정확도(Timing accuracy)	세계표준시각과 추정된 시각의 일치성
무결성(Integrity)	시스템 불용상황에 대한 탐지/경고 적시성
가용도(Availability)	운용성능이 충족되는 정보제공이 가능한 시간비율
보안성(Security)	전파/정보 교란에 대한 대항 능력
연속성(Continuity)	시스템의 우발적 중단에 대한 대비 능력
수용성(Affordability)	제한된 운용예산 범위를 충족하는 능력
운용범위(Coverage)	운용성능이 충족되는 정보제공이 가능한 공간
지원도(Supportability)	시스템 운용에 요구되는 지원규모 정도
생존성(Survivability)	적대적(자연재해 포함) 환경 下 회피/인내 능력
상호운용성(Inter-operability)	다양한 체계에 적용되는 정보형식화 능력

28) “GPS ORD”, US Coast Guard Navigation Center, ‘12

29) “GPS Precision Positioning Service Performance Standard”, US DoD, ‘07

8.2.2. 국가 위성항법시스템 운용 요구사항 분석

국가 위성항법 시스템은 10~15년 이후의 고도화 될 미래 환경에서 지능화된 정보요구 사항을 고려하여 타국 위성항법시스템 보다 진보된 기능과 향상된 성능 제공이 요구된다. 미래 환경에서 민간분야는 4차 산업의 동력인 사물인터넷 기반 LBS, 무인자동차와 드론의 시대에 대비하여야 하고, 관 분야에서 보안/재난에 대비하고, 물류/금융 등의 융합된 국가 종합자산관리 등에 대한 요구사항이 포함되어야 할 것으로 전망 된다. 따라서 일반요구사항은 GPS와 같은 기존의 PNT 일반요구사항을 포함하고, 미국의 Vision 2025에서 언급되고 있는 “Greater Common Denominator Strategy(최대공통기반전략)”의 “Multiple Phenomenology(다양화)”, “Inter-changeable Solution(상호교환성)”, “Synergy of PNT & Communication(PNT와 통신의 상승효과)”, “Cooperative Organization Structure(협력적 조직구조)”등 4개 항목을 고려하고자 한다³⁰⁾. 본 장에서 다루는 운용요구 사항은 향후 시스템 설계를 위한 개발요구 운용성능의 최소 기준으로 예시한 것이며, 또한 궁극의 국가 위성항법시스템을 위한 것으로 국내 기술개발과 국제 공동 협력체제 구축 여건에 따라 단계적 추진 및 실현을 고려할 수 있다.

8.2.2.1. 운용개념 요구사항 분석

국가 위성항법 시스템의 독자적 운용개념은 타국 위성항법시스템의 보완(Complementary)과 대체(Alternative)를 고려하여 구성한다. 보완개념은 사용자 후행호환성(Backward compatibility)을 고려하여 타국 위성항법시스템의 운용국가와 동등 수준의 운용능력을 확보할 수 있어야 한다. 그리고 대체 개념은 유사시 타국 위성항법시스템의 사용제한 상황을 고려하여 지속 운용능력을 확보할 수 있어야 한다.

- PNT 정보서비스는 기본항법 서비스와 보강서비스로 분류한다.
- 항법위성은 탐색구조 정보를 제공할 수 있어야 한다.
- 감시국은 한반도를 포함하여 해외에 배치 할 수 있으며, 한반도 배치된 감시국만으로도 제한적 운용이 가능하여야 한다.

8.2.2.2. 운용범위 요구사항 분석

운용범위 요구사항 설정의 취지는 우리나라의 영토, 영해, 영공 등과 활동영역을 고려하고 주변국에 대해 공개 서비스를 통한 상호이익 증진을 도모할 수 있어야 한다.

- 한반도와 한반도 주변을 운용범위로 한다.

30) “National Positioning, Navigation, and Timing Architecture Implementation Plan”, ASD(NII), July ‘10



그림 38 국가 위성항법 시스템의 운용개념도

8.2.2.3. 위치정확도 요구사항 분석

위치정확도 요구사항 설정의 취지는 개인용도로부터 공공서비스로 발전 될 사물인터넷의 LBS 위치확인 및 무인자동차와 드론 등의 유도항법을 충족시킬 수 있어야 하며, 타국 위성항법시스템의 동등 운용성능 수준³¹⁾을 고려한다.

- 공개서비스는 15 m 이내 이어야 한다.

8.2.2.4. 속도정확도 요구사항 분석

속도정확도 요구사항 설정의 취지는 무인자동차와 드론 등의 이동체 속도제어를 충족시킬 수 있어야 하며, 타국 위성항법시스템의 동등 운용성능 수준을 고려한다.

- 공개서비스는 0.1m/s 이내 이어야 한다.

8.2.2.5. 시각정확도 요구사항 분석

시각정확도 요구사항 설정의 취지는 데이터통신 용량 증가와 대역폭 증가를 고려한 시각동기와 금융거래와 물류이동 등의 시각 기준 분해능을 충족시킬 수 있어야 하며, 타국 위성항법시스템의 동등 운용성능 수준을 고려한다.

- 공개서비스는 40 ns 이내 이어야 한다.

31) "GPS Standard Positioning Service Performance Standard", US DoD, '08

8.2.2.6. 위치와 시각의 표준 요구사항 분석

위치와 시각의 표준 요구사항 설정의 취지는 타국 위성항법체계에서 제공되는 PNT 정보와의 상호교환성을 고려한다.

- 위치정보는 WGS-84의 3차원 표준좌표계를 준수하거나 변환이 가능해야 한다.
- 시각정보는 UTC 표준시간을 준수하거나 변환이 가능해야 한다.

8.2.2.7. 무결성 요구사항 분석

무결성 요구사항 설정의 취지는 공공서비스의 높은 신뢰도(Assurance)와 항공안전 국제 규약을 충족시킬 수 있어야 하며, 타국 위성항법시스템의 동등 운용성능 수준을 고려한다.

8.2.2.8. 연속성 요구사항 분석

연속성 요구사항 설정 취지는 시스템의 우발적 중단에 대한 대비 능력으로서 타국 위성항법시스템의 동등 운용성능 수준을 고려한다.

8.2.2.9. 가용성 요구사항 분석

가용성 요구사항 설정 취지는 시스템 운용성능(운용범위 내에서 정확도, 무결성, 연속성 포함)이 충족되는 정보제공이 가능한 시간비율이며, GPS의 경우 Per-Slot 가용성, Constellation 가용성, PDOP 가용성, 위치정확도 가용성이 있다. Per-Slot 가용성을 기준으로 타국 위성항법시스템의 동등 운용성능 수준을 고려한다.

8.2.2.10. 보안성 요구사항 분석

보안성 요구사항 설정 취지는 국가 PNT 정보는 보호가 되어야 하며, 적대적 사용으로 인한 국가 이익이 침해되어서는 아니 된다.

- 유사시 전파교란에 대비하여 사용자 장비 외 추가적인 항재밍 능력을 갖추어야 한다.
- 유사시 적대적 사용을 제한 할 수 있는 통제 능력 및 절차를 갖추어야 한다.

8.2.2.11. 생존성 요구사항 분석

생존성 요구사항 설정 취지는 국가 인프라로서 물리적 외력으로부터 보호 되어야 한다.

- 시스템 구성요소(항법위성과 지상국)는 적대적 공격 및 자연재난으로부터 보호될 수 있어야 한다.
- 시스템 구성요소(항법위성과 지상국)는 유사시 훼손 또는 손실, 고장 시에 대비하여 운영상태를 유지할 수 있는 백업시스템을 포함하여야 한다.

8.2.2.12. 주파수 자유도 요구사항 분석

주파수 요구사항 설정 취지는 정보제공 물리채널의 이중화를 통한 백업 및 품질비교 감시를 고려하여야 한다.

- 최소 2개 이상의 주파수 대역으로 운영되어야 한다.

8.2.2.13. 상호운용성 요구사항 분석

상호운용성 요구사항 설정 취지는 시스템 운용의 연동 대상을 고려하여 PNT 정보체계 운영 효율성을 증강시켜야 한다. 연동 대상은 시스템 구성요소(항법위성과 지상국, 사용자수신기)를 포함한다.

- 항법위성 탑재체는 타국 위성항법시스템 탑재체와 방송, 통신과 감시 등의 복합임무 탑재체를 고려한다.
- 항법위성은 재난 및 구난에 필요한 탐색구조 정보 연동체계를 고려한다.
- 항법위성에서 제공되고 지상국에서 발신되는 PNT 정보는 지상 유무선 네트워크를 통하여 연동될 수 있도록 유연성과 확장성 있는 통합된 프로토콜을 고려한다.

8.2.2.14. 위성 수명주기 요구사항 분석

위성 수명주기 요구사항 설정 취지는 개발기간, 운영주기 및 단계적 적용 기술발전 계획 수립을 반영하고, 타국 위성항법시스템의 동등 운용성능 수준을 고려한다.

- 위성 수명주기는 최소 12년 이상이어야 한다.

8.2.2.15. 운영지원 요구사항 분석

운영지원 요구사항 설정 취지는 국가가 제공하는 공공서비스 책임과 의무에 관한 시스템 운영 주체와 관리체계를 갖추어야 한다.

- 시스템 운영정책 심의를 위한 위원회를 정부 내에 구성하여야 한다.
- 시스템 운영을 위해 정부 산하에 별도의 기관을 설립하여야 한다.
- 시스템 설비는 전·평시 관리체계를 포함하여 운영규정을 갖추어야 한다.

8.3. 위성항법시스템 개발 사례 연구

본 절에서는 기존의 위성항법시스템으로서 구축이 완료되었거나 현재 개발 중에 있는 GPS(미국), QZSS(일본), Galileo(EU), BeiDou(중국), 그리고 IRNSS(인도)에 대하여 i) 구축 배경 및 경위, ii) 구축 체계 및 전략에 대해 알아보았다. 본 절의 이해를 돕기 위하여 각국의 위성항법시스템 개발의 특징을 표에 요약하였다.

표 34 각 위성항법시스템 개발의 특징 요약

	특징
QZSS	• '98년부터 지금까지 미국-일본 간 협력 관계가 지속됨 • SBAS인 MSAS 구축을 통해 독자 위성항법시스템 개발의 기반을 다짐 • QZSS는 GPS와 동일한 신호를 사용하는 GPS 보완 및 보강시스템임 • 미국 괌 및 하와이 지역 일본 QZSS 관제국 설치 • 전체적으로 GPS와 동일한 신호를 활용 • L1-SAIF와 LEX 등 독자적인 기술도 일부 시도하고 있음
Galileo	• 미국 GPS로 대표되는 전역 위성항법시스템에 대응하기 위하여 구축 • '20년까지 30기의 위성과 확장된 지상망을 전개하여 완전정상가동 (FOC, Full Operational Capability) 서비스를 실시할 예정임 • '17년 1월 보고에 의하면 일부 수조시계에서 이상이 발생하였으나, 각 위성은 4중화된 시계를 탑재하므로 운용에는 이상이 없음을 공지 • 최근 기초/응용 기술은 민간 개방형 수요기반으로 인프라 구축과 서비스 제공은 정부 주도로 추진하는 이원화 정책을 취함
BeiDou	• '07년부터 미국, 러시아와 주파수 협상을 시작하여 '15년에 완료 • EU와는 L5 대역에 대한 Compatibility 및 Interoperability에 대한 논의는 현재까지 진행 중 • 파키스탄과 브라질에 추적소(Tracking Station)를 설치하였으며 이외 다수의 국가들과도 추적소 설치를 위한 협의를 진행 중 • 캐나다, 말레이시아, 아르헨티나와는 신호감시에 대해서 협력하기로 결정 • 기술 확보를 위하여 Galileo 프로젝트에 탐색/구조, SLR, 지상국 관련 분야에 참여하였음 • Galileo 프로젝트 참여를 통하여 위성항법 시스템 구축과 관련된 노하우를 습득한 것으로 예상됨
IRNSS	• '99년 GPS vital information에 대한 인도의 요청을 미국이 거부함에 따라 '06년에 인도 정부가 IRNSS 구축 개발을 승인 • 미국과는 '07년 협력을 위한 공동성명을 발표 • '08년 SpectraTime사의 루비듐 원자시계 도입 • '10년 러시아와 고정밀 신호 공유 협정 • '13년 미국과 주파수 Compatibility 협상을 완료 • '13년 C대역에서 L5/S대역으로의 중계기를 탑재한 IRNSS-1A 발사

8.3.1. GPS/QZSS

8.3.1.1. GPS/QZSS 구축 배경 및 경위

8.3.1.1.1. GPS

미국의 GPS(Global Positioning System)는 '70년대부터 개발을 시작하여 현재까지 GNSS 시장에서 독점적인 지위를 차지하고 있다. GPS는 '73년경부터 미 공군의 주도로 개발이 시작되어, '78년에 첫 번째 GPS 위성이 발사되었고, '93년에 초기정상가동 (IOC, Initial Operational Capability)에 돌입하여 '95년에 완전정상가동 (FOC, Full Operational Capability)을 시작하였다. GPS는 6개의 궤도면에 각 4개씩의 위성을 배치하여 총 24개의 위성들이 지구 전역을 커버하도록 하고 있다.

초기에 군사용으로 개발되었던 GPS는 '83년에 발생한 우리나라의 대한항공 007편 격추 사건을 계기로 항행안전에 사용할 수 있도록 미 정부에 의해서 민간에 공개되었다. 현재 GPS는 공개된 민간용서비스(SPS: Standard Positioning Service)와 미군 및 미 정부 그리고 일부 동맹국의 군대에만 제한적으로 사용이 허가된 군용서비스(PPS, Precise Positioning Service)로 구분되어 있다. 초기에는 적대 세력의 GPS 오용을 방지하는 차원에서 고의잡음(SA: Selective Availability)을 민간 신호에 삽입하여 의도적으로 수백 미터에 달하는 위치 오차를 유발시켰으나 '00.5월에 미국 대통령의 공표와 함께 SA가 해제되고 민간용서비스의 측위 성능은 비약적으로 향상되었다.

SA 해제를 신호로 시작된 GPS 현대화 계획은 이후로도 새로운 위성을 발사하면서 단계적으로 진행되고 있다. 초기에 L1 주파수의 민간용 C/A 코드와 군용 P(Y) 코드, 그리고 L2 주파수의 P(Y) 코드로 구성되었던 GPS 신호체계는 현대화와 함께 확장되어 가고 있다. '05년부터 발사된 Block IIR-M 위성에는 제2민간 신호인 L2C와 군용 M 코드 신호 제공 기능이 탑재되었다. 이들 신호는 '16년까지 24개 이상의 위성을 확보하는 것을 목표로 하고 있다. M 코드는 군용으로 새롭게 개발된 것으로 향상된 암호 보안 체계와 항재밍 성능을 갖추고 있다.

'10년 5월에 최초로 발사된 Block IIF 위성은 제3민간 신호인 L5 주파수의 신호를 방송한다. L5 신호까지 방송이 되면 민간 사용자도 세 가지 다른 대역의 신호를 사용할 수 있게 되어 정확성과 무결성의 획기적인 향상이 예상된다. Block IIF 위성이 본격적으로 운영되는 시점에는 L1, L2, L5 신호를 이용하여 코드 정보만으로도 1~3m의 정확도를 얻을 수 있을 것이다. L5 신호는 '18년까지 완전 운용을 목표로 하고 있다. 한편 한층 더 강화된 서비스를 제공할 Block III 위성에서는 Galileo와 호환되는 새로운 L1 주파수의 민간용 신호인 L1C가 제공될 것이며 이 단계의 첫 번째 위성은 '14년에 발사하고 '21년 완전 운용을 계획하고 있다. 군용 서비스 측면에서 Block III의 주목할 점은 M 코드에 대한 spot beam 기능이다. 이 기능은 특정 지역에 대해서 지구 전역에 방송되는 신호보다 최소 20dB 강한 세기의 신호를 집중적으로 송출하여, 해당 지역에서 군용 수신기의 항재밍성을 높이고, 민간용 신호 및 기타 다른 항법신호를 무력화시키기 위한 강력한 기능이다.

미국은 GPS를 운영하면서, 그 응용범위가 너무나도 광범위하여 시스템의 구축과 운영에 여러 부처의 협조가 절실히 필요하다는 것을 자각하였다. 이에 '93년 1월 미국 국방성과 교통성은 GPS의 민간 사용을 효과적으로 증진시키기 위해 협조할 것을 합의하여 '96.3월에 대통령 지시에 의해 IGEB (Interagency GPS Executive Board) 라는 대통령 직속 기구를 구성하기에 이르렀다. 국방성과 교통성이 공동의장을 맡고, GPS 관련 국가정책, GPS 운영방침 및 GPS 이용관련 일반사항 등을 토의, 결정한다. 주로 GPS 및 확장 시스템의 민·군 사용을 관리하고, GPS 관련 국가 정책을 결정하며, 미국 내 다른 정부기구, 미국기업, 외국정부 등과의 연구·개발·운영·사용에 관련된 상담을 주도하는 업무를 수행한다.

민간인을 위한 제2반송파 신설과 GPS 현대화 계획, GPS 주파수 방어 전략 등도 바로 IGEB의 회의를 통해서 결정된 사항이다. 참여 부처는 공동의장을 맡고 있는 국방성과 운수성을 비롯하여, 국무성, 총무인사처, 상무성, 내무성, 농업성, 우주항공국(NASA) 등으로 구성되어 있다.

'04.12월 미국 대통령은 국민, 자국의 안전, 민간, 과학, 상업적 목적을 달성하기 위한 PNT 및 보강 시스템에 대한 프로그램의 정책 방향과 수행지침에 대한 새로운 국가 정책을 세웠다. 본 국가 정책을 통해서 기존의 IGEB를 폐지하고 이를 대신할 새로운 기구를 설립하였다.



그림 39 IGEB의 조직과 기능

바로 새로운 국가 정책을 실현하기 위한 상설 기관인 '우주기반 PNT 상설 운영 위원회 (National Executive Committee for Space-Based Positioning Navigation, and Timing)'이다. 이 위원회에는 관련된 모든 부처의 장관 및 관계 기관의 장이 위원으로서 참여한다. 위원회의 의장직은 미 국방성과 교통부 차관, 또는 그 대리인들이 공동으로

말한다. 구성원으로서 국무부(Department of State), 상무부(Commerce), 국토안보부(Homeland Security), 합동참모본부(Joint Chiefs of Staff), 미 항공우주국(NASA) 그리고 필요하다고 생각되는 다른 부서와 기관의 차관이나 그 대리인들도 포함된다. 백악관 산하에 있는 예산실, 국가안전보장회의, 국토안보회의, 과학 기술 정책실 및 재정경제회의의 직원이 이 위원회의 참관자 역할로 참여하게 된다. 미연방 통신 위원회(Federal Communications Commission) 의장은 연락책(Liaison)의 역할을 담당한다.

위원회는 적어도 1년에 두 번 이상 열린다. 국방부와 교통부 장관은 위원회의 운영 방식을 정하게 된다. 운영 위원회는 여러 권고 사항을 각 담당 부서와 기관에 전하고, 대통령에게는 이 위원회의 백악관 직원을 통해서 전하게 한다. 또한 이 위원회는 위성항법 시스템을 포함하는 미국의 우주 기반 PNT 기반 시설, 특히 위성항법시스템 및 그 보강 시스템, 다른 나라의 PNT 서비스와의 관계 등을 유지하고 보완하기 위해 필요한 정책, 구조(architectures), 요구사항, 예산 분배 등의 책임을 맡고 있는 부서와 기관을 조정하고 권고사항을 전달한다.

8.3.1.1.2. QZSS

일본은 3개의 준천정 위성으로 구성되는 QZSS(Quasi-Zenith Satellite System)를 구축하였다. 이 시스템은 수신되는 신호의 높은 양각 유지가 가능한 준천정 위성을 이용하여 도심과 같은 GPS 신호의 음영지역을 보완하고 GPS 신호에 대한 보강신호를 방송하는 것을 목표로 한다. 대외적으로 많이 알려져 있지는 않지만 일본 정부에서 발간되는 정책 자료 등을 보면 향후 위성을 추가하여 일본 독자의 지역 위성항법시스템으로 확장하는 것을 계획 중에 있다. 현재로서는 QZSS를 SBAS의 변형된 형태인 또 다른 의미의 보강 시스템으로 보아야 할 것이다. 이 시스템의 보강신호는 L1-SAIF (Submeter-class Augmentation with Integrity Function)라고 하며, SBAS의 기본 메시지 형식을 따르고 있다. 여기에는 일본 내의 대류층 지연값에 대한 보정 정보 등 기존 SBAS에는 없는 새로운 메시지가 추가되어 있다

QZSS 사업은 정부와 민간이 공동으로 주관하여 진행하였는데, '02.11월에 조직된 일본의 ASBC (Advanced Space Business Corp.)가 관장하였고, Mitsubishi electric, Hitachi, ITOCHU, NEC-Toshiba space system, Mitsubishi Corp, Toyota motors가 참여하였다. 그림과 같이 일본 정부는 첫 번째 위성에 대한 연구개발에 투자하였고 이후의 사업추진 여부는 정부와 민간기업 양측 모두의 동의를 얻을 때에만 다음 phase의 사업을 추진하기로 결정하였다.



그림 40 QZSS 사업을 위한 일본의 민관 협력도

아래 그림은 사업이 진행된다고 가정하였을 때를 가정하여 수립된 연차별 개발계획으로, 1차 연구를 통하여 QZSS 사업의 전체 예산은 1700억 Yen으로 추정하고 있으며, 정부와 민간 기업이 50%씩을 분담하는 것으로 계획하고 있다. '04.3월까지 궤도와 L1 신호를 제외한 나머지 신호구조를 결정할 예정이고 '04년 중순까지는 모든 신호의 구조를 결정할 예정이었다.



그림 41 QZSS 구축 계획

일본은 QZSS 사업의 추진을 위해서 신위성비즈니스 주식회사(Advanced Space ASBC, Business Corporation)'를 설립하기도 하였다. '01년 일본 경단연이 QZSS 구축을 제안하여 시작된 논의는 '02.10월 '일본항공우주공업회(SJAC, Society of Japanese Aerospace Companies)'를 발족시키고, 그해 11월 1일 최종 결정된 회사를 중심으로 '신

위성비즈니스 주식회사'를 설립하게 되었다. 이 회사는 현재 미쯔비시 전기, 도요타 자동차, NEC 도시바, 이토쓰 등 일본의 극우파 대기업을 포함하여 현재 59개의 기업이 공동으로 추진하였으며 준천정시스템을 구축하고 새로운 위성 시스템이 사용할 통신 인프라를 구축하는 것을 목적으로 하였다. 설립 당시 자본금은 미쯔비시 전기, 히타치제작소, 이토쓰 상사, NEC 도시바 수퍼시스템, 미쯔비시 상사, 도요타 자동차 등 6개사에서 7,700만엔을 제공하고, 그해 12월 2차 모집을 통해서 36개사를 추가 모집하여 자본금 1억엔을 달성하였다.

기존의 정지 위성을 이용한 통신 서비스가 엔터테인먼트 위주였다면 QZSS의 경우에는 측위 중심의 산업용 서비스를 제공하고 새로운 비즈니스 산업을 창출하여 결과적으로 새로운 수요 창출을 계획하였다.

QZSS 개발 계획은 민과 관이 공동으로 주관하는 사업 형태로 시작하였으며, 항법뿐만 아니라 통신, 방송까지 아우르는 신개념의 통합위성시스템으로 계획되었다. 그러나 사업 추진을 위해 설립된 ASBC가 '07년 해체되는 등의 우여곡절 끝에 정부가 주도하는 형태로 변경되었고, 통신과 방송을 제외한 항법시스템의 개발만 추진하게 되었다. QZSS는 당초의 개념 자체가 GPS를 보완/보강하는 시스템이기 때문에, 방송하는 항법신호 역시 GPS의 L1 C/A, L1C, L2C, L5 등을 포함한다. 여기에 L1 SAIF 신호와 Galileo의 E6 대역과 중첩되는 LEX 신호가 추가되어 있다. LEX 신호는 실험용 신호로 계획하고 있는 것으로 높은 전송률로 많은 데이터를 담을 수 있다.

첫 번째 QZSS 위성 (일본명 Michibiki, みちびき, 인도, 안내 등의 뜻)은 '10.9월 11일 성공리에 발사되었다. QZSS의 완전운용 목표는 '13년으로 계획하고 있었으나 현재 QZS-1을 제외한 나머지 위성은 발사되지 못하였고, 아베정권은 아래와 같은 계획을 재수립하여 향후 독자항법으로 발전시키려는 강력한 의지를 표명하고 있다.

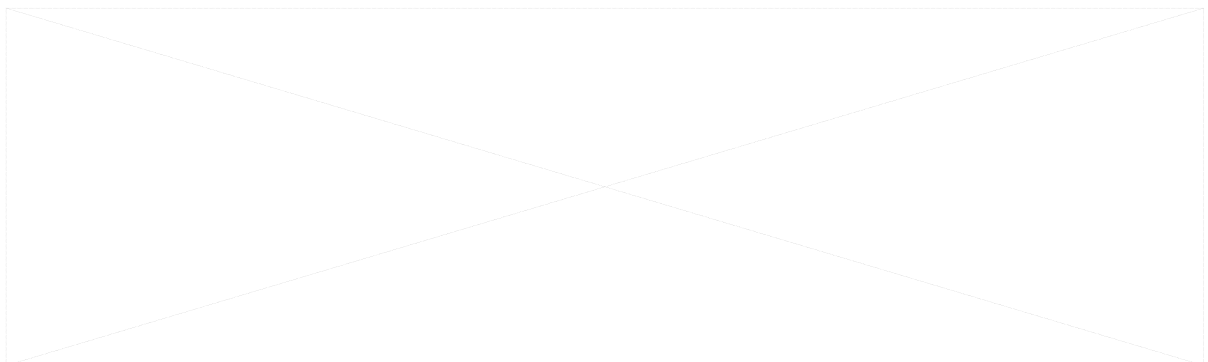


그림 42 QZSS 운용 계획

8.3.1.2. GPS/QZSS 구축체계 및 전략

일본은 미국과의 긴밀한 협조를 통하여 mini-GPS라고 불릴 정도로 GPS와 유사한 QZSS를 구축하고, 이를 개선하여 그 활용도를 높이기 위하여 노력하고 있다. 따라서 GPS와의 공동 구축체계와 전략은 결국 미-일 간의 QZSS 구축 과정을 모델로 수립하는 것이 효율적이다. 따라서 본 절에서는 미국 GPS와의 공동 구축 및 QZSS를 바탕으로 지역항법으로의 확장을 통해 일본이 기대하고 있는 효과를 분석하고, 일본정부와 미국 정부 간 협의 과정을 통하여 GPS/QZSS와의 공동 구축 체계 및 전략을 제시한다.

8.3.1.2.1. QZSS 구축 필요성 및 기대 효과

일본 정부는 '16.4월 1일에 내각 결정으로 공식 발표된 문서인 '우주기본계획'³²⁾에서 우주사업의 필요성과 중요성을 군사적, 외교적, 경제적 측면 세 가지로 나누어서 제시하였다. 세 가지 측면에 해당하는 내용을 공식 문서의 원문과 함께 아래의 표에 나타내었으며, 아래에서의 일본을 뜻하는 我が国는 일본으로 번역하였다.

○ 군사적 측면

일본 내각의 결정으로 발표된 '우주기본계획'에서 '일본을 지키는 자위대의 활동은 GPS를 비롯한 미국의 우주 시스템에 크게 의존하고 있다'고 그 문제점을 지적하고, 이에 대한 해결책으로 미국과의 협력을 제시하고 있는데, 그 중요 사안으로 미국 GPS와 일본의 준 천정 위성 시스템(QZSS)에 의한 위성 측위, SSA(Space Situation Awareness) 우주를 활용 한 MDA(Maritime Domain Awareness) 원격 센싱 데이터 정책 등을 꼽고 있다. 즉, 대외적으로는 경제적 관점과 외교적 관점에서 QZSS의 필요성에 대해서 강조하고 있으나, 대내적으로는 독립적인 '자위대' 활동을 위하여 GPS 의존성을 탈피해야 할 것을 피력하고 있으며, QZSS를 통한 미일 동맹 강화를 위한 노력을 지속 유지할 것을 천명하고 있다

QZSS를 이용한 군사적 측면에서 미일 간 협력의 구체적인 방안은 드러나지 않으나, Sasakawa 평화 재단, Sasakawa USA 및 전략 국제학 연구소(CSIS, Center for Strategic and International Studies)에서 발간한 보고서에서 그 구체적인 방안을 미루어 짐작해 볼 수 있다. 미일 동맹의 전략적 비전을 수립하기 위해 '13년 정책 입안자와 저명한 학자들의 위원회를 설립하였고, '16.2월 CSIS에서 발간한 'Next Steps for Japan-U.S. Cooperation in Space' 보고서에 따르면, 아시아-태평양 지역에서의 항재밍 M-code의 커버리지와 강인성 향상을 위하여 해당 기능을 수행하는 페이로드를 향후 발사가 예정된 4개의 QZSS 위성에 탑재할 수 있음을 시사하고 있다.

32) 우주기본계획, '16년 4월 1일, 내각결정

표 35 군사적 측면에서 우주사업의 필요성

宇宙空間の安全保障上の重要性の増大	우주안보의 중요성 증대
① 国家安全保障戦略を踏まえ、宇宙を積極的に活用していく必要 宇宙空間の安全保障上の重要性は、近年、著しく増大している。宇宙空間は、測位、通信・放送、気象観測等に活用され、国民生活にとって重要な役割を果たしてきただけでなく、安全保障の基盤としても、情報収集や指揮統制等に活用され、死活的に重要な役割を果たしている。宇宙システムの利用なしには、現代の安全保障は成り立たなくなっており、米国、欧州、ロシア、中国等では、安全保障目的で多種多数の衛星を宇宙空間に配備し、先進的な軍事作戦を可能としている。我が国を巡る安全保障環境が一層厳しさを増す中、我が国の国益を長期的視点から見定め、国際社会の中で我が国の進むべき針路を定めるべく、国家安全保障の基本方針として「国家安全保障戦略」が平成 25年 12 月に策定された。これを踏まえ、我が国は、自衛隊の部隊の運用、情報の収集・分析、海洋状況把握(MDA: Maritime Domain Awareness)、情報通信、測位といった分野において我が国等が保有する各種衛星の有効活用を図るとともに、宇宙状況把握(SSA: Space Situational Awareness)の体制を構築することとしている。また、政府が宇宙開発利用を推進し、これを支える技術を維持・発展させるに当たっては、中長期的な観点から国家安全保障に資するよう配慮することとしている。	① 국가 안전 보장 전략을 바탕으로 우주를 적극적으로 활용해 나갈 필요성 증대 우주 안보의 중요성이 최근 크게 증가하고 있다. 우주 공간은 위치추위, 통신, 방송, 기상 관측 등에 활용되어 국민 생활에 중요한 역할을 해왔을 뿐만 아니라 안보의 기반으로도 정보 수집과 지휘 통제 등에 활용되는 중요한 역할을 하고 있다. 우주 시스템의 이용 없이 현대의 안전 보장은 이루어지지 못할 정도이며 미국, 유럽, 러시아, 중국 등에서는 보안 목적으로 다종 다수의 위성을 우주 공간에 배치하고 첨단 군사 작전을 가능하게 하고 있다. 일본을 둘러싼 아시아, 태평양 지역의 안전 보장 환경이 더욱 엄격해지는 가운데, 국제 사회에서 일본이 나아갈 진로를 명확히 결정하고, 장기적인 관점에서의 국익 증대를 위한 기본 방침으로 "국가 안전 보장 전략"이 '13.12 월에 채택되었다. 이를 근거로 일본은 자위대의 부대 운영, 정보의 수집, 분석, 해양 상황 파악(MDA: Maritime Domain Awareness), 정보 통신, 위치추위 등의 분야에서 일본 등이 보유하는 각종 위성의 활용을 도모함과 동시에 우주 상황 파악(SSA: Space Situational Awareness) 체제를 구축하고 있다. 또한 정부가 우주 개발 이용 사업을 추진하고 이를 지원하는 기술을 유지·발전시키기 있어서는, 중장기적인 관점에서 국가 안전 보장에 이바지 하도록 하고 있다.
② 日米宇宙協力の新しい時代の到来 アジア太平洋地域において、その平和と安定を維持するためには米国の抑止力が不可欠である。<u>米国の全地球測位システム(GPS: Global Positioning System)を始めとした宇宙システムは、米国の抑止力の発揮のために極めて重要な機能を果たしており、万一、これが劣化・無力化され、アジア太平洋地域に対する米国のアクセスが妨げられることとなれば、米国の抑止力は大きく損なわれることになる。</u>また、我が国を守る自衛隊の活動は、<u>我が国自身が保有する宇宙システムや商用衛星サービスのみならず、GPSを始めとした米国の宇宙システムにも大きく依存している。</u>こうした中、「日米安全保障協議委員会」(「2+2」閣僚会合)等を踏まえて平成 26 年 5 月に開催された日米両国政府の事務レベル協議において、「<u>両国が直面する共通の安全保障上の課題を踏まえ、日本の宇宙活動の活発化が日米双方の安全保障に不可欠な宇宙アセットの抗たん性の向上につながる</u>」日米宇宙協力の新しい時代の到来が確認され、<u>具体的な関心分野として、米国 GPS と我が国の準天頂衛星システムによる衛星測位、SSA、宇宙を活用した MDA、リモートセンシング・データ・ポリシー等が挙げられた。</u>我が国としても、これらの分野を中心に、日米同盟強化に向けた取組の一環として、安全保障面での日米宇宙協力を強化していく必要がある。	② 미국의 국제적 우주사업 협력 증가 아시아 태평양 지역에서의 평화와 안정을 유지하기 위해서는 미국과의 군사적 동맹이 필수적이다. <u>미국의 전 지구적 항법 시스템인(GPS: Global Positioning System)를 비롯한 우주 시스템은 미국이 국제사회에서 영향력을 행사하는 것에 매우 중요한 기능을 담당하고 있다.</u> 전파를 향한 다양한 방해로 인해 만약 GPS가 무력화 된다면, 미국 또한 아시아 태평양 지역에서의 활동이 어려워진다. <u>또한 일본을 지키는 자위대의 활동은 일본 자신이 보유한 우주 시스템과 상용 위성 서비스뿐만 아니라 GPS를 비롯한 미국의 우주 시스템에 크게 의존하고 있다.</u> 이런 가운데 '미·일 안전 보장 협의위원회'(「2+2」 각료회) 등을 감안하여 '14.5 월에 개최 된 미일 양국 정부의 실무 회담에서 "양국이 직면 한 공통 안전 보장상의 과제를 근거로 일본의 우주 활동의 활성화가 미일 쌍방의 안보에 필수적"이라는 발언을 통해 미국과 일본의 우주 협력이 점차 증가할 것으로 예상되고, 구체적인 관심 분야로 <u>미국 GPS와 일본의 준 천정 위성 시스템(QZSS)에 의한 위성 추위, SSA 우주를 활용한 MDA 원격 센싱 데이터 정책 등이 꼽혔다.</u> 일본도 이러한 분야를 중심으로 미일 동맹 강화를 위한 노력의 일환으로 안전 보장 면에서의 일·미 우주 협력을 강화 해 나갈 필요가 있다.



그림 43 ‘Next Steps for Japan-U.S. Cooperation in Space’ 보고서 내
M-code의 QZSS 탑재 가능성 관련 부분

○ 외교적 측면

인공위성의 광역성과 동시성, 장애 허용성 등의 특징을 바탕으로 전지구적 과제를 해결하고, 자국 기술로 우주 개발이 어려운 신흥 국가에 기술을 무상 혹은 저렴하게 각국과의 협력 관계와 국제 사회에서의 자국 리더십을 강화하는 노력을 기울이고 있다.

표 36 외교적 측면에서 우주사업의 필요성

地球規模課題の解決に宇宙が果たす役割が増大	지구 규모 과제의 해결에 우주의 역할이 증대
グローバル化の進展により、人、物、資本、情報等が大量かつ短時間で国境を越えて移動するようになり、世界各国で経済活動が活発化し、国際社会に繁栄と発展をもたらされてきた。一方、エネルギー問題、気候変動問題、環境問題、食糧問題、大規模自然災害等、一国のみでは対応が困難な地球規模の課題が顕在化しており、国際社会の平和と安定にとって重大な脅威となりつつある。課題が地球規模であるならば、その処方箋も地球規模であることが有効である。人工衛星等から成る宇宙システムは、その特徴として国境を超える「広域性」や、多数に情報発信できる「同報性」、地上の状況に左右されずに機能し続ける「耐災害性」等を有しており、地球規模課題の解決に貢献するものであり、各国ともに地球規模課題解決に向けた取組の中で、積極的に宇宙システムを活用している。また、欧州や中国は、自前で宇宙開発利用を行う能力が十分でない新興国に対して自国の宇宙技術を無償または安価に提供することにより、各国との協力関係を強化し、国際社会における自国のリーダーシップの強化に努めている。我が国としても、宇宙開発利用を行う能力を外交戦略上の重要なツールの一つとして位置づけ、国際社会との連携の下、我が国が強みを有する宇宙技術により地球規模課題の解決に貢献し、外交力の強化につなげていく必要がある。	세계화의 진전에 따라, 사람, 물건, 자본, 정보 등이 대량하고 신속하게 국경을 넘어 이동하게 세계 각국에서 경제 활동이 활발하고 국제 사회에 번영과 발전을 가져왔다 했다. 한편, 에너지 문제, 기후 변화, 환경 문제, 식량 문제, 대규모 자연 재해 등 <u>한 국가만으로는 대응이 곤란한 지구 규모의 과제가 표면화하고 국제 사회의 평화와 안정에 중대한 위협이 될 있다.</u> 과제가 지구 규모라면 그 처방도 지구 규모 인 것이 효과적이다. <u>인공위성 등을 갖춘 우주 시스템은 그 특징으로 국경을 넘는 「광역성」 과 많은 정보 발신 할 수 있는 「동시성」, 지상의 상황에 좌우되지 않고 계속 작동하는 「장애허용」 등을 가지고 있으며, 지구 규모 과제의 해결에 공헌하는 것이며, 각국 모두 지구 규모 과제 해결을 위한 활동에서 적극적으로 우주 시스템을 활용하고 있다.</u> 또한 유럽과 중국은 자기 부담으로 우주 개발 이용을 할 능력이 충분하지 않은 신흥 국가에 자국의 우주 기술을 무상 또는 저렴하게 제공함으로써 각국과의 협력 관계를 강화하고 국제 사회에서 자국 리더십 강화에 노력하고 있다. 일본도 우주 개발 이용을 할 수 있는 능력을 외교 전략상 중요한 도구의 하나로서 자리 매김 국제 사회와의 연계 하에 일본이 강점을 가진 우주 기술을 통해 전 세계 과제의 해결에 기여 외교 힘의 강화로 이어 나갈 필요가 있다.

아래 그림과 같이 QZSS는 일본뿐만 아니라, 서울, 시드니, 방콕 등 아시아-오세아니아 전역에서 관측되고 높은 고도각을 유지할 수 있다는 장점을 바탕으로, 경제 규모상 항법 위성을 보유할 수 없는 국가들의 참여를 유도하고, 기준국 설치, 국가 간 데이터 공유 및 실험 등 다양한 형태의 협업을 수행하는데 일본이 주도적인 역할을 하고 있다.



그림 44 아시아-오세아니아 지역에서의 QZSS 고도각

특히 QZSS가 발사되던 시점인 ‘10년부터 Asia Oceania Region Workshop on GNSS 협의체가 발족되어 ‘15년부터는 MGA(Multi GNSS Asia)라는 이름으로 conference를 개최하고 있다. MGA는 전신인 Asia Oceania Region Workshop on GNSS를 포함하여 ‘11년부터 QZSS의 운용국인 일본과 가장 큰 수혜국인 호주가 공동 대표를 맡고 있는데, 특이할 점은 아래 그림과 같이 위성을 보유하고 있지 않은 태국, 말레이시아 등의 협동 실험 요청 건이 높다는 점이다.



그림 45 협동 실험(Joint Experiment) 요청 건수

이러한 요청에 대하여 일본의 기술을 지원하여 줌으로써, 일본에 대한 좋은 이미지를 해당 국가들에 제공할 수 있을 뿐 아니라, 자연스럽게 일본의 기술력이 해당 국가의 산업 전반에 파급되어 결과적으로 항법위성을 보유하지 않은 아시아 및 오세아니아 국가들에 일본의 외교적 영향력을 높이는 방편으로 사용될 수 있다. 뿐만 아니라, 이러한 기술적 지원을 위해서는 해당 국가의 위성항법 데이터를 수신하여야 하므로, 아래 그림과 같이 multi-GNSS network 구성의 충분한 당위성으로 활용되어 타국 내 기준국 설립 또는 데이터 취득을 용이하게 하고 결국 QZSS의 성능 향상에 기여할 것으로 보인다.



그림 46 다중 위성항법 시스템 감시 네트워크

○ 경제적 측면

앞서 QZSS를 이용한 아시아-오세아니아 지역에서의 일본의 외교적 전략에서 언급한 바와 같이, 일본의 ‘우주기본계획’에서는 자국 내 우주 산업 기반을 보유하지 않은 우주 활동 신흥국의 증가를 통해 일본의 우주 산업 확대를 꾀하고자하는 전략을 확인할 수 있다. 일본 역시 높은 기술과 안정적인 투자가 요구되는 우주 사업을 위해서 정부가 강도 높은 투자가 장기적으로 이루어지지 않는 한계에 봉착하여 있으므로, 이를 타개하기 위하여 민간 기업의 참여, 해외 시장 창출, 새로운 서비스 개발 등의 노력을 기울이고 있다. 실제로 QZSS 개발에는 정부 외에도 민간 기업인 MITSUBISHI가 주도적인 역할을 하였고, MGA 발족 및 활동을 통하여 해외 시장 창출을 위해 노력하고 있으며, LEX 신호를 이용한 PPP 등 타국의 위성항법 시스템과 차별화된 새로운 서비스를 창출하여 이를 홍보하고 있다.

항법 위성을 이용한 직접적인 서비스와 산업, 그리고 파생 산업에서의 경제적인 효과도 생각해볼 수 있다. 최근 스마트폰 점유율 1위 기업인 애플의 아이폰 7과 7 plus 등에 QZSS 기능이 탑재된 바 있다³³⁾. 뿐만 아니라 러시아³⁴⁾와 중국³⁵⁾이 자국에 수입되는 자동차와 스마트폰에 포함되는 내비게이션에 각 국에서 운영하는 위성 항법인 GLONASS와 BeiDou 탑재를 의무화하기도 하였다. 이러한 산업 현황과 국가 정책을 미루어 볼 때, 우리나라도 스마트폰과 차량 내비게이션에 우리나라 보유의 항법 위성 신호 탑재를 의무화하면 국내 항법 위성의 활용성을 높일 뿐 아니라, 국내 제조사를 보호할 수 있는 진입 장벽을 마련할 수 있으므로 위성항법 분야의 산업과 그 파생 분야의 국내 산업 보호와 활성화를 모두 지원할 수 있을 것으로 예상된다.

33) <https://9to5mac.com/2017/01/18/apple-iphone-7-watch-qzss-quasi-zenith-satellite-system-japan/>

34) <http://www.kidd.co.kr/news/190100>

35) <http://m.metroseoul.co.kr/news/newsview?newsd=2016092600142>

표 37 경제적 측면에서 우주사업의 필요성

(1) 宇宙空間におけるパワー・バランスの変化： かつての米ソ二極構造は多極構造へと転換	(1) 우주 사업 참여국의 다양화：과거 미, 러시아 양국 구조에서 다국 구조로 전환
近年の急速な技術革新等に伴う宇宙技術のコモディティ化により、宇宙活動国が増加し、<u>宇宙空間はかつての「米ソ二極構造」から「多極構造」へと転換してきた。</u>特に中国やインドを始めとする新興国や民間企業等がその宇宙活動を急速に活発化させている。また、宇宙開発利用に関する国際協力や宇宙システムの活用により得られた情報を国際的に共用する動きが進展しており、宇宙を巡る国際環境は大きな変革期にある。世界の商業宇宙市場の規模は、今後拡大していく見通しであり、そのけん引役は新興国である。これらの国では、今後 10 年間で、過去 10 年間に比べ 4 倍の人工衛星打ち上げが計画されているものの、<u>これらの国は自国内に宇宙産業基盤を必ずしも有していないため、人工衛星や打ち上げサービスを商業市場から調達していることが多い。</u>自国内に宇宙産業基盤を有さない宇宙活動国の増加は、商業宇宙市場の拡大につながるものであり、我が国を始めとする各国の宇宙産業にとっても好機となりつつある。	최근의 급속한 기술 혁신 등에 따른 우주 기술의 상품화하여 우주 활동 국가가 증가하고 <u>우주는 과거의 "미국, 러시아 양국 구조"에서 '다국 구조'로 전환 해왔다.</u> 특히 중국과 인도를 비롯한 신흥 국가와 민간 기업 등이 그 우주 활동을 급속히 확대하고 있다. 또한 우주 개발 이용에 관한 국제 협력과 우주 시스템을 활용하여 얻은 정보를 국제적으로 공유하는 움직임이 확대되고 있다. 세계 상업 우주 시장의 규모는 점차 확대될 전망이다. 그 중심에는 신흥국이 있을 것이다. 신흥국에서는 향후 10 년간 지난 10 년에 비해 4 배의 인공위성 발사가 계획되어 있지만, 이들 국가는 <u>자국 내 우주 산업 기술 기반이 약하기 때문에 우주 산업 기반을 갖고 있지 않는 우주 활동 국가(신흥국)의 증가는 상업 우주 시장의 확대에 이어질 것이며, 일본을 비롯한 각국의 우주 산업에 있어서도 좋은 기회가 되고 있다.</u>
(2) 関連する新産業の創出	(2) 관련 신산업 창출
民生・安全保障の両面で宇宙空間の利用が果たす役割がますます大きくなる中、我が国にとって、自前で宇宙活動できる能力を保持すること（自立性の確保）が重要である。このためには、宇宙開発利用を支える我が国の産業基盤が安定的でかつ活力に満ちたものである必要がある。宇宙機器産業は世界的に自国の政府機関による官需が売上の大きな部分を占める産業である。しかしながら、我が国では、政府の宇宙開発利用に関する支出の多くが年度ごとの予算措置として計画されているため、産業界が将来の投資計画のめどを立てることが困難となっている等の理由から、民間事業者の宇宙事業からの撤退が相次ぐ一方、新規参入も停滞している。また、人工衛星等に用いる機器や部品には、宇宙空間においても機能するよう、放射線や熱に対する強い耐性等他の産業には無い高度な技術が求められる。しかしながら、我が国の政府機関における人工衛星等の需要量は十分ではなく、少量生産となるため、我が国の宇宙部品産業や宇宙機器産業が採算性を確保しながら生産・技術基盤を持続的に維持していくことは困難である。このため、我が国の宇宙機器産業は、世界市場を供給先とする海外事業者に人工衛星等に用いる基幹部品の多くを依存せざるを得なくなっている。長期的視点から、部品枯渇への対応を始め宇宙機器・部品に関する取組を推進する必要がある。人工衛星の開発から打ち上げ・運用までには、数百億円に上る多額の費用と数年にわたる長い期間を要することを考えれば、産業界の投資の「予見可能性」を高めるためには、年度ごとの計画立案ではなく、政府が長期的展望を持ち、国家として必要なプロジェクトを明定し、産業界に示していくことが肝要である。また、政府需要の明確化に加え、宇宙を活用した新産業・新サービスの創出に官民一体で取り組み、国内需要を拡大していくことも重要である。我が国の宇宙開発利用を支える産業基盤を持続的に維持・発展させていくためには、国内需要に加えて、国外の需要にも応え、新たな市場を創造していくことが肝要である。米国、欧州、シア、中国等の宇宙産業が、母国の強力な支援を得つつ国外における受注獲得を果たし、産業基盤の維持・発展に努めていることを考慮しつつ、我が国としても、諸外国との協力や外交努力により、我が国の宇宙産業の国外における受注獲得を後押しすることを通じ、産業基盤の維持・発展に貢献する必要がある。	民生・안보적 측면에서 우주 공간 이용의 역할이 점점 커지는 가운데 일본이 스스로 우주 활동 능력을 보유하는 것(자율성의 확보)이 중요하다. 이를 위해 일본의 우주 산업 기반이 안정적일 필요가 있다. 우주 산업은 세계적으로 자국의 정부 기관의 관청 수요가 매출의 큰 부분을 차지하는 산업이다. 그러나 일본에서는 정부의 우주 개발 이용에 관한 지출의 대부분이 전년도 예산과 변함없이 동일하게 계획되어 있기 때문에 산업계가 향후 투자 계획의 목표를 세우는 것이 어렵다는 이유로 민간 사업자의 우주 사업에서 철수가 계속되는 한편, 신규 참가도 주춤하고 있다. 또한 인공위성 등에 사용되는 기기 및 부품은 우주 공간에서 작동하도록 방사선 및 열에 대한 강한 내성 등 다른 산업에는 없는 고도의 기술이 요구된다. 그러나 일본 내 기관에서 인공위성 등의 수요는 충분하지 않고, 소량 생산하므로 일본의 우주 부품 산업 및 우주기기 산업이 생산・기술 기반을 지속적으로 유지하는 것이 어렵다. 따라서 일본의 우주기기 산업은 세계 시장을 공급처로 하는 해외 사업자에게 인공위성 등에 이용하는 핵심 부품의 대부분을 의존하지 않을 수 없게 되어있다. 장기적인 관점에서 부품 교갈에 대응하고 대책을 수립할 필요가 있다. 인공위성의 개발에서 발사・운용까지 작별액 엔에 달하는 거액의 비용과 수년간의 긴 기간을 필요로 하는 것을 생각하면 산업계의 투자 '예측 가능성'을 높이기 위해서는, 연도별 계획 수립이 아니라 정부가 장기적 전망을 가지고 국가로서 필요한 프로젝트를 산업계에 명확히 제시하는 것이 중요하다. 또한 정부 수요의 명확화뿐만 아니라 우주를 활용 한 신산업・신 서비스의 창출에 정부와 민간 기업이 함께 대처하면서 국내 수요를 확대 해 나가는 것도 중요하다. 일본의 우주 개발 이용을 지원하는 산업 기반을 지속적으로 유지・발전시켜 나가기 위해서는 국내 수요뿐만 아니라 국외의 수요에도 부응하고 새로운 시장을 창조해 나가는 것이 중요하다. 미국, 유럽, 러시아, 중국 등의 우주 산업이 모국의 강력한 지원을 얻으면서 해외에서 수주 획득하였으며, 산업 기반의 유지・발전을 위해 노력하고 있는 것을 고려하면서, 일본도, 여러 나라 과의 협력 및 외교 노력으로 일본의 우주 산업의 해외에서 수주 획득을 지원하는 것을 통해 산업 기반의 유지・발전에 공헌 할 필요가 있다.

8.3.1.2.2. QZSS 개발을 위한 일본 정부와 미국 정부 간 협의

QZSS는 GPS와 동일한 신호를 사용하는 GPS 보완 및 보강시스템이므로 일본 정부와 미국 정부 간 긴밀한 협력이 필요하였다. 이에 따라 '98년부터 지금까지 양국 정부 간 협력 관계가 지속되고 있으며, 양국 정부가 진행한 다수의 회의에서 논의한 협의 내용 일부를 다음 표에 정리하였고³⁶⁾, 그림에 중요사항을 요약하였다.

표 38 일본 정부와 미국 정부 간 협의
(GPS.gov Website)

Joint Announcement & Joint Statement)	협의 내용
'98 Joint Statement	- GPS 및 다른 전파항법시스템에 대한 주파수 할당 협의 - 민간 분야에서의 GPS 성장에 대한 문제점 파악 및 해결책 강구 - GPS 장비에 대한 투자 및 개발 장려 - GPS와 관련된 정보 교류 촉진 - ICAO, IMO, ITU, APEC 등 국제 기구 및 회의에서 GPS 관련 이슈를 함께 논의 - GPS SPS(Standard Point Positioning) 사용에 대한 관련된 중요사항 검토 및 토론을 위한 회의를 매년 개최 - Working Group을 구성하고 매년 개최되는 회의에서 그 성과를 보고
'01 Joint Announcement	- GPS의 현 상황과 향후 위성항법 분야에서의 GPS 위치에 대한 관점에서 다양한 GPS 관련 문제 논의 - 민간 분야에 대한 지속적인 GPS SPS 제공 재확인 - 해양 및 항공용 보강시스템에 대한 정보 교류 촉진 - GPS 현대화를 위한 효율적인 주파수 스펙트럼 사용에 대한 논의
'02 Joint Announcement	- 일본 정부는 GPS 보완 및 보강시스템인 QZSS 프로젝트를 언급 - QZSS와 GPS의 기술적 측면을 조정하기 위한 Technical Working Group (TWG) 구성
'04 Joint Statement	- 일본 정부는 MSAS와 QZSS에 대한 개발 상황을 언급 - 미국 정부는 일본의 QZSS 개발에 대한 강력한 지원 의사 표명
'06 Joint Announcement	- 미국 정부는 '04.12월 8일 부시 대통령이 승인한 우주기반 PNT (Positioning, Navigation and Time) 정책 설명 - GPS 현대화와 제 3자(서드 파티)와의 국제 협력 설명 - TWG는 GPS와 QZSS가 완벽히 호환되며 상호운용이 가능함을 확인 - 일본은 GPS 지상국 사용에 대한 협력을 제안하였으며, 미국은 이에 대한 긴밀한 협력에 동의
'07 Joint Announcement	- 미국 정부는 우주기반 PNT 정책의 변경사항을 일본 정부에 제공 - 일본 정부는 '06년 본격적으로 개발하기 시작한 QZSS와 위성기반 광역보강시스템인 MSAS(MTSAT Satellite-based Augmentation System) 개발 현황 제공
'08 Joint Announcement	- 일본 정부는 '08년 발효된 새로운 우주법을 통해 우주 산업 기술을 종합적이고 체계적으로 개발하고 활용하는데 필요한 조치를 촉진할 수 있다고 발표

36) International Cooperation between Government of U.S. and Government of Japan, <http://www.gps.gov/policy/cooperation/#japan>

	- 또한 일본 정부는 지형 정보 활용 기본법에 따라 내각이 '08.4월 기본 계획을 승인하고 '08.8월 실천 계획을 수립했음을 발표 - 주파수 스펙트럼 보호 및 민간 신호의 표준화 촉진을 위한 지속적인 협력 - JAXA와 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)가 협력하여 괌 지역에 NOAA 소유 시설에 QZSS 관제국 설치 허가 - 또한 일본 정부는 NICT(National Institute of Information and Communications Technology) 와 미국의 USNO(U.S. Naval Observatory)의 지원을 받아 JAXA와 NASA가 협력하여 하와이 지역에 NASA 소유 시설에 QZSS 관제국과 양방향 위성 시간 및 주파수 전송국 설치 허가
'10 Joint Announcement	- 괌 지역에 QZSS 관제국 설치 완료 및 하와이 지역 QZSS 관제국 설치 진행 중임을 발표
'11 Joint Announcement	- 하와이 지역 QZSS 관제국과 양방향 위성 시간 및 주파수 전송국 설치 완료 예정임을 발표
'12 Joint Announcement	- 괌 및 하와이 지역 QZSS 관제국 설치 완료 - '11년 7월 첫 번째 QZSS 위성 (QZS-1) 서비스 시작
'13 Joint Announcement	- 양국 정부는 Interference Detection and Mitigation(IDM) 및 다중 시스템 상호운용성에 초점을 맞춘 ICG 및 워크샵에 대한 접근 방식과 관련된 의견을 교환 - 또한 다자간 회의에서 상호 협력 의지를 재확인



그림 47 일본 정부와 미국 정부 간 협의 요약

8.3.2. Galileo

8.3.2.1. Galileo 구축배경 및 경위³⁷⁾

Galileo는 유럽연합(EU)이 미국 GPS를 필두로 하는 전역 위성항법시스템에 대응하기 위하여 구축중인 전역 위성항법시스템이다. '99년 EU 레벨의 정식 사업을 시작하여(EU 정부 펀딩 발표), '20년 전가동 서비스 구축을 목표로 시작하였다. '90년대 초반부터는 EU내 일부 회원국들을 주축으로 GNSS-1 프로젝트를 수행하였고, 이를 발전시켜 범 EU 차원으로 확대된 것이 Galileo 프로젝트(GNSS-2)이다. 총사업비는 초기 예상보다 9억 유로 증가한 46억 유로 정도가 들 것으로 예상된다.

Galileo 시스템 구축 프로그램은 예산확보 및 추진체계 변경 등 EU내 회원국들 간 이견으로 합의가 지연되어 수차례 사업지연이 발생하였다. 특히 민간주도 주관기관인 GJU(Galileo Joint Undertaking)가 해체되고 정부주도 관리기구인 GSA(Galileo Supervisory Authority: 체코 프라하 소재)가 발족되어 Galileo가 범 EU 차원의 인프라 구축 프로그램으로 재탄생하였고, 현재 지속적으로 EU차원의 안정적인 펀딩이 이루어지고 있다. 이는 국가적 핵심 인프라에 해당되는 위성항법 시스템 구축을 경제성을 고려해야 하는 민간차원에서 추진하는 것에 대한 한계를 나타내며, 최근 민간 주도로부터 정부 주도로 체계 변화를 맞은 일본 QZSS와도 일맥상통한다.

'17년 말까지 총 20기의 Galileo 위성을 우주공간상에 위치시킴과 동시에 지상 인프라망을 구축하여 성능한계를 갖는 초기정상가동 (IOC, Initial Operational Capability) 서비스를 실시할 예정이며, '20년까지 원안대로 30기의 위성과 확장된 지상망을 전개하여 완전정상가동 (FOC, Full Operational Capability) 서비스를 실시할 예정이다. 단, 원안에서 공표했던 SIS(Signal-in-Space)에 실린 신호 무결성(Signal Integrity) 정보 제공 기능에 기반한 SoL(Safety of Life) 서비스는 감시국 수의 부족(예: 대양, 타국 지역 등)으로 인한 기술적 한계로 인하여 완전정상가동 (FOC, Full Operational Capability) 단계에서도 서비스 제공이 어려우며 당분간 EGNOS를 이용하여 서비스를 대체할 예정인 것으로 알려져 있다 (이를 기술적으로 극복하는 내용이 G2G 프로젝트에 포함되어 있다). 이상을 정리하여 표에 정리하였다.

비록 그 동안 수차례의 사업 연기가 있었으나 현재까지의 꾸준한 연구개발 성과로서 EU는 지상 및 우주 인프라 기술개발 및 구축에 큰 성과를 보였다. 따라서 Galileo 프로젝트 성공에 요구되는 4대 필수 기술영역인 기초연구개발, 인프라 구축, 서비스 제공, 각종 위성항법 응용 기술분야 중에서 인프라 구축 및 서비스 제공 분야는 EU-ESA/GSA가 주도하고, 나머지 기초연구개발 및 각종 위성항법 응용 기술 분야는 범 EU 차원 거대연구개발 프로그램인 HR2020에서 관장하는 것으로 연구개발 분야 체계 변화가 있었다. 또한 현재 완전정상가동 (FOC, Full Operational Capability) 서비스 이전이기는 하지만 '07년부터 차세대 Galileo 개발에 대한 연구 프로그램을 운영 중인 것으로 알려져 있다.

37) 갈릴레오 프로젝트(Galileo Project) 참여 방안(안), (舊)미래창조과학부, 우주원자력협력과.

표 39 Galileo 구축 배경 및 현황 요약

항 목	내 용
개 요	○ 개념 : 유럽연합(EU)이 미국 GPS 등에 대응하기 위하여 구축하고 있는 전역 위성항법 시스템 ○ 사업기간 : '99 ~ '20년 ○ 총사업비 : 33억 유로('99년)→46억 유로('08년)
추진 경과	○ 추진주체 및 예산 등의 문제로 사업 지연 발생. '08.07 EU의 예산확보 및 추진주체 결정으로 사업 재개 - 00.11. EU집행위, 'Galileo 프로젝트(안)'발표 - 08.07, EU의회 및 EU이사회, 'Galileo 프로젝트 방침'확정 (총사업비 증액 재산정)
추진 체계	○ 민간주도 주관기관인 GJU(Galileo Joint Undertaking) 해체 및 정부주도 관리기구인 GSA(Galileo Supervisory Authority) 발족 ○ Galileo-1이 완성단계에 들어감에 따라 기초연구 분야(EC)와 인프라 구축 분야(ESA)로 추진체계가 나뉨 (HR2020 연계)
추진 현황	현재 실험위성 6기 발사. 17년까지 20기 위성 발사 (초기정상가동, IOC). 20년까지 30기 위성 발사 (완전정상가동, FOC) ○ 1단계 - 개념정립 ('09 ~ '03) - 기술적, 경제적 타당성 검증 ○ 2단계 - 개발/검증 ('04 ~ '13) - 실험위성 2기 (GIOVE-A/B) 발사. 지상시설 건설 및 검증 수행 ○ 3단계 - 설치 (진행 중) - 인프라구축: 시스템지원(이-TAS), 위성제작(독-OHB), 발사서비스(프-Arianespace), 지상임무(프-TAS), 지상제어(독-Astrium), 운영관리(이/독-SpaceOpal) - 현재 위성: 총 18기 발사 (13기 정상운용) / 초기정상가동 (IOC) 선언 (16.12.15) ○ 4단계 - 서비스 운영 ('20년 이후)
차세대 Galileo 프로젝트	○ 개념 : 갈릴레오의 기술력을 바탕으로 향후 증가하는 서비스 요구사항들에 대비하고, 타 시스템과의 상호 운용성 등을 실험하기 위해 추진 ○ 사업기간 : '13~'30년 - 1단계 : 기술개발 - ESA 주관 ('13~'20) - 2단계 : 시스템 구축('21~'30) ○ 추진체계 : ESA는 GNSS 과학자문위원회를 설립하고 Galileo 위성 보조 탑재체에 대한 조언, EGEP 지원 ('15까지). '16부터 HR2020하의 G2G 프로그램으로 대체 ○ 추진방법 : 기존 기술개발 예산 및 자체 예산을 탄력적으로 활용 - EGEP(European GNSS Evolution Programme) : SBAS와 GNSS에 관한 기술 연구 개발 및 인증을 수행하는 ESA의 프로그램으로 Galileo 시스템 선행 설계, EGNOS 검증 및 평가 플랫폼 등 개발 - HR2020 : 차세대 갈릴레오 시스템 개발 기술 확보를 위한 R&D 및 시스템 인프라 개발 등을 포함 G2G(Galileo 2nd Generation) 프로젝트 : EGEP³⁸⁾를 종료하고 차세대 Galileo 개발 프로젝트인 G2 운영 중

38) EGEP(European GNSS Evolution Programme): '07년부터 ESA 주도로 추진된 차세대 Galileo 연구 프로젝트. 시스템, 궤도, 지상국, 신호설계, 차세대 수신기 기술 등 GNSS 관련 전 분야에 걸친 프로젝트. L/S.C-대역 GNSS 구축에 대한 광범위한 연구가 수행. 초기 2020+년을 목표로 하였으나, Galileo-1 사업의 지연 및 기술적 미성숙도 등의 이유로 2030+년 이후로 목표 연도가 수정됨. Thales, EADS-Astrium, SSTL 등 항공우주방위사업체 및 EU내 각종 연구기관들이 일련의 프로젝트에 컨소시엄을 이루어 참여.

8.3.2.2. Galileo 구축체계 및 전략 (특징 및 협력 사례 포함)

민간주도 GJU에서 정부주도 GSA로의 변화 및 사업지원에도 불구하고 꾸준한 연구개발 노력으로 '17년 말 초기정상가동 (IOC, Initial Operational Capability) 및 '20년 완전정상가동 (FOC, Full Operational Capability)을 목표로 추진되고 있는 Galileo 개발 프로젝트의 구축 현황에 대하여 이전의 절에서 간략히 소개하였다. 본 절에서는 '15년 이후 Galileo 구축 체계의 중대한 변화 및 EU가 추진 중인 전략에 대하여 소개한다.

최근 EU Galileo 프로젝트 구축체계의 중대한 변화는 기초 및 응용 기술 연구 분야는 HR2020에 넘겨서 국제협력을 포함하는 민간 개방형 수요기반(Bottom-up형) 연구개발을 추구하고, 인프라 구축 및 서비스 제공은 EU-ESA/GSA를 주축으로 정부 주도적 (Top-down형)으로 추진하는 이원화 정책을 취한다는 것이다. 또한 기존 Galileo 시스템 개발 중 도출된 기술적 미비점을 극복하여 타국 위성항법 시스템과의 경쟁에서 우위를 확보하고자 차세대 Galileo 개발 프로젝트인 G2G(Galileo 2nd Generation) 프로그램을 최근 발족시켰다.

8.3.2.2.1. HR2020 EGNSS³⁹⁾

○ 체계

EU의 최대연구기금 프로젝트인 FP(Framework Programme for research and technological development)의 8번째 단계인 HR2020(FP8)에서 위성항법 분야는 Leadership in Enabling and Industrial Technologies 아래 Space 분야로 분류된다. 위성항법 분야 Call은 '14년 처음 오픈 되었고(이전까지는 FP에서 위성항법 분야가 독립적으로 존재하지 않고 일반 분야에 포함), 매 2년마다 새로운 Call이 있을 예정이다. 따라서 2nd Call은 '16.11월에 있었다. 우주 분야에서 다음 표와 같은 세부 분야를 포함하고 있다.

표 40 HR2020내 우주 분야 중 Galileo 관련 Work Packages

Call	세부분야
Applications in Satellite Navigation - Galileo	GALILEO-1: EGNSS applications GALILEO-2: SME-based EGNSS applications GALILEO-3: Releasing the potential of EGNSS applications through international cooperation GALILEO-4: EGNSS awareness raising, capacity building and/or promotion activities, inside or outside of the EU
Earth Observation	—
Protection of European Assets in and from Space	—
Competiveness of the	—

39) 원종훈, 전역 위성항법시스템(GNSS) 전파간섭분야 국제공동연구 과제기획, '15년 글로벌기술협력지원단 활용 R&D 기획과제 보고서, '16.1

European Space Sector: Technology and Science	
기타	Research and development activities related to Galileo PRS HR2020 proposal evaluation, monitoring and audits (EGNSS) GNSS Evolution, Mission and Service related R&D activities Procurement topic (1): Advanced mission concepts Procurement topic (2): Ionosphere prediction service Procurement topic (3): Commercial service Procurement topic (4): Support to the Galileo Safety of Life Service re-profiling, in particular for ARAIM Procurement topic (5): Signals evolution GNSS Evolution, Infrastructure-related R&D activities

HR2020의 우주 분야 중 위성항법 부분을 좀 더 자세히 정리하면 표와 같다.

표 41 HR2020-GALILEO-GSA-2014/2015

분야		Scope	Budget (each, all), Type of action, Funding rate
HR2020-G ALILEO-G SA-2014	GALILEO -1	New innovative applications with future commercial impact Development, adaptation, integration of new SW/HW, services, biz plan EGNOS/Galileo is a key factor Plus multi-constellation	1.5 - 4 M€ for each 15 - 20 M€ for all (4 to 15) Innovation action 70% (100% for non-profit)
	GALILEO -2	New applications in niche market by SME (leader) Clear intention to commercialize	0.5 - 1 M€ for each 5 - 10 M€ for all (5 to 20) Innovation action 70% (100% for non-profit)
	GALILEO -3	International (outside EU) cooperation Aim to transform the research results into innovation in 3rd countries Networking of relevant technology developers (academy, SME,...) Regions representing an attractive market for the EU industry	0.5 - 1.5 M€ for each 5 - 8 M€ for all (4 to 16) Innovation action 70% (100% for non-profit)
	GALILEO -4	EU and global cooperation To build industrial relationship Financial support to 3rd party possible (read Financial Regulation)	1 - 2 M€ for each 5 - 10 M€ for all (3 to 10) Coordination and support actions 100%
HR2020-G ALILEO-G SA-2015	EGNSS 구축을 위한 procurement, evolution, mission/service에 초점을 맞추어 약 25 M€가 배정됨		

HR2020에서 EGNSS (European-GNSS) 분야 펀딩 사항을 종합하면 다음과 같다.

- '14년에는 위성항법 '응용'에 초점을 맞추어 Galileo-1/2/3/4가 오픈 되었다.
- Galileo-1/2/3/4외에 Galileo-PRS관련 R&D에 20 M€가 배정되었다.
- '15년에는 EGNSS Evolution, Mission, Service 분야에 25 M€가 배정되었다.
- 매 2년마다 새로운 Call이 오픈된다 ('14, '16).
- 최근 EC정부 차원의 결정으로 인하여 위성항법 연구펀딩의 주체가 GSA와 ESA로 결정되었다.
- Procurement 및 Infra 구축에 관련된 Call은 일반 연구자들이 들어갈 수 없으며, 위성항법 기초 및 응용에 관한 연구에만 참여할 수 있다.
- '90년대 위성항법 관련 연구 초기부터 유지되어온 Galileo-EGNOS Program은 HR2020에 흡수된다.
- Galileo-EGNOS Program의 주된 방식인 Top-Down 방식은 Procurement 및 Infra 관련 펀딩에만 유지되며, 각종 응용에 관한 분야는 Bottom-Up 방식으로 교체될 예정이다.

EGNSS 관련 펀딩은 HR2020의 펀딩률을 따르므로 프로젝트형태(Project Type: 즉 IA 또는 CSA)에 따라 표와 같은 펀딩률을 따른다. 여기서 IA는 연구개발을 주된 목표로 하는 프로젝트 형태를 말하며, CSA는 EU 위성항법 시스템의 국제적 경쟁력 확보를 위한 국제공동연구/네트워킹/Coordination을 목표로 하는 프로젝트 형태이다⁴⁰⁾.

표 42 HR2020 프로젝트 형태에 따른 펀딩률

Project Type	Funding Rule
IA (Innovation Action)	70% of the total eligible costs; exception - 100% for non-profit
CSA (Coordination and Support Action)	100%

※ Indirect cost: 25% of the total eligible costs

○ 위성항법 관련 EU 펀딩 정책변화

일반적으로 EU 위성항법 연구개발 프로그램은 그림과 같이 연구기술개발(Research & Technology Development) → EGNSS 인프라 구축(Infrastructure Deployment) → EGNSS 서비스제공 (Service Provision) → EGNSS 응용(Applications)의 체계를 갖는다. 그 동안 EU내 위성항법 분야 연구개발은 EC의 펀딩 하에 유럽항공우주국(ESA)와 GSA가 집행하는 형태로 이루어 졌으나, 최근 HR2020과 통합되는 형태로 발전하고 있다⁴¹⁾. 그림에서 첫 번째 연구기술개발과 마지막 EGNSS 응용은 HR2020 우주부문

40) Horizon 2020 Work Program 2014-2015, 5. Leadership in enabling and industrial technologies, iii. Space, European Commission Decision C(2013)8631 if 10 December '13.

41) Tanja Zegers, EU Global Navigation Satellite System (GNSS) Research and Technology - Horizon 2020 Stakeholder Consultation Workshop, Brussels, Belgium, 4 June '14.

EGNSS 프로그램에서 담당하고, 나머지 두 번째 EGNSS 인프라 구축 및 서비스제공은 기존 EU 위성항법 프로그램에서 관장하도록 정리되었다. 이러한 연구개발체계의 근본적 변화를 가져온 이유는 지난 10년간 수행되었던 FP6/7, EGEP, 위성항법 프로그램 등 3가지 큰 프레임워크 틀에서 개별적/독립적으로 연구개발을 수행함에 따른 중복성 및 비합리성을 극복하고자 하는 과거의 경험에 의한 것이다.

위성항법 분야 연구개발은 인프라 구축, 시스템 설계, 차세대 신호 연구 등 시스템 레벨의 연구개발 분야와, 각종 응용/어플리케이션 및 시장접근이 용이한 제품/기술 개발 분야로 나뉘며, 그 특성에 따라 펀딩 주체를 달리한다. 표에 이를 나타내었다.



그림 48 HR2020과 기존 Galileo/EGNOS 프로그램의 펀딩률 변화

표 43 ‘14년을 기점으로 한 유럽의 위성항법 분야 연구개발 펀딩 주체 변화

기 존 (‘14년 이전)	변 화 (‘14년 이후)	프로그램 수행 주체
Space/ground infra Mission and service Signals Basic GNSS TD & science	HR2020 GNSS R&D 중 Procurement & research grants	GSA EC ESA
Receiver 개발	기존 EGNSS program regulation	—
각종 응용(어플리케이션) 개발	HR2020 application 중 IA	GSA

HR2020 GNSS Infra는 ‘20년 이후를 목표로 차세대 (2nd Generation) Galileo개발을 위함이다. ESA를 통하여 연구개발 매니지먼트가 수행되며 ‘15년 53 M€가 배정되었다. ‘07년부터 줄곧 ESA가 직접 관할하는 EGEP(European GNSS Evolution Program)의 틀 안에서 수행되던 연구개발 체계를 ‘15년부터 EU가 관할하는 HR2020 EGNSS R&D 틀

에서 수행한다. 즉, ESA 조달형식에서 EU 조달형식으로 바뀐다. 최종적으로 ‘15년 이후 각 연구개발 부분을 담당할 주체는 Infra부분은 GSA, Mission and Service 부분은 EC, Signal 부분은 ESA, 각종 응용 시스템 개발부분은 GSA가 주도한다. EGEP는 ‘15년까지 지속되므로, ‘15년에는 기존 EGEP와 새로운 HR2020 EGNSS R&D가 공존하는 과도 단계(Transition phase)이다.

HR2020내에서 위성항법 분야는 일반 보조금(Grant)와 조달(Procurement)로 나뉘고 (아래 표 참조), 각각 펀딩의 성격에 따라 공동 펀딩(co-funding) 여부, IPR(Intellectual Property Rights), 컨소시엄 구성요건, Open access 등의 측면에서 다른 특성을 갖는다⁴²⁾.

R&D 과제의 경우 100% 펀딩을 하고, IA 관련 연구개발은 70%만 EU 정부에서 펀딩하고, 나머지 30%는 참가자가 자체적으로 펀딩을 하도록 설계되었다.

표 44 일반 보조금(Grant)과 조달(Procurement) 프로그램의 차이

	HR2020	
	Grant	Procurement
	Call for Ideas	Invitation to Tender
Co-funding	Yes	No
IPR	With beneficiaries	With EU
Consortium	Yes (3 MS)	No requirement
Open access	yes	No requirement

이상과 같이 HR2020내 위성항법 관련 국제공동 연구개발 프레임은 다양하나 지역적 단절, 연구자간 인적네트워크 부족, 복잡한 참여체계 등의 문제로 위성항법 분야에서 한-EU간 상호협력 사례가 드문 것이 현실이다. 따라서 해당분야의 한-EU간 공동연구를 활성화를 위해서는 Galileo 연구개발 협력을 위한 한-EU Coordinated Call 협의가 필수라 판단된다.

○ 위성항법 분야 HR2020-2017 Call

‘16.11월 오픈되어 ‘17.3월 마감인 HR2020-Galileo Call은 IA와 CSA의 action type이며, 아래 그림과 같다⁴³⁾.

- IA EGNSS Transportation/Mass Market/Professional Applications 분야. 산업체 참가기관의 경우 연구개발비 중 70% 정도만 EU에서 펀딩하고, 나머지는 참가기관이 부담금 형태로 제공 (비영리단체가 참여기관일 경우 100% 펀딩을 EU에서 제공). 대부분 IA 형태임

- CSA - EGNSS Awareness raising and capacity building 분야. EU에서 100% 펀딩을 제공함

42) Horizon 2020 Work Program 2014-2015, 5. Leadership in enabling and industrial technologies, iii. Space, European Commission Decision C(2013)8631 if 10 December ‘13.

43) Horizon 2020 Work Program 2014-2015, 5. Leadership in enabling and industrial technologies, iii. Space, European Commission Decision C(2013)8631 if 10 December ‘13.



그림 49 HR2020 위성항법 분야 프로젝트 형태에 따른 제반 사항

8.3.2.2.2. G2G Project⁴⁴⁾⁴⁵⁾

○ 목적

- EU는 기존 Galileo-1의 완전정상가동 (FOC, Full Operational Capability) 완성 이전인 시점에서 위성개발 및 지상국 성능개선을 위한 차세대 Galileo 프로젝트(G2G : Galileo 2nd Generation)를 시동 중 (EGEP의 연장선상)
 - System-level requirements, System architecture, Deployment scenario (Phase A Study) 등
- ‘11년 발사된 Galileo IOV 1호 위성의 12년 사용주기를 고려하면 ‘23년부터는 기존 Galileo-1 위성들에 대한 재발사가 이루어 져야하고, 위성성능 업데이트를 위하여 위성 연구개발 및 제작 기간을 고려하면 지금 당장 업데이트 작업을 시작해야 함.
- 특히 Galileo 및 EGNOS 구현 단계에서 완수하지 못한 일부 성능(특히 SoL)을 그 간의 연구개발에서 얻은 기술을 바탕으로 향상시키고자 함
 - Galileo는 개발 초기부터 SoL을 포함하도록 시스템 및 신호체계가 설계되었으나, 연구개발 추진 중에 전역을 커버하는 지상국 건설 및 배치의 문제점으로 인하여 SoL 서비스를 포기하고 초기정상가동 (IOC, Initial Operational Capability) 및 완전정상가동(FOC, Full Operational Capability)을 완료하는 것으로 방향을 전환함 (G1). 이에 따라 Galileo SoL이 완성되면 정지될 예정이던 EGNOS 프로그램이 계속 추진되는 것으로 결정되었음 (성능향상 포함: EGNOS V3)

44) Galileo & EGNOS Evolution: Better Signals, Inter-Satellite Links, and More, InsideGNSS, March/April '16

45) Extension of the European GNSS Evolution Programme 2013~15: Directions for future EGNOS and Galileo, ESA

- EGEP를 정지하고 G2G로 추진체계 변환⁴⁶⁾

○ 내용

- G2G 프로젝트는 Galileo 및 EGNOS에 대한 전체적인 업데이트 및 성능향상 목적

*Galileo 2nd Generation, EGNOS 2nd Generation (EGNOS V3)

- 다양한 기술들이 연구되고 있음

· Galileo : Optimization of G1G, MEO SVs, Regional constellation (IGSO + MEO), Inter-Satellite Link, New on-board Clock

· EGNOS : Dual-frequency (L1/E1 & L5/E5), Dual-constellation (GPS + Galileo), 서비스지역 확대(아프리카 포함)

- Galileo OS E1 신호 : 다양한 성능개선 방안 연구 중 (TTFF 개선, 신호 및 메시지 강인성, 데이터 오류정정 기술, 암호화, 신호추적성능 개선 등)

- Galileo PRS 신호 : 성능개선 방향으로 실제 사용될 PRS 신호 설계

- ISL(Inter-Satellite Link) : 지상국으로부터 독립성을 증가시켜 OBD 성능 개선 (Sensor station 및 Up-link station 수 감소)

- G2G 성능 개선 : Capability를 늘리기 위한 좀 더 큰 위성버스 사용방안, Electrical propulsion 기술 (케도천이용 및 발사체 케도에서 최종 케도천이), Galileo + EGNOS 성능 고도화 등

- 기타 : C-대역 사용 방안 연구, 재밍대응, 로컬/지역 백업 시스템, GSS Phased Array Antenna, 항공용 무결성 알고리즘(ARAIM) 적용 방안, Ground-to-Space link 보호방안 등



그림 50 차세대 Galileo 추진체계 변환(EGEP → G2G)

46) Tanja Zegers, EU Global Navigation Satellite System (GNSS) Research and Technology - Horizon 2020 Stakeholder Consultation Workshop, Brussels, Belgium, 4 June '14.

8.3.2.2.3. 한-EU 위성항법 협력 협정

‘01.5월 EU는 Galileo 프로젝트의 한국 참여를 요청하였다. 이에 ‘05.3월 Galileo 프로젝트의 참여 의사를 통보하였으며, 구 과기부의 과학기술혁신본부가 국내 사업을 총괄하기로 하였다. ‘06.9월 정상회담을 통해 한-EU 위성항법 협력협정에 공식 서명하였다. 그러나 ‘08.7월 Galileo 사업 주체가 민간투자회사 (GJU)에서 EU 산하 정부 간 기구 (GSA)로 변경되면서, 지분 형태의 참여는 불가능해졌다. 이후 ‘16.7월 해당 협정이 공식 발효되었다.

해당 협정은 체결시의 상황과 현재 상황에 많은 변화가 있어 많은 부분 실효성이 없으나 기본적인 협력에 대해 언급하고 있어 국가 위성항법 시스템 개발 과정에서 적극적인 활용이 필요하다. 해당 협정의 주요 내용은 다음과 같다.

- 협력 원칙 : △권리의무에 기초한 상호이익 Galileo 프로그램 협력 △위성항법 프로젝트 협력에서 호혜적인 기회 △관련정보의 적시 교환 △지적재산권 보호 △위성항법서비스 제공의 자유 △위성항법 관련 상품의 제한없는 교역
- 주파수문제 협력 및 상호 지원, 위성항법(SBAS 포함)용 주파수 국제등록신청 정보 교환, 주파수 할당 촉진 및 전파혼신 방지 노력
- 위성항법 시스템 상호운용성에 중점으로 표준개발 지원·활용을 촉진하고, ICAO / IMO / ITU에서 위성항법 관련 협력
- Galileo/EGNOS의 무결성·정확도·연속성·상호운영성 확보를 위한 지상시스템 구현 협력
- 협정운영을 위하여 위성항법 운영위원회 설립

이러한 협력 협정을 기반으로 국가 위성항법 시스템 개발 시 아래와 같은 전략을 추가할 수 있다.

- 한-EU 위성항법 운영위원회 추진하고 이를 통해 상호 운용성 확보/주파수 조정 및 지상 인프라 공유 방안 검토
- Horizon 2020을 통한 수신 단말 및 활용 방안 연구
- 정부 예산 투입을 통한 Galileo 인프라 기술 공동 연구 및 국가 위성항법 시스템에서 해당 기술 활용

8.3.3. BeiDou

8.3.3.1. BeiDou 구축 배경 및 경위

중국은 우주관련 기술 개발을 위하여 '55년 미국으로부터 망명한 Qian Xuesen(錢學森)을 연구원장으로 하는 국방부의 제5연구원(Fifth Academy of the National Defense Ministry)을 설립하고, 첫 번째 탄도미사일 프로그램을 시작하였다. 또한 '56년 3월 1일 채택된 12개년 항공우주계획이 첫 번째 장기계획이며, 계속하여 진행하여 현재는 5년 단위의“우주 과학 발전을 위한 계획” 및 “우주 산업 개발 계획”이 우주 관련 국가의 기본 연구로 시행되고 있다.

좀 더 세부적으로 위성항법과 관련하여, '70년대에 Qian Xuesen, 863 프로그램 책임자인 Chen Fangyun, PLA(People's Liberation Army) 국장인 Bu Qingjun이 중국의 독자 위성항법 시스템의 필요성을 제기했으며⁴⁷⁾, '83년에 Chen Fangyun이 당시 지역항법 시스템인 BeiDou 프로그램을 제안하였다. '89년 통신위성(DFH-2/2A) 2기를 이용한 제안한 프로그램의 성능을 확인하였다. 그 결과, '93년 중국 정부는 BeiDou 프로그램의 지속적인 진행을 승인하였다⁴⁸⁾.

BeiDou 시스템은 독립성(Independency), 개방성(Openness), 호환성(Compatibility), 그리고 점진성(Gradualness)의 4가지 원칙 아래에 개발되었다. 점진성에 의하여 3단계로 성능 및 서비스 영역을 확대하였다⁴⁹⁾. 1단계 시스템인 BeiDou I은 시험용 시스템으로 정지궤도위성을 이용하여 중국 영토 이내에서만 서비스를 제공하며, 20m의 위치 정확도를 가진다. SMS(Short Message Service)를 제공하며 양방향 측위 기술을 사용한다. BeiDou I의 구축 과정은 다음 표에 요약하였다.

표에서 보듯이 BeiDou I은 1기의 백업 위성을 포함한 4기의 위성을 발사하여 서비스를 제공하였으며 '12년 BeiDou-1C 위성의 임무종료(Retired)를 끝으로 서비스를 종료하였다. BeiDou I의 서비스 기간 동안 '08년 쓰촨성 지진 시, 이를 이용하여 측위, 감시, 긴급 정보를 제공하였다. 그리고 시범적으로, 중국의 윈난(Yunnan) 지역 국경 수비대는 BeiDou I의 단말기를 이용하여 측위 서비스를 이용하였다. 유인 우주선인 Shenzhou-7의 검색 및 구조 장비에서도 BeiDou I 서비스를 활용한 바 있다⁵⁰⁾.

47) University of California Institute on Global Conflict and Cooperation, 'Policy Brief: The Research, Development, and Acquisition Process for the BeiDou Navigation Satellite Programs,' '14.

48) CHINA SPACE REPORT, <https://chinaspacereport.com/spacecraft/BeiDou/>

49) The State Council Information Office of People's Republic of China, 'China's BeiDou Navigation Satellite System,' June '16

50) Other Regional Systems, https://www.navipedia.net/index.php/Other_Regional_Systems

표 45 BeiDou-I 구축 과정

년도	내용
‘00	BeiDou-1A(동경 80도)와 BeiDou-1B(동경 140도) 발사
‘03	BeiDou-1C(동경 110.5도) 발사
‘04	중국내 민간 사용자에게 서비스 제공
‘07	BeiDou-1D(동경 58.75도) 발사
‘09	BeiDou-1D 임무종료
‘11	BeiDou-1A, BeiDou-1B 임무종료
‘12	BeiDou-1C 임무종료

2단계 시스템인 BeiDou II는 지역 위성항법 시스템으로서 정지궤도위성과 함께 경사동기궤도(IGSO, Inclined Geosynchronous Orbit) 위성과 중궤도(MEO, Medium Earth Orbit) 위성을 이용하여 동아시아 지역에 10m의 위치 정확도와 50ns의 시각 정확도, 보정(Correction) 정보와 SMS를 제공하는 것을 목표로 구축되었다. BeiDou II의 구축 과정은 다음 표에 요약하였다.

표 46 BeiDou II 구축 과정

년도	내용
‘07	첫 위성 BeiDou-M1 발사
‘09	1기 위성 발사 (G2)
‘10	5기 위성 발사 (G1, G3, G4, IGS01, IGS02)
‘11	3기 위성 발사 (IGS03, IGS04, IGS05)
‘12	6기 위성 발사 (G5, M3, M4, M5, M6, G6)
‘16	2기 위성 발사 (IGS06, G7)

표에 나타난 바와 같이 BeiDou II는 ‘07년에 첫 위성인 BeiDou-M1의 발사를 시작으로 ‘12년까지 목표로 하는 14기의 위성을 모두 성공적으로 발사함에 따라 완전정상가동(FOC, Full Operational Capability)을 완료하였다. ‘16년까지 백업 위성을 포함한 총 18기의 위성을 발사하였으며, 현재 15기가 정상 동작하고 있다⁵¹⁾. 농업, 차량항법을 포함하는 육상 항체 등 측위, 시각 동기 등 많은 분야에서 서비스를 이용하고 있으며, BeiDou II 위성의 신호를 처리하기 위한 칩셋부터 수신기, 그리고 이를 응용한 여러 가지 장비 등의 개발 및 운용도 활발하게 이루어지고 있다.

3단계 시스템인 BeiDou III는 전세계 위성항법 시스템으로서 ‘20년까지 총 35기의

51) List of BeiDou satellites, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_BeiDou_satellites

GEO, IGSO, MESO 위성을 발사하여 10m의 위치 정확도와 50ns의 시각 정확도, 보정 정보와 SMS를 제공하는 것을 목표로 한다. ‘17.2월까지의 BeiDou III의 구축 과정은 다음 표와 같다.

표 47 BeiDou III 구축 과정

년도	내용
‘15	4기 위성 발사 (I1-S, M1-S, M2-S, I2-S)
‘16	1기 위성 발사 (M3-S)

표에 정리된 바와 같이 ‘15년부터 위성 발사를 시작하여 현재는 5기의 위성이 정상적으로 작동하고 있으며, 5기의 위성을 통하여 원자시계, ISL(Inter-Satellite Link), 새로운 항법 신호의 정상동작 여부를 테스트하고 있다⁵²⁾.

8.3.3.2. 중국의 BeiDou 관련 정책 결정 과정과 국제 협력

위성 개발 관련 중국 정부의 의사결정 체계는 그림에 나타내었다. 전국인민대표대회는 최상위 의사결정기관이며 이 기관의 산하에 행정기관이자 집행기관인 국무원과 중앙군사위원회를 두고 있다. 국무원 아래에 여러 가지 부처를 두고 있는데, 이 중 공업 정보화부에서 위성을 포함한 우주 분야의 개발을 담당하고 있다.

공업정보화부(MIIT, Ministry of Industry and Information Technology)산하 국방과기공업국(SASTIND, State Administration for Science, Technology, and Industry for National Defence)과 중국국가항천국(CNSA, China National Space Administration)이 우주 관련 개발 계획을 수립하며, 민간 우주개발은 중국항천과기집단공사(CASC, China Aerospace Science Corporation)가, 국방관련 우주개발은 중국항천과공집단공사(CASIC, China Aerospace Science and Industry Corporation)가 담당하고 있다. 이 두 기관의 활동은 국무원 내부의 국유자산감독관리위원회, 국방과기공업국 그리고 인민해방군총장비부(GAD, General Armaments Department), 즉, 3개의 기관이 협력하여 관리 감독하고 있다.

각 기관의 역할은 다음과 같다⁵³⁾.

52) CHINA SPACE REPORT, <https://chinaspacereport.com/spacecraft/BeiDou/>

53) 교육과학기술부, ‘인도/중국 우주개발동향과 양국 간 협력방안 연구’, ‘11.



그림 51 위성 개발 관련 중국 정부의 의사결정 체계

- 전국인민대표대회
 - 국가의사 결정기관으로, 산하에 행정기관인 국무원과 사법기관인 법원을 두고 있어 삼권분립제의 국회와는 차이가 있으며 단원제(單院制)이다.
 - 전국인민대표대회의 상설기관인 상무위원회에서 입법이나 정책의 결정이 이루어진다. 위원은 전국의 행정구와 군에서 선출되며, 임기는 5년이다.
- 국무원(國務院, State Council)
 - 전국인민대표대회에서 결정한 법률과 정책의 집행기관, 즉, 국가의 최고행정기관이다.
- 공업정보화부(工業情報化部, MIIT)
 - 우리나라의 과학기술정보통신부와 유사한 부처로서 방송, 무선통신, 인터넷, 우편, 전자 기기, 소프트웨어 산업 등을 관리하고 있다.
 - 정보산업부(MII, Ministry of Information Industry) 및 기타 관련 행정기관 업무를 통합하여 '08.6월에 설립되었다.
- 국방과기공업국(國防科技工業局, SASTIND)
 - 민간 및 국방 산업 전반의 정책, 규제, 산하 기관의 관리를 담당하고 있다.
 - 국방과학기술공업위원회(COSTIND, Committee on Science and Technology Industry for National Defence)의 후신으로 '08년 설립되었다.
 - COSTIND가 국무원 산하 부(部)급 기관이었던 것에 비해 SASTIND는 MIIT의 산

하 기관으로 행정 체계상 지위가 하락했음에도 COSTIND의 역할을 대부분 수행하고 있으며, 내부 조직은 COSTIND과 유사하다.

- SASTIND는 MIIT의 하위 기구이지만 MIIT와 별도로 운영되고 있으며, 특히 국제 정책 및 국가 안보 분야에서 상당한 자율권을 보유하고 있다.

- 중국국가항천국(中國國家航天局, CNSA)

- 국무원 직속기관으로서 SASTIND로부터 권한을 일부 위임받아 민간 우주활동, 정책, 규제와 관리를 담당하고 있다.

- 중국항천과기집단공사(中國航天科技集团公司, CASC)

- 주로 민간 우주기술 개발을 담당하고 있으며, 14만여 명이 근무하고 있다.

- 중국로켓기술연구원(CALT, China Academy of Launch vehicle Technology), 중국 공간기술연구원(CAST, China Academy of Space Technology), 상해항천기술연구원(SAST, Shanghai Academy of Space flight Technology) 포함 8개의 대형 연구원과 중국장성공업공사(CGWIC, China Great Wall Industry Corporation) 포함 10개의 특화 기업이 속해 있다.

- 중국항천과공집단공사(中國航天科工集团公司, CASIC)

- 주로 국방 우주기술 개발을 담당하고 있으며, 18만여 명이 근무하고 있다.

- 중국공산당전국대표대회

- 5년마다 열리는 중국 공산당의 당대회로서 공산당 내의 최고 권력기관이다.

- 중앙군사위원회

- 전군을 지휘하고 군사 전략, 작전 방침을 결정하는 국방정책결정기구로서 인민해방군과 인민무장경찰 등을 지도하는 군사관련 최고 기관이다.

- 공산당과 국가(정부)에 이중으로 설치돼 있으나 동일한 일물이 주석과 위원에 임명되고 있어 실질적으로는 하나의 기관이라고 할 수 있다.

- 인민해방군 총장비부(GAD)

- 인민해방군 4개 총본부(총참모부, 청정치부, 총후군부, 총장비부) 중 하나로, 군사 프로그램, 발사기지 및 위성추적시설을 관리한다.

전술한 바와 같이 중국의 BeiDou 관련 정책의 결정 및 관리·감독은 국무원 및 산하의 2개 기관에서 협력하여 이루어짐을 알 수 있다. 즉, 하나의 국가 내의 조직이 의사를 결정한다. EU라는 국가 연합체가 개발하는 Galileo 시스템의 경우, 정책결정 결과에 따라 참여 국가의 이해가 상충되므로, 이를 조정·협의하는데 상당한 시간이 소요될 것이다. 이것이 BeiDou를 Galileo에 비하여 단기간에 개발한 이유 중의 하나로 생각할 수 있다.

호환성(Compatibility) 및 상호운용성(Interoperability) 관련 BeiDou의 국제 협력 사례는 표와 같다.^{54) 55)}. 미국, 러시아와는 주파수 협상을 완료하고 협력을 위한 공동성명을

54) Jun Shen, 'Update on BeiDou Navigation Satellite System (BDS)' The 56th Meeting of the Civil GPS Service Interface Committee at the ION GNSS+ 2016, Sep. '16, Portland, USA.

발표하였으며, EU와는 L5 대역에 대한 호환성 및 상호운용성의 논의는 현재까지 진행 중이다.

표 48 BeiDou의 호환성 및 상호운용성 협력 사례

대상 국가	년도	내용
미국	‘07~’10	주파수 Compatibility 협상 완료
	‘14	1차 양자회담 개최 및 협력을 위한 공동성명 발표 (북경)
	‘15	2차 양자회담 개최 (워싱턴 D.C.)
러시아	‘07	BeiDou/GLONASS 워크숍 개최
	‘14	위성항법 협력을 위한 MOU 체결
	‘15	위원회 구성 및 상호운용성 관련 공동성명 발표
EU	‘03	Agreement(2003년), L5 상호운용성은 미해결
	‘07/’10	BeiDou-Galileo 워크숍 개최
	‘15	ITU 절차에 따른 주파수 조정 완료
	‘17	호환성과 상호운용성 협의 중

주파수 협상 이외에 지상국 설치·운용을 위하여 ‘11년 iGMAS(international GNSS Monitoring and Assessment System) 개념을 제시하였고, 파키스탄과 브라질에 추적소(Tracking Station)를 설치하였으며, 러시아, 호주, 독일, 영국, 아르헨티나, 캐나다, 남아프리카와는 추적소 설치를 위한 협의를 진행 중이다. 또한 캐나다, 말레이시아, 아르헨티나와는 신호감시에 대해서 협력하기로 합의하였다⁵⁶⁾.

중국은 BeiDou가 서비스를 이용한 응용을 권장하기 위하여 주변국 및 BeiDou 서비스가 가능한 국가인 한국, 호주, 인도네시아, 파키스탄, 태국, 싱가포르와 MOU를 체결하였으며⁵⁷⁾, BADEC(BeiDou Application Demonstration & Experience Campaign)을 정기적으로 개최하여 동남아 등 주변 국가에 BeiDou를 홍보하고 있다⁵⁸⁾. BADEC 프로그램은 ‘11.12월 ICG framework에서 제안된 것으로 중국 외의 동남아시아 국가, 오세아니아 국가, 서아시아 국가뿐만 아니라 서방국가들을 대상으로 BeiDou 시스템의 활용 분야를 시연하고 체험하도록 하여 향후 도래할 다원화된 위성항법 시스템 시대에도 많은 국가가 BeiDou를 사용하고, 중국과 타국 사이의 상호 발전을 실현하여 더 나은 서비스를 제공하는 것이 목적이다. 중국 정부의 이러한 노력의 궁극적인 목적은 GPS와 마찬가지로 BeiDou를 국제적인 위성항법시스템의 실질적인(De-facto) 표준시스템으로 발전시켜 칩셋, 수신기, 그리고 관련 장비의 시장에서 유리한 위치를 선점하는 데 있다고 볼 수 있다.

55) Mingquan Lu, ‘Status of Compass Development’, Stanford PNT Symposium 2010, Nov. ‘10.

56) China Satellite Navigation Office, ‘Update on BeiDou Navigation Satellite System’ ICG conference, Feb. 2015, Vienna, Austria.

57) China Satellite Navigation Office, ‘Update on BeiDou Navigation Satellite System’ IGNS 2015 Symposium, July ‘15

58) 한중과학기술협력센터, ‘한·중 위성항법 협력방안 연구 보고서’, ‘14.

이미 알려진 바와 같이 상호 간의 필요성에 의하여 중국은 EU의 갈릴레오 프로젝트에 참여하였다. 참여 과정은 표에 간략히 요약하였다.

표 49 중국의 EU 갈릴레오 프로젝트 참여 과정

년도	내용
'04.10월	중국의 NRSCC와 유럽의 GJU의 협력 협정 체결
'14.12월	국무원의 인가를 받아 중국 갈릴레오 공업 설립
'15년	총6,324만 8천 유로의 15개 프로젝트 승인

표에 정리된 바와 같이 '04.10월 중국의 NRSCC(National Remote Sensing Center of China)와 유럽의 GJU(Galileo Joint Undertaking)가 협력협정에 서명하였다. 이에 따르면 중국은 갈릴레오 프로젝트에 2억 유로를 투자할 예정이었으며, 그 중 6,500만 유로 이상이 갈릴레오 궤도 내 검증 (IOV, In-Orbit Validation) 단계의 기술적 활동에 사용하기로 합의했었다.

'04.12월에는 국무원의 인가를 받아 중국 갈릴레오 공업(CGI: China Galileo Industries)이 설립되었다. 이 기관은 중국 과학기술부와 부속기관 NRSCC의 지원을 받으며 CASC, CASIC, CETC, China SATCOM, Shanghai Galileo Industries의 5개 기업으로부터 금전적 지원을 받는다⁵⁹⁾.

'05년에 표에 열거한 총 6,324만 8천유로의 15개 프로젝트가 승인되었으며, 참여 중단 시까지 수행하였다.

표 50 중국이 참여한 갈릴레오 관련 연구 프로젝트

일련번호	프로젝트 명
1	Fishery Applications
2	Ionosphere Studies
3	Studies on the Standardization of Location-based Services
4	China Galileo Testing Range
5	Search and Rescue Transponder
6	Laser Retro Reflector
7	RF Front-end of C-band Uplink Station
8	Local User Terminal for Galileo Search and Rescue System
9	End-to-end Verification of the Galileo Search and Rescue System
10	Early Galileo Services in China-Phase I
11	Galileo Satellite Laser Ranging Station
12	Galileo Olympic Games Demonstration
13	Galileo Mass Market Receiver
14	Early Galileo Services in China/External Integrity Monitoring/Monitoring Station
15	Galileo Satellite Laser Ranging Station-Phase II

59) 교육과학기술부, 'EU 차세대 갈릴레오 프로젝트 참여방안 연구', '12

중국은 표에 제시한 프로젝트의 참여를 통하여 위성항법시스템의 4가지 핵심 분야인, 원자시계(Atomic Clock), 전자파 차폐(Electromagnetic Shielding), 위성안테나(Satellite Antenna), 지상 수신기(Ground Receiver)의 분야에서 기술을 경험하였을 것이다. 이러한 경험이 BeiDou 시스템의 성공적인 구축에 직·간접적인 기여를 하였을 것으로 보인다.

8.3.4. IRNSS

8.3.4.1. IRNSS 구축 배경 및 경위

‘69년 인도우주연구기구인 ISRO(Indian Space Research Organization)가 신설되었고 ‘72년 우주위원회(Space Commission)와 우주위원회의 우주정책을 실행하는 우주성(DOS, Department of Space)을 신설하였다. ‘72.6월 ISRO를 우주성 산하에 배치하여 국가 우주프로그램을 실행하는 주요 기구가 되었다. 인도의 우주 프로그램은 11차 5개년 계획(‘07~‘12)의 가이드라인 하에 추진되고 있는데, 이 계획은 국민 생활 조건을 향상시키는 유형의 결과물을 제공할 수 있는 우주활용을 창출하는 데 집중하고 있다. 위성 발사용 로켓, 통신위성, 지구관측 위성 등을 자주적으로 개발하는 것에 초점을 맞추고 있다⁶⁰⁾.

인도는 ‘99년 Kargil 전쟁 시, GPS vital information에 대한 인도의 요청을 미국이 거부함에 따라 자국의 위성항법 시스템 필요성을 인지하고, ‘06년에 인도 정부가 IRNSS 구축 개발을 승인하였다. IRNSS 구축 경위는 다음 표와 같다.

표 51 IRNSS 구축 경위

년도	내용
‘08	SpectraTime社와 우주급 루비듐 원자시계 계약 (50억원)
‘13	IRNSS Navigation Center 개소
‘13	IRNSS-1A 발사 (중계기 형태: C대역 → L5/S 대역)
‘14	IRNSS-1B, 1C 발사 (항법탑재체, CDMA Ranging 탑재체, LRA)
‘15	IRNSS-1D 발사
‘16	IRNSS-1E, 1F, 1G 발사
‘16	NAVIC으로 명칭 변경

8.3.4.2. IRNSS 구축 체계 및 전략

인도의 우주개발 활동은 ‘62년 원자력 부서 하 인도국립우주연구위원회(INCOS PAR)가 설립되며 시작하였고, 인도의 우주연구개발을 총괄하는 ISRO는 ‘69년, 우주정책 개발 및 ISRO를 감독하는 우주청(DOS)는 ‘72년에는 설립되었다.

60) 교육과학기술부, ‘인도/중국 우주개발동향과 양국 간 협력방안 연구’, ‘11.



그림 52 인도 국가 우주개발 조직도

- 우주위원회(ISC, Indian Space Commission)
 - 우주위원회는 인도의 우주 정책과 가이드를 제정하고 다른 나라의 위원회와 연관된 우주활동을 관리하며 수상에게 직접 보고한다.
 - 우주위원회는 ICC(INSAT Coordination Committee), PCNNRMS(Planning Committee on Natural Resources Management System), ADCOS(Advisory Committee on Space Sciences) 등의 타 국가위원회의 지원을 받는다.
- 우주성(DOS, Department of Space)
 - 우주청은 인도의 우주정책을 실행하며 인도 민간 우주프로그램 활동을 정의하고 위성으로부터 데이터를 획득하고 이를 가공 및 배분하는 National Remote Sensing Agency를 관리한다.
 - 인도우주프로그램의 행정부분을 책임지고 있는 정부 조직으로 인도우주연구기관(ISRO, Indian Space Research Organisation), 물리연구소(Physical Research Laboratory), 국가 대기연구소(National Atmospheric Research Laboratory), 북동 우주활용센터(North Eastern Space Application Center), 반도체연구소(Semi-Conductor Laboratory)를 산하기관으로 두고 있다.
 - 위성통신, 위성항법, 원격탐사, 참여 업체, 상업화, 인적 자원 개발, 기술 역량의 지속적 개발 등 인도의 주요 우주정책을 총괄관리하고 있으며 수상과 우주위원회에 보고한다.

- 인도우주연구기관(ISRO, Indian Space Research Organization)
 - ISRO는 통신위성, 지구관측위성, 고학위성, 우주발사체 등을 개발하며, 우주 산업을 지원하고 재난관리를 지원한다.
 - 11차 및 12차 우주개발 5개년 계획('12~'17)에 포함된 인도 위성항법 정책의 일환으로 인도의 독자 위성항법 시스템인 IRNSS의 구축 및 운영을 담당하고 있다.
 - 인공위성, 발사체에 대한 연구개발은 물론이고, 인공위성 및 발사체를 지원하는 지상 설비의 설계 및 연구 개발 등을 포함한 인도 우주개발산업의 중추적인 역할을 담당하고 있으며, 그 산하의 VSSC, LPSC, SDSC-SHAR, ISAC 등과 같은 다수의 센터를 통하여 우주개발과 발사, 운용, 관리 등과 같은 관련 임무를 수행할 수 있도록 하는 기능을 갖추고 있다.



그림 53 ISRO 조직도

- Antrix
 - DOS의 상용 부분을 담당하는 국영기업으로서 우주분야의 판매, 국제 우주시장 개척, 인도 우주 프로그램과 관련된 상품 및 서비스의 세계 시장 진출을 담당한다.
 - ISRO는 본래 임무가 수상 직속의 우주개발위원회 및 DOS를 통하여 수립된 우주관련 정책들을 실현할 수 있도록 우주관련 기술을 보다 구체적으로 국가연구개발을 전담하는 기관이어서, 사업적인 차원에서 한계가 있으므로 연구실적의 홍보 및 마케팅이 보다 전문적이고 효율적으로 이루어질 수 있도록 '92년에 설립되었다.

인도의 Compatibility 및 Interoperability 관련 협력 사례는 다음과 같다. 미국과는 협력을 위한 공동성명을 발표하고, 주파수 Compatibility 협상을 완료하였으며 정기적으로 민간 우주분야 워킹그룹 회의를 개최하고 있다. 또한 러시아와는 GLONASS 신호 공유를 위한 협정(Agreement)을 체결하고 위성항법 협력을 위한 공동성명을 발표하였다.

그러나 EU와는 아직 호환성 및 상호운용성 관련 논의를 진행 중이다.

표 52 IRNSS의 호환성 및 상호운용성 협력 사례

대상 국가	년도	내용
미국	‘07	공동성명 발표(establishing cooperation)
	‘13	주파수 Compatibility 협상
	‘15	CSJWG(Civil Space Joint Working Group) 정기 개최
러시아	‘10	GLONASS 고정밀 신호 공유 협정 체결
	‘15	공동성명 발표
EU	—	협상 중

구축 예산과 관련하여 인도는 IRNSS 프로젝트의 총 비용으로 약 4,000억원을 예상했으며, 지상국 비용은 500억원, 7기의 위성 비용은 1,570억원, 7기의 발사체 비용은 1,750억원이다⁶¹⁾. 여기서 1기 위성 비용이 250억원, 발사체 비용이 250억원인 것으로 볼 때, 민간 우주 프로그램의 예산만 고려한 것으로 판단된다. 참고로 ‘04년에서 ‘09년까지 인도의 민간 우주 프로그램의 지출액은 다음 표와 같으며, 우주 활동에 대한 정부 할당액은 ‘90년부터 점차 증가해 ‘09년에는 445억 9,000만 루피(약 7,674억원)에 달했다⁶²⁾.

표 53 민간 우주 프로그램 지출액 (단위: 백만루피)

현재 루피화	‘04	‘05	‘06	‘07	‘08	‘09	CAGR (‘04~‘09)
총액	25,400	25,750	29,970	32,900	35,900	44,590	12%
일반 예산	745	1,172	1,830	781	192	950	5%
위성 통신	4,258	2,931	4,732	5,781	2,412	4,542	1%
위성 항법	0	100	2	940	2,000	2,700	—
지구 관측	2,636	2,954	2,429	2,356	2,173	2,935	2%
우주 과학	1,394	166	1,507	1,904	1,803	1,937	7%
개발	60	1,427	1,156	1,312	880	900	72%
기술	3,671	4,624	4,763	4,384	5,797	7,067	
우주 비행	0	0	0	40	420	500	—
발사체	12,636	13,376	13,551	15,403	18,424	23,060	13%

61) HindustanTimes, <http://www.hindustantimes.com/india/isro-starts-countdown-to-launch-fifth-navigation-satellite-irns-1e/story-qSv6U8T8dT4pRThRHc3VIO.html>

62) 교육과학기술부, ‘인도/중국 우주개발동향과 양국 간 협력방안 연구’, ‘11.

8.4. 국가 위성항법 시스템 개발 방안 연구

8.4.1. 기술 개발 요소 도출 및 제약 조건 분석

국가 위성항법 시스템 개발 시 요구되는 기술 개발 요소는 다음과 같다.

표 54 기술 개발 요소

번호	기술 개발 요소
1	위성군 및 궤도 설계
2	좌표계 기준 확립
3	시간계 기준 확립
4	원자시계 소형화 및 탑재
5	항법신호 설계 및 생성 모듈 개발
6	위성간 거리 측정 기술
7	지상국
8	정밀궤도결정 기술
9	지상 테스트베드

각 기술 개발 요소에 대한 제약 조건은 다음과 같다.

○ 위성군 및 궤도 설계

- 위성군 분포와 지상감시국 분포는 수신기 위치 정확도와 가용성에 영향을 미친다.
- 사용자 위치와 시계오차를 측정하기 위해서 최소 4개 이상의 가시위성이 필요하다.
- 좁은 한반도 영역에 대하여 효율적으로 4개 이상의 가시 위성을 확보하기 위해서는 정지궤도의 활용이 불가피하다.
- 위성의 궤도가 인접국과의 마찰이 없도록 설계할 필요가 있다.
- 위성항법 특화센터에서 위성 궤도와 관련된 기초 연구를 수행한 바 있다.

○ 좌표계 기준 확립

- 좌표계 기준은 항법위성의 궤도 정보에 크게 영향을 미친다.
- 국가 위성항법 시스템은 지역 위성항법의 협력성으로 인하여 전역 좌표계 수립에 난점이 예상된다.
- ITRF와의 명료한 관계 수립이 필요하다.

○ 시간계 기준 확립

- 국가 위성항법 시스템의 시간계 기준은 UTC와의 명료한 관계를 수립해야 할 필요가 있다.
- 시간계 기준은 항법위성의 방송 궤도력의 설계에도 영향을 미친다.

- 기존 위성항법시스템은 각 위성과 지상감시국에 각각 다중화된 원자시계를 설치하고 이들을 평균하여 시간계의 기준으로 활용한다.
- 일반적으로 시간계 기준의 정확도는 기준 시간의 구현에 참여하는 원자시계의 개수에 비례한다.
- 국가 위성항법 시스템과 같은 지역 시스템은 운용하는 위성과 지상감시국의 수가 상대적으로 작으므로 시간계 기준의 정확도에 제약 조건으로 작용할 수 있다.
- 원자시계 소형화 및 탑재
 - 국내에서 원자시계 관련 연구 개발 경험은 있으나 지상 실험 모델 정도의 수준에 해당된다.
 - 원자시계를 위성에 탑재하기 위해서는 소형화 및 경량화와 우주 환경에 대한 대비가 필요하다.
 - 또한, 원자시계에 가해지는 중력장 가속도와 운동 가속도 관점에서도 지상 환경과 우주 환경은 현격하게 다르므로 상대성 이론에 의한 원자시계 보상이 필요하다.
 - 단기간 내에 탑재용 원자시계 모듈의 국산화 개발은 어려울 것으로 예상되므로, 단기적으로는 국외에서 구매 활용하고 장기적으로는 자체 개발하는 접근이 필요해 보인다.
- 항법신호 설계 및 생성 모듈 개발
 - 항법신호 생성 모듈은 소형화된 원자시계에 연동하여 다중 주파수 반송파 및 의사거리 신호 생성하는 기능을 수행한다.
 - 공공 안전을 위한 암호화 변조 코드 생성 기능도 수행할 필요가 있다.
 - 일반적으로 신호 생성 모듈은 신호 수신 모듈과 유사하지만 대칭적인 구조를 가지므로 기술적인 관련도가 높다.
 - 현재까지 국내에서 위성항법 수신기의 개발은 일부 경험이 축적되어 있으나 항법신호 생성 모듈의 개발 경험은 부족하므로 국가 위성항법 시스템 개발 시에 제약 요건으로 작용할 수 있다.
 - 위성항법 특화센터에서 항법신호 생성과 관련된 기초 연구를 수행한 바 있다.
- 위성간 거리 측정 기술
 - 좁은 한반도 영역에서 지상감시국의 의사거리와 위상 측정치만을 활용하여 국가 위성항법 시스템 시간계와 좌표계를 관리할 경우에는 정확도가 크게 제한될 수 있다.
 - 이를 극복하기 위해서는 위성간 거리 측정 기능이 필수적이다.
 - 국내에서 위성간 거리 측정 모듈의 개발 경험은 부족하다.
 - Galileo와 BeiDou의 개발 예를 참고하여 위성간 거리 측정 모듈을 초기에는 해외구매하고 장기적으로는 국산화할 필요가 있다.
- 지상국 기술

- 다수의 지상감시국들은 항법위성에서 송출한 신호를 수집한다.
- 임무제어국에서는 다수의 지상감시국에서 수신한 항법신호를 취합하여 시계 오차, 궤도 오차, 전리층 지연, 대류권 지연의 보상 파라미터를 실시간에 생성해야 한다.
- 임무제어국과 지상감시국은 각각 다수의 원자시계를 운용할 수 있으며, 운영국은 각 위성과 각 지상국의 원자시계 정보를 취합하여 시간계 기준을 생성한다.
- 지상감시국은 필요에 따라 전리층/대류권 지연의 추정에 도움을 줄 수 있는 다양한 보조센서를 운용할 수 있다.
- 국내에서는 위성 시계 오차, 궤도 오차, 전리층 지연, 대류권 지연과 관련하여 사용자 관점에서 연구는 많이 수행되어 왔으나 인프라의 구축과 운용 관점에서의 연구 개발이 상대적으로 미비했으며 특히 임무제어국에 대한 기술이 부족하다.
- 지상국 기술의 일부는 현재 진행되고 있는 한국형 SBAS 사업을 통하여 일부 확보할 수 있는 방안 마련이 필요하다.
- 지상국의 설계와 구축은 기술적 난이도가 높으므로 개발기간 단축을 위하여 선진국과 공동개발을 추진할 필요가 있으리라 예상된다.
- 그러나 지상국은 위성항법 시스템의 주요 핵심기술에 해당하므로 장기적으로는 자체 개발이 필요하다.
- 정밀궤도결정 기술
 - 항법 위성의 궤도 검교정에 필수적인 기술이다.
 - 정밀궤도결정을 위해서는 인공위성 레이저 추적시스템이 널리 활용되고 있다.
 - 국내에서는 저궤도 위성에 대한 레이저 추적시스템을 개발한 경험이 있다.
 - 항법위성의 정밀궤도결정을 위해서는 정지궤도 위성에 대한 레이저 추적시스템을 개발할 필요가 있으며 실시간성에 대한 연구도 필수적이다.
- 지상 시뮬레이션 시설
 - 위성탑재 항법 신호 릴레이 혹은 항법 신호 생성기의 기능을 모사하는 송신부와 모사된 항법 신호의 수신과 측정 및 분석을 위한 수신부로 구성된다.
 - 유럽의 Galileo 개발 시에 활용된 GATE 시험 시설과 같이 항법탑재체와 사용자 부분의 설계 및 평가에 필수적인 시설에 해당된다.
 - 다수의 지상감시국, 임무제어국, 시각제어국, 궤도결정국의 시뮬레이션 기능을 포함해야 한다.
 - 단일 및 다중 주파수 사용자 수신부의 기능을 수행하고 분석할 수 있어야 한다.
 - 의사거리 측정치와 위상 측정치의 활용과 검교정 기능의 시뮬레이션에 필수적이다.
 - 핵심 기술에 해당하므로 가급적 자체 개발하되 불가피한 경우에는 해외 장비를 활용하는 방향으로 접근이 필요하다.

8.4.2. 국가 위성항법 시스템 구축 모델

8.4.2.1. 위성

- 항법 위성군을 구성하는 위성의 종류로는 정지궤도, 경사궤도, 고타원궤도, 중궤도 위성이 있으며, 국가 위성항법 시스템은 정지궤도와 경사궤도 위성으로 구성한다.
 - 중궤도 위성의 경우, 관측 시간이 짧고(하루에 약 5시간) 전지구적 모니터링 시스템이 필요하다.
 - 고타원궤도 위성의 원지점고도는 45,000~50,000km이므로 전력 소모가 많다.
- 위성의 개수는 DOP(Dilution of Precision)와 비용 등을 고려하여야 하며, 국가 위성항법 시스템은 7기의 위성으로 구성한다.



그림 54 국가 위성항법 시스템 구성

8.4.2.2. 지상국

- 지상국은 지상감시국, 궤도결정국, 시각제어국, 네트워크제어국, 위성항법 임무제어국, 상향국과 위성관제국으로 구성된다.
 - PNT 서비스를 위한 지상감시국은 6개를 운용하되, 유사시에 대비하여 내륙에 4개 이상을 설치하도록 하며, 성능 향상을 위해 5~6개 정도를 해외에 추가 설치하는 것도 고려할 수 있다.
 - 미터급 보강 서비스를 위한 지상감시국은 PNT 서비스용 지상감시국을 활용하며,

필요 시 GPS 상시관측소와 연동한다.

- 서브미터급 보강 서비스를 위한 지상감시국은 PNT 서비스용 지상감시국과 GPS 상시관측소를 연동하고 네트워크를 통해 IGS(International GPS Service) 정보를 획득한다.
- 임무제어국에서는 각 서비스에 필요한 정보를 생성한다. 기본적으로 PNT 서비스에 필요한 항법 데이터(위성궤도 정보, 위성시계 정보)를 생성하고, 보강 서비스를 위한 보정정보(위성궤도오차, 위성시계오차, 전리층지연, 대류권지연)를 생성한다.



그림 55 국가 위성항법 시스템 서비스 종류에 따른 구성

- 궤도결정국은 CDMA 신호 또는 SLR(Satellite Laser Ranging) 기반으로 위성의 궤도(위치)를 추정한다.

8.4.2.3. 궤도 (안)

- 국가 위성항법 시스템의 궤도는 정지궤도(GEO)와 경사궤도(EIGSO)로 구성된다.
- 정지궤도 위성은 기 확보한 128.2도에 1기를 배치하고, DOP와 SBAS 탑재체 공동 활용을 고려하여 동경 88도 부근과 동경 168도 부근에 각 1기를 배치한다.
- 경사궤도 위성은 동경 128도를 중심으로 경사각 41도와 이심률 0.075를 갖도록 한다⁶³⁾.

63) 국방위성항법특화연구센터 위성항법시스템 아키텍처 연구실 2단계 종결보고서, '16.

8.4.2.4. 주파수

- 국가 위성항법 시스템의 주파수는 ITU에서 위성항법용으로 분배한 주파수 대역에 대하여 국제등록 신청을 실시하고, 국가 간 조정·협상 결과를 반영하여 최종 결정하도록 한다.
- 현재 ITU에서 위성항법 용도로 분배한 주파수 대역은 L5(1151~1215MHz) 대역, L2(1215~1260MHz) 대역, L6(1260~1300MHz) 대역, L1(1559~1610MHz) 대역, S(2483.5~2500MHz) 대역과 C(5010~5030MHz) 대역이 있다.

8.4.2.5. 좌표계

- 국가 위성항법 시스템은 자체 기준좌표계를 수립하되 국제 표준 좌표계인 ITRF(International Terrestrial Reference Frame)로부터 허용 오차 이내가 되도록 관리한다.
- 좌표계 기준점은 지상감시국이 되며 ITRF 좌표계로 변환 가능한 변환 상수를 제공해야 한다.

8.4.2.6. 시간계

- 국가 위성항법 시스템은 자체 시간계를 수립하되 국제 표준 시간계 UTC와 일정한 관계를 가지며 허용 오차 이내가 되도록 관리한다.
- 자체 시간계는 국가 위성항법시스템의 지상국과 항법위성에 설치된 원자시계들의 조합만으로 결정되도록 한다.

8.4.3. 위성 확보 방안

- 정지궤도 복합위성 플랫폼을 활용해야 하며, SBAS 등의 탑재체와 최대한 공동 탑재하는 방안을 고려해야 한다.
- 우주개발 중장기 계획에 의하면 ‘17년부터 ‘30년까지 총 14 기의 정지궤도 위성, 4 기의 다목적 실용위성, 25 기의 중형위성을 발사할 예정이다.
- 항법위성의 발사를 위해서는 중장기 위성 발사 계획을 참고하고 각 위성체 별로 확정된 탑재체와 여분 공간을 확인할 필요가 있다.



그림 56 우주개발 중장기 계획
(‘13.11월, (舊)미래창조과학부)

8.5. 추가 고려 사항

본 절에서는 국가 위성항법 시스템의 개발과 구축에 있어서 추가적으로 고려되어야 할 사항들을 다음과 같이 정리하였다.

- 주파수/신호체계 공유 vs 새로운 주파수 사용 및 자체 개발
 - 현재까지 개발된 모든 위성항법 시스템은 L 대역에 집중되어 있음
 - 예외적으로, 인도의 경우 S 대역에 자국 및 인접지역 서비스용 지역 위성항법 시스템을 구축하였음. 그 결과 인도의 입장에서는 국제 위성항법 수신기 시장 접근이 불가능한 상태임
 - 민간 신호를 L 대역에서 설계 활용할 경우 부가적인 경제적 이득을 취할 수 있음
 - 대외적으로 타 국가와 위성항법 주파수 공동 및 호환사용에 대한 논의 시 신호설계팀이 대화의 주축적인 역할을 담당하는 것이 바람직함
- 개발 기간의 장기성과 문서화의 필요성
 - 기존 위성항법 시스템은 시스템 초기설계 시기와 서비스 개시 및 이용 시기 간에 차이가 20~30년
 - 미래 서비스 사용자들의 성능요구사항을 반영하여 초기 설계를 수행하는 것이 중요
 - 위성항법 연구 개발은 동일한 시스템을 2세대 이상의 연구자들이 세대에 걸쳐 개발하는 형태임
 - 따라서 연구개발 내용의 상세한 문서화(Documentation) 작업이 매우 중요함
- 전문 교육 프로그램의 운영
 - 위성항법 시스템을 설계하고 구축하기 위해서는 통신, 항법, 시스템 등에 대한 심도 있는 기술적 이해와 언어적 능력까지 갖춘 다학제적 고급 인력이 필요함
 - 개발 기간의 장기성으로 인하여 신규 세대에 대한 지속적 교육이 필요함
 - 위성항법 분야 국내외 전문가로 구성된 1~2주의 단기간 집중 교육과정을 정기적으로 운영하여 신규 세대에게 기존의 전문가들이 수십 년간에 걸쳐 쌓아온 지식을 전수받을 기회를 제공하는 것이 바람직함
- 협업 중요성
 - 민·관 및 산·학·연의 다양한 기술적 의견 수집, 분석, 수렴 과정이 중요
 - 협업 기관 사이에 이견이 발생할 경우 이를 적절히 조정하는 방안이 필요함
- 설계 도구 개발의 중요성
 - 다양한 시스템/신호 설계 도구의 단계적 개발이 필수적임. 특히 a~c는 정식 위성항법시스템 개발 착수 전에 수행되어야 함
 - a. 제도설계 Tool

- b. 해석적 모델기반 신호설계 S/W Tool
- c. 수치적 신호설계 및 수신기 성능검증 S/W Tool
- d. HILS 기반 신호설계 및 수신기 성능검증 Tool
- e. 지상 테스트베드 (예: 미국 Yuma Test Range, 독일 GATE)
- f. 궤도 내 검증 (IOV, In-Orbit Validation)용 위성 1~2기 발사
- 신기술에 대한 모니터링
 - 물리적 한계(Physical Limits)를 극복하기 위한 다양한 신기술이 필요
 - <예> C 대역은 L 대역보다 중심주파수가 3배 높으므로 도플러 및 클럭 영향에 취약함
 - <예> S 대역은 L대 역과 거의 비슷한 대역(2.5 GHz)이므로 수신기 및 위성 측면에서 특별한 물리적 한계사항은 없으나, 현재 이동통신에서 많이 사용하는 대역이므로 주파수 혼신/교란 극복방안이 연구되어야 함.
 - 위성항법 시스템은 연구기획부터 서비스 개시까지 장기간이 소요되므로, 미래 서비스 개시시기에 사용자의 요구 성능을 만족시키기 위하여 신기술에 대한 모니터링과 분석을 꾸준히 수행하는 것이 필요함
- 위성항법 협력센터의 건립
 - 원천기술 확보하여 원천 기술력을 강화하고 차세대 위성항법 시스템 개발에 대비
 - 안정적인 지원을 통하여 기술 선진국과의 기술 협력 네트워크를 수립
 - 정기 심포지움을 개최하여 산·학·연간 기술 교두보를 마련

9. 국가 위성항법 시스템 기술 개발 로드맵 수립

9.1. 핵심기술 도출

위성항법 시스템의 구성은 크게 우주부문, 지상국 부문 및 사용자 부문으로 이루어져 있어 해당 부문별로 핵심기술을 도출하고자 한다.

9.1.1. 우주부문

우주부문의 핵심기술은 크게 항법신호 생성기술, 위성탑재용 원자시계 기술, 항법위성간 시각동기기술 및 항법 중계기 기술로 구분하였고, 해당기술별 내용은 다음과 같다.

9.1.1.1. 항법신호 생성기술

항법신호 생성기술은 우주공간에 배치되는 정지궤도 및 경사궤도상의 항법위성들의 식별에 사용됨은 물론 Ranging 용으로 사용되는 위성식별코드(PRN) 생성기술과 항법데이터 생성기술이 핵심기술로 식별된다. 위성식별코드 생성기술은 동일한 주파수 대역을 사용하면서도 기존 운영 중인 모든 위성들과의 혼신이 발생되지 않게 송신할 수 있도록 해야 하고 항법데이터 생성은 위성의 건강상태, 위성에 대한 위치 및 속도정보, 모든 위성에 대한 Almanac 정보 및 클럭 바이어스 파라미터 등이 포함되는 항법데이터 생성 후 프레임 구조로 생성시키는 기술이다.

- 위성식별코드 생성기술 : 위성항법시스템을 구성하는 정지궤도 및 경사타원궤도상에 배치되는 위성별 식별코드를 생성하기 위해서 코드 위상(Code Phase) 및 코드 지연칩(Code Delay chips)을 설정하는 코드 위상 할당을 수행하여야 한다. 이를 위해 두 개의 레지스터를 이용해 생성되는 시퀀스 열을 조합시켜 코드를 생성한다.
- 항법데이터 생성기술 : 정지 및 경사타원궤도상에 배치된 위성이 방송하는 항법메시지에는 각 위성이 신호를 송출하는 시각, 위성위치, 위성 건강상태, 위성클럭보정정보, 전파지연 영향, 모든 위성에 대한 대략적인 궤도데이터인 Almanac 정보가 포함시켜야 한다, 또한 항법메시지에 대한 프레임 구조, 각 프레임당 데이터 비트 수 등을 포함한 항법메시지 구조를 설계하여야 한다.

9.1.1.2. 위성탑재용 원자시계 기술

위성을 통한 PNT 서비스 제공을 위해서는 위성원자시계 기술이 정밀궤도 추정 성능부터 사용자 수신기의 측정치 성능에 이르기 까지 위성항법 시스템 성능을 결정짓는 핵심 기술이다.

- 레이저 생성 기술 : 원자시계의 단기안정도를 결정하는 중요한 기술이다. 고성능 반도체 레이저를 기본으로 하고 이 주파수를 루비듐 포화흡수 공진신호에 안정화 한다. 필요에 따라 안정화가 실패할 경우 다시 안정화를 할 수 있도록 해야 하고, 원자시계의 목표 성능 위한 정해진 장기 및 안정도를 달성해야 한다.

- 마이크로파 공진 기술 : 원자시계의 가장 중요한 핵심기술로서 원자증기셀, 마이크로파 공진기, 전자장생성코일, 온도조절부, 자기차폐기 등으로 이루어져 있다. 탑재형 원자시계의 경우 부피 및 무게의 제약이 있으므로 6.8GHz 기본 마이크로파 공진기를 사용하지 않고 마그네트론 형태의 소형화된 공진기를 사용한다. 소형 공진기의 경우 공진주파수를 알 수 없기 때문에 컴퓨터 모사를 통해 최적화 후 설계/제작해야 한다. 마이크로파 공진부의 온도 및 자기장의 안정도는 원자시계의 장기 안정도를 결정하는 인자이므로 컴퓨터 모사를 이용한 최적화 설계/검증이 필요하다.
- 저잡음 주파수 합성 기술 : 광원과 함께 원자시계의 단기안정도를 결정짓는 기술로 기준발진기(10MHz)로부터 루비듐원자의 공진주파수인 6.834GHz를 생성하고 높은 정밀도로 주파수를 조절하기 위한 기술이다. 기준발진기의 위상잡음이 매우 낮아야 하며 주파수 체배 시에는 잉여위상잡음이 최소화 되도록 설계/제작해야 한다.
- 원자시계 제어 기술 : 레이저의 주파수를 원자의 광주파수 공진선에 안정화 할 때 필요한 레이저 안정화 서보와 기준발진기를 원자의 마이크로파 공진선에 안정화하는 마이크로파 주파수 안정화 서보로 나눈다. 이는 우주환경에서 발생할 수 있는 다양한 돌발 상황을 판단하고 대처하기 위한 이중화 알고리즘이 고려되어야 한다.

9.1.1.3. 위성 시각동기 기술

위성시각 동기 기술은 지상국의 시스템타임을 기준으로 각 위성의 위성시각을 동기 시키기 위한 기술이다. 해당 기술은 지상국과 위성 간 시각비교 방식에 따라 단방향 시각 전송 기법과 양방향 시각전송 기법으로 구분할 수 있으며, 동기 대상과 요구 성능에 따라 요구되는 기술이 다양하게 파생될 수 있다.

- 시각 비교 기술 : 위성시계를 기준으로 생성한 임의의 신호를 매개로 지상국의 시스템타임과 시각차를 비교하기 위한 기술이다. 기존 전역 위성항법 시스템과 같이 위성시계를 기준으로 생성하여 송출된 항법신호를 지상감시국에서 수신하여 시각 비교를 수행하는 단방향 시각전송 기법과 지역 위성항법 시스템에서 고안했던 JRANS의 RESSOX (REmote Synchronization System for the On-board crystal oscillator) 혹은 TWTT (Two-way Time Transfer)와 같이 양방향 시각전송 기법에 대한 검토가 가능하다.
- 시각오차 검출 기술 : 시각 비교 과정에 포함된 오차 요소를 추정 및 보정하여 시각오차를 산출하는 기술이다. 이를 위해 고려하는 요소는 위성 시스템의 지연시간 (전송선로, 앰프, 안테나), 대류층 및 전리층 전파지연, 지상국의 시스템의 지연시간, 수신 신호의 도플러 효과 등이 있으며, 시각오차 검출 주기를 고려하여 위성원자시계의 오차 모델 추정이 필요하다. 여기서 단방향 시각 비교 기법의 경우 시각오차 검출 성능은 위성궤도 추정 성능과 깊은 상관성을 가진다.
- 시각오차 감시 및 제어 기술 : 시각오차 감시 및 제어 기술은 시각 비교 기술 및 시각오차 검출 기술을 통해 산출한 위성원자시계의 시각오차를 보상하고 이상이 발생한 위성원자시계에 대한 무결성을 판단 및 조치하기 위한 기술이다.

9.1.1.4. 항법 중계기 기술

항법 중계기 기술은 아래 그림과 같이 중계기 기술뿐만 아니라 안테나 기술을 포함하는 것으로 가정하였다.



그림 57 항법 탑재체 구성

- 항법중계기 기술 : 항법중계기 기술은 지상에서 항법위성 제어 관리를 위한 정보 송수신하기 위한 원격관리 및 제어기술, 항법신호를 생성하고 이를 지상으로 송신하는데 필요한 코드 생성기 기술, 항법신호 생성기 기술, 주파수 변환기술, 신호증폭 기술, 다중화 기 기술 및 원자시계 기술 등이 포함된다. 중계기 기술의 하나의 예로 그림에 제시한 갈릴레오 시스템 본격개발에 앞서 개발했던 궤도 내 검증위성 GIOVE-B (Galileo In orbit Validation Element-B) 탑재체 구성도를 들 수 있다.



그림 58 항법위성 탑재체 구성도(예시)

그림에 도시한 내용을 참고하여 항법중계기 및 안테나 구성하는 해당부품에 대한 설계, 성능검증, 제작, 시험 및 중계기 종합화 기술이 핵심기술로 분류할 수 있다.

- 항법중계기 구성부품 요구규격, 설계 및 성능검증 기술 : 항법중계기는 수동부품과 능동부품으로 이루어지고 수동부품에는 수신 및 송신안테나, 필터 및 다중화기 등이 포함되고 능동부품에는 원자시계, 클럭 감시 및 제어 장치 기술, 수신모듈, 항법 신호 생성장치 기술, 주파수 생성장치 및 변환기술, 고출력 증폭기 등이 포함된다, 이들 부품들에 대한 요구규격을 선정하고 설계함은 물론 중계기 차원에서의 성능을 검증할 수 있는 기술이 핵심기술이다.
- 항법중계기 구성부품 제작 및 시험기술 : 앞서 기술한 항법중계기 구성부품들에 대한 성능검증 결과를 바탕으로 각 장치별 제작 및 시험기술을 위해 성능검증 모델 (Qualification Model, QM) 제작을 통해 해당부품들에 대한 성능을 확인하고 우주급 모델(Flight Model, FM)을 제작하고 시험기술을 핵심기술로 분류한다.
- 항법중계기 종합화 기술 : 항법중계기를 구성하는 수동부품 및 능동부품을 부착해 위성버스체와의 연동을 위해서는 중계기 패널에 중계기를 구성하는 부품을 장착시키고 해당부품에 대한 성능을 검증할 수 있는 기술도 핵심기술로 분류한다.
- 항법안테나 기술 : 정지궤도 및 중궤도에 배치된 항법위성을 통해 항법신호를 한반도 및 주변지역 또는 보다 넓은 지역에 제공하는 것은 각 항법위성에 탑재되는 항법안테나를 어떻게 구현하느냐에 따라 결정되므로 위성안테나 규모 설계 및 제작기술이 핵심기술로 분류된다. 항법신호를 지상으로 송출하는데 필요한 송신용 안테나 형태로 GPS 위성과 같은 Helix Type의 안테나를 이용할 경우에는 관련 기술에 대한 노하우가 없는 상태인 점을 고려해 Helix Type 안테나에서의 빔폭 설정기술, 안테나 이득 설계 기술 등이 포함된 Helix Type 안테나 기술을 핵심기술로 식별할 수 있다. 아래 그림은 Helix Type 안테나 제작 예를 나타낸 것이다.



그림 59 Helix Type 안테나 제작 예

9.1.2. 지상국 부문

9.1.2.1. 정밀궤도 결정 기술

항법위성의 궤도 결정 기술은 시스템 운영에 있어 가장 핵심적인 부분에 해당한다. 정밀한 궤도 추정은 지상과 우주에서의 항법시스템 활용의 정밀도에 직접적인 영향을 주기 때문이다. 또한, 위성의 궤도추정 과정에 포함되는 관측모델은 지상에서의 위치정밀도뿐 아니라 우주환경, 대기, 지각운동 등 항법 시스템의 활용분야에 직간접적으로 연관되어 있다. 궤도 추정 기술은 크게 정밀 궤도 전파 기술, 정밀 관측 모델링 기술, 궤도 추정 자료처리 기술로 구분할 수 있다. 즉, 항법 위성을 하나의 동역학 시스템으로 간주하면, 항법위성의 동역학 시스템과 그 시스템을 관측하기 위한 관측 모델 그리고 상태추정(필터링)기술을 이용한 위성의 궤도 추정기술로 구분할 수 있다.

- 정밀 궤도 전파 기술 : 정밀 궤도 전파 기술은 위성의 궤도 동역학 방정식에 해당하는 것으로 현재의 위성 궤도정보를 이용하여 미래의 궤도를 예측하는 기술이다. 일반적으로는 지구를 점질량을 가정했을 경우의 타원운동에 섭동력이 포함된 형태로 기술할 수 있다. 따라서 섭동력을 어느 수준으로 정밀하게 모델링하느냐에 따라 그 성능이 결정된다. 다음은 주요 개별 섭동력들과 이를 구현하기 위해 필요한 자료와 기술들이다.

－ 섭동 모델 생성 기술 : 모델의 경우 아래의 다양한 모델들의 구현이 필요하다.

구분	모델
기준계 구현 모델	기준좌표계/시간계 변환모델, 천구기준/지구기준 좌표변환모델
비대칭 중력장 섭동	지구 중력장 모델, 태양 조석모델, 강체조석 모델
대기항력 섭동	위성체 3D 모델, 대기밀도 모델, 태양활동 모델
태양복사압 섭동	위성체 3D 모델, 태양활동 모델
지구복사압 섭동	위성체 3D 모델, 지구복사 모델
3체 섭동	태양계 행성궤도 모델
일반상대론 섭동	Post-Newtonian 모델

- － 수치적분 최적화 기술
- － 생성 궤도 검증 기술

정밀 궤도 전파 기술은 궤도 추정기술뿐만 아니라 항법위성 시스템을 운영하기 위한 궤도예측에도 필수적인 기술이다. 다만, 궤도 예측을 위한 경우와 궤도 추정을 위한 경우에 따라 섭동력 모델의 수준은 달리 적용되기도 한다.

- 정밀 관측 모델링 기술 : 현재 운용중인 항법시스템의 신호는 항법신호인 전파신호와 정밀궤도추정을 위한 탑재되는 레이저반사경을 통해 관측하는 SLR 관측이 대표적이다. 이들 신호는 위성 고도에서 지상감시국까지 신호가 도달하는 과정에 다양한 오차들이 더해진다. 대표적으로 관측모델은 다음과 같다.
 - 시계 오차모델
 - 전리층 오차 모델
 - 대류층 오차 모델
 - Multipath 모델
 - 상대론 효과 모델
 - 위상중심변위(Phase Center Variation, Phase Windup) 모델
 - 지상국 좌표 오차 모델
- 궤도 추정 자료처리 기술 : 위성항법 시스템에서 필요로 하는 궤도 추정 자료처리 기술은 필터링 기술로 위성 관제를 위한 궤도결정의 수준이 아닌 궤도정밀도가 2-3cm인 정밀 궤도결정 추정 기술이다. 이를 위해서는 정밀 궤도전파모델과 정밀 관측 모델을 통합하여 추정모델을 생성하고 이를 필터링하는 항법시스템에 특화된 전처리 기술이 필요하다.
 - 추정모델 생성기술
 - 자료 필터링 기술: 순차필터, 스무딩, 배치 필터 등

9.1.2.2. 전파지연 예측기술

전파는 지구를 둘러싼 대기권에 영향을 받는다. 대기 수증기량과 총전자량에 의한 전파 굴절은 위성항법체계에서 주요한 관측오차이다. 수증기량과 총전자량은 시간과 장소에 따라 변화 경향이 다르고 기술적 오차와 같이 완벽히 제거할 수 없는 오차이므로 지속적인 분석연구를 통한 모델개발이 필요하다.

○ 대류층에 의한 전파지연 예측기술

위성항법 신호는 지구대기권의 대류층을 통과하면서 수증기를 포함한 다양한 대기 구성성분에 의해 경로 굴절과 지연이 발생한다. 따라서 지상국에서 수신하는 위성항법 데이터의 정밀한 처리를 위해서는 이러한 지연량 보정이 반드시 필요하다. 대류층 지연량은 관측소 연직상공의 지연량으로 나타낼 수 있으며 관측소 천정방향 총 지연량(Zenith Total Delay, ZTD)은 천정방향의 건조지연량(Zenith Hydrostatic Delay, ZHD)과 습윤지연량(Zenith Wet Delay, ZWD)의 합으로 표현할 수 있다.

ZTD는 대략 2~3m 정도이며, 이 중 수증기에 의한 습윤지연은 10% 정도에 불과하다. ZHD의 경우, 0.3 hPa 미만의 오차를 가지는 기압계를 사용하면 지상 관측자료만으로 1mm 오차 수준으로 보정할 수 있다. 지상기압과 관측소 고도만을 이용하여 중성 대기 가스에 의한 ZHD는 매우 정밀하게 알아낼 수 있지만, 시공간적 변화 크기가 크고 예측

불가능한 ZWD는 정확한 양을 결정하기 어렵다. 따라서 보다 정확한 수증기 분포도 추정을 위해서는 선험적 방법을 이용한다. 선험적 방법에 의한 ZTD는 선험적 건조지연량인 AHD(A priori Hydrostatic Delay), 선험적 습윤지연량 AWD(A priori Wet Delay)와 선험적 지연량에 대한 보정항인 ZDC(Zenith Delay Correction)의 합으로 나타낼 수 있다. 여기서 ZDC는 위성항법 자료 처리과정에서 추정한다. 천정방향 습윤지연량(ZWD)은 평균온도식을 사용하면 ZWD와 가강수량 사이의 변환인자를 계산할 수 있어 대기중의 단위면적당 총 수증기량을 의미하는 가강수량으로 쉽게 환산할 수 있다. 최근에는 위성항법 신호의 대류층 지연정보로부터 산출한 가강수량을 활용하여 태풍, 집중호우와 같은 자연재해의 감시를 위한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.

대류층에 의한 전파지연 오차보정과 예측을 위한 기술 분류는 다음과 같다.

구분	설명
대류층 전파 지연량 산출 기술	천정방향 지연량 (Zenith Total Delay) 산출 기술
	경사방향 지연량 산출 기술
	수평방향 지연 변화량 산출 기술
대류층 전파 지연 모델 개발 기술	전역 모델, 지역 특화 모델 개발
	사상함수 개발 : VMF1, GMF
대류층 전파 지연 실시간 감시 기술	약기상 실시간/준실시간 예보 활용 기술
대류층 전파 지연량 산출 통합 기술	다양한 우주측지기술(GNSS, VLBI, WVR, 수치모델)로 산출한 대류층 전파 지연량 통합 기술
	이론모델, 수치모델 개발
대류층 전파 지연량 고도별 분석 기술	다중 위성항법 시스템 활용 기술

○ 전리층에 의한 전파지연 예측기술

전리층 전파지연은 위성과 수신기 사이 전자밀도의 합인 총전자량(Total Electron Content)에 의해 발생한다. TEC에 의한 전파지연은 위성항법체계에서 매우 주요한 오차원이다. 전리층 전자밀도의 교란에 의해 전파는 신틸레이션이 발생한다. 전리권 신틸레이션은 전파의 위상과 진폭을 변화시켜 위성항법 수신기에서 신호를 수신하지 못하는 경우까지 발생시키는 중요한 전파환경 요소이다.⁶⁴⁾

전리층은 시간과 지역에 따라 변화 패턴이 다른 자연적 환경 오차이므로 기술적 오차와 다르게 완전한 제거가 쉽지 않다. 전리층 예측모델의 신뢰도를 지속적으로 높이기 위해 장기관측 자료에 바탕한 통계적 분석이 필수적이다. 또한 모델이 개발된 후라도 계속적 관측자료 분석을 통한 모델 예측 신뢰도의 확보를 위한 지속적 모델 개정이 요구된다.⁶⁵⁾

위성항법체계의 전리층 오차원인 전파신호 시간지연 오차 보정 기술과 전리권 신틸레이션 감시를 위한 전리권 전파환경 감시 기술로 구분하여 분류 하였다.

64) Xu et al., '07

65) Bilitza & Reinisch, '08

구분	설명
총전자량 자료산출 기술	위성-수신기간 시간지연 오차를 이용하여 산출: Slant TEC
	사상모델 : Single Layer Model, Multi-layer Model
	기기오차 보정: Difference Code Bias(DCB)
	2차원 TEC Map, 3차원 Ionospheric Tomography Model
총전자량 예측모델 구축 기술	10년 이상 TEC 자료수집
	TEC 변화 주기 도출 : FFT, Lomb-Scargle Periodgram
	모델 기본 함수(Basic Function) 디자인: 모델계수 산출
총전자량 예측모델 검증 기술	예측모델 계수 보정
총전자량 예측모델 적용 기술	위성항법체계 적용
	지속적 예측모델 개정

○ 전리층 전파환경 감시 기술

구분	설명
전리층 신틸레이션 관측소 구축 기술	고해상도 관측 위성항법 수신기 관측소 구축(> 50Hz)
전리층 신틸레이션 관측자료 생성 기술	전파 진폭 및 위상 신틸레이션 지수 산출: S4 지수, 지수
	총전자량 변화율 지수 산출: ROT(Rate Of TEC), ROTI(ROTI Index)
	전리층 신틸레이션 2차원 맵 생성 기술
전리층 신틸레이션 분석 기술	위상 신틸레이션 발생 규명 및 회피 기술
	진폭 신틸레이션 발생 규명 및 회피 기술

9.1.2.3. 항법신호 감시기술

위성항법시스템을 위한 항법신호 감시 핵심기술은 정확한 SIS(Signal In Space) URE(User Range Error) 추정을 통한 항법신호 무결성 감시기술과 SIS URE 해석 및 이상요인 식별기술로 나뉜다.

- URE 추정·무결성 감시기술: 위성으로부터 송신되는 전파신호의 거리오차를 정확히 추정하고, 일정 수준 이상의 신뢰도로 URE 추정오차를 구속하는 기술
- URE 해석·이상요인 식별기술: URE 해석을 통해 URE 구성 요소를 상세히 구분하고, URE의 무결성이 손상되는 경우에 그 이상 요인을 식별하는 기술

9.1.2.4. 위성관제 기술

정지궤도 및 중궤도상에 배치될 계획인 항법위성을 지상에서 제어하고 감시하기 위해서는 크게 다음과 같은 위성관제기술이 구성되어진다.



그림 60 위성관제기술 구성

위성관제기술별 세부적인 수행기능을 다음과 같이 요약할 수 있다.

서브시스템	주요특징
TTC 서브시스템 (TTC)	•위성에 대한 원격명령 전송 •위성의 원격측정 신호를 수신하여 실시간운용 서브시스템으로 전송 •비행역학 서브시스템으로부터 안테나 포인팅 데이터 수신 •위성의 신호를 안테나로 추적 및 위성까지의 거리 측정 •안테나 추적 및 거리 측정 데이터 비행역학에 전송 •TTC는 안테나장비, RF장비, MODEM/BB장비, Timing 장비 제어 및 감시하는 C&M 컴퓨터 장비로 구성 •위성제어센터 인수시험을 위한 DSS와 접속 •On-station 원격측정 데이터 전송을 위한 외부 지상국과 접속
실시간운용 서브시스템 (ROS)	•위성의 원격측정 데이터를 실시간으로 감시 •위성에게 명령을 전송하는 역할 담당 •TTC로부터 수신된 원격측정 데이터를 처리하여 감시 및 분석 •임무계획 서브시스템에서 수신된 임무/명령계획에 따라 원격명령 생성 •TTC 각종 장비들을 감시 및 제어
임무계획 서브시스템 (MPS)	•위성 탑재체의 요구사항 수집 및 분석 •위성의 종합적인 임무계획 및 원격명령계획 수립 •위성의 탑재체 및 버스의 상태, 자원, 그리고 궤도환경 고려 •요구사항이 충돌하지 않는 상태에서 최대한으로 이용 가능한 임무계획 수립

비행역학 서브시스템 (FDS)	•위성의 운용 지원에 필요한 기능 수행 •위성의 궤도결정, 궤도 및 이벤트 예측, 연료량 산출, 위치 유지 조정 및 위치 이동등 위성의 비행역학에 관련 기능 수행 •정지궤도에 위치한 위성 운영에 필요한 기능 지원
위성 시뮬레이터 서브시스템 (DSS)	•소프트웨어와 하드웨어가 종합적으로 구성되어 위성의 각종 서브시스템을 수학적인 모델로 모사하는 기능 수행 •원격명령의 검증 •위성운용 절차의 확인 •위성 이상상태의 분석에 사용 •위성관제 운용자의 훈련 •실시간 운용 지원 및 원격명령에 반응하여 변경된 상태의 원격측정 데이터를 보냄

9.1.2.5. 시스템 시각 생성 및 지상국 동기 기술

위성항법 시스템의 시스템타임 성능은 이종 시스템 간 연계 성능에 직접적인 영향을 미치며, 최근 '08년부터 '16년까지의 미국 USNO, 독일 PTB, 프랑스 SYRTE, 일본 NICT, 중국 NIM 등 국외 기관의 연구동향은 우수한 정밀도의 세슘 원자분수시계 및 광격자시계와 같은 차세대 PFS(Primary Frequency Standard) 원자시계를 이용한 타임스케일 생성에 주력하고 있다. 한국표준과학연구원이 확보한 광격자시계 기술은 타 기관과 동일한 알고리즘을 적용한다면 30일 동안 시각오차를 25ps 이내로 유지할 수 있는 성능의 타임스케일을 생성할 수 있을 것으로 예상된다. PFS(Primary Frequency Standards) 기반 시스템 시각 생성 기술은 크게 다음과 같이 분류하여 기술할 수 있다.

○ 물리부 개발 기술

- 물리부는 PFS의 핵심기술로 원자를 레이저로 냉각하고 가두는 고진공 시스템, 마이크로파 공진기, 정자장 생성부, 자기차폐부 등으로 이루어져 있다.
- 물리부는 수백 개의 부품들이 설계, 제작, 조립되어야 하므로 각 나라의 표준기관마다 물리부의 설계가 다르며, 설계 및 제작 능력에 의해 정확도 성능이 결정된다.
- 이러한 물리부 개발기술을 보유한 나라는 세계적으로 많지 않다.

○ 레이저 생성부 개발 기술

- 원자를 냉각하고, 검출하는 광원부로 2대 이상의 초고분해능 100mW 급 반도체레이저와 레이저의 파워를 수 W로 증폭하는 반도체 증폭기가 광원으로 사용된다.
- 레이저의 주파수는 원자의 광 공진주파수에 정밀하게 안정화 되어 있으며 필요에 따라 정해진 절차에 의해 그 주파수를 자유자제로 정밀하게 조절해야 한다.
- 이를 위해 수십 개의 수동 및 능동 광학부품들을 정밀하게 정렬해야 한다. 레이저 냉각, 검출, 원자 상태 조작 등의 10여 개의 레이저 광선이 초정밀 광섬유에 의해 물리부로 전송된다.

○ 마이크로파 생성부 개발 기술

- PFS의 단기안정도를 결정하는 핵심기술로 크게 기준발진기와 마이크로파 합성부로 나눌 수 있다.
- PFS의 기준발진기로는 주로 수소메이저라는 단기안정도가 매우 우수한 원자시계를 사용하는데, 단기안정도의 성능을 극대화하기 위해 극저온 사파이어 발진기가 사용되기도 한다.
- 극저온 사파이어 발진기를 PFS에 적용하고 있는 나라는 프랑스, 일본, 우리나라 밖에 없다.

○ 타임스케일 제어부 기술

- PFS의 모든 동작을 조절하고 시스템으로 다중 입출력 하드웨어와 컴퓨터 등 상용장비를 이용하여 구성한다.
- 그러나 최적화된 운영을 위해서는 최적화된 소프트웨어의 개발이 필수다.

9.1.3. 사용자 부문

9.1.3.1. 다중항법 신호처리 기술

GPS 이외에도 다양한 위성항법 시스템이 등장하고 있으며, 각 시스템에서 제공하는 항법신호의 개수도 증가하고 있기 때문에 새로운 위성항법 시대를 대비하여 다중위성항법신호를 처리할 수 있어야 하므로 다중항법 신호처리 기술을 핵심기술로 분류한다.

9.2. 핵심기술별 국내기술수준 분석

9.2.1. 우주부문

항법신호 생성기술, 위성탐재용 원자시계 기술, 위성 시각동기 기술 및 항법중계기 기술에 대한 국내기술 수준 분석결과와 다음과 같이 요약할 수 있다.

분야	선진국 기술 수준	국내 기술 수준	TRL	선진국 대비수준
항법신호 생성기술	•선진국들은 전역 또는 지역 위성 항법 시스템을 구축·운용 중 •궤도 내 시험 (IOV, In-Orbit Validation) 검증 완료 및 위성을 통한 항법 서비스 제공 중 •노바텔(Novatel)사(캐)의 경우, GPS 및 갈릴레오 위성에 탑재되어 PRN 코드를 생성할 수 있는 우주급 신호생성장치를 개발·납품	•정부출연연구소 및 대학 등에서 S/W 수준으로 GPS L1 신호를 생성할 수 있는 기술을 보유 •위성에 탑재할 수 있는 항법신호 생성기술은 보유하지 못한 상태	실험단계 (TRL 3)	30%
위성탐재용 원자시계 기술	•미국, 유럽, 인도, 중국 에서는 TRL 8 단계 정도의 기술 수준으로 위성탐재용 원자시계를 개발 운영하고 있음	•표과연에서 지상에서 동작하는 원자시계 기술은 용도에 따라 개발 또는 개발 중 •항법위성용 원자시계는 개발한 바 없음	실험단계 (TRL 3)	30%
위성 시각동기 기술	•선진국들은 전역 또는 지역 위성 항법시스템 구축·운용 중 •위성시각 동기 오차를 측정하기 위해서 단방향 항법신호를 이용한 시각비교 기술과 양방향 시각비교 기술을 적용하고 있음 •일반적인 시각오차 감시 및 제어 기술은 정밀궤도추정 기술과 함께 이루어지고 있으며, 정밀궤도추정을 위해서 지상국(제어국, 감시국) 간 동기 및 SLR(Satellite Laser Ranging) 기술을 활용하고 있음 •양방향 시각비교 기술을 활용하는 위성항법시스템은 궤도 정보와 독립적인 시각오차 추정 및 검출이 가능함	•지상국 간 단방향 및 양방향 시각전송기를 활용한 시각비교 기술 확보하고 있음 •시각오차 추정 기술은 소프트웨어 기반으로 연구를 진행하고 있음 •시각오차 감시 및 제어 기술은 국가 위성항법 시스템의 요구사항 식별 이후에 적합한 설계가 가능함	실험단계 (TRL 3)	30%

항법 중계기 기술	•선진국들은 전역 또는 지역 위성 항법 시스템을 구축·운용 중 •궤도 내 시험 (IOV, In-Orbit Validation) 검증 완료 및 위성을 통한 항법 서비스 제공 중	•정지궤도용 Ku(14/12 GHz) 및 Ka(30/20GHz) 대역 통신용 중계기는 ‘10년 천리안 위성에 탑재해 발사하여 우주공간에서 지금까지 동작 중 •정지궤도 및 중궤도에 배치되는 항법중계기 및 안테나에 대한 기술개발 경험 미보유	실험단계 (TRL 4)	40%
-----------------	--	---	-----------------	-----

9.2.1.1. 항법신호 생성기술

- 항법신호 생성기술에 대한 국내기술 수준은 S/W 수준으로 정부출연연구소 및 대학 등에서 GPS L1 신호를 생성할 수 있는 기술을 보유하고 있으며 위성에 탑재할 수 있는 항법신호 생성기술은 보유하지 못한 상태로 아래 같은 기술수준을 갖고 있음

국내 기술 수준	선진국 기술 수준	TRL	선진국 대비 수준
•정부출연연구소 및 대학 등에서 S/W 수준으로 GPS L1 신호를 생성할 수 있는 기술을 보유 •위성에 탑재할 수 있는 항법신호 생성기술은 보유하지 못한 상태	•선진국들은 전역 또는 지역 위성항법 시스템을 구축·운용 중 •궤도 내 시험 (IOV, In-Orbit Validation) 등의 성능 검증 완료 및 위성을 통한 항법서비스 제공 중 •노바텔(Novatel)사(캐)의 경우, GPS 및 갈릴레오 위성에 탑재되어 PRN 코드를 생성할 수 있는 우주급 신호생성장치를 개발·납품 중	실험단계 (TRL 3)	30%

- 충남대가 주축이 된 국방위성항법특화연구센터는 국방 위성항법시스템을 위한 기반 기술 연구의 일환으로 ‘18년까지 국가 위성항법 시스템의 신호체계 설계, 국가 위성항법 시스템 신호체계 모델링, 송신/수신/채널 시뮬레이터 구현을 통해 신호생성기 및 채널 에뮬레이터 등에 대한 구현 및 검증에 필요한 연구를 수행 중이다.
- 국과연은 항법전 대응을 위한 의사위성기술 연구과제의 일환으로 지상기반 GPS 신호생성기술을 개발 중이다.
- 항우연은 국가 위성항법 시스템 저잡음/고감도 기반기술 개발의 일환으로 항법신호 체계 설계 기술 연구를 주요과제로 선정하고 관련 기술에 대한 연구를 수행 중이다.
- 전통연은 지상급 GPS 위성항법신호를 소프트웨어 기반으로 생성하는 기술개발을

통해 GPS L1, L2C 및 L5 신호를 생성함은 물론 GPS 위성의 궤도정보 및 항법데이터를 생성기술을 개발한 바 있다.

- (주)넵코어스는 지상급 항법신호 및 레인징 코드 설계 및 생성기술은 물론 의사위성을 이용한 CDGPS(Carrier Differential GPS) 항법기술을 개발한 바 있다.
- 항법신호 구조 설계를 포함한 항법데이터 생성기술에 대한 국내기술 수준은 다음과 같다.

국내 기술 수준	선진국 기술 수준	TRL	선진국 대비 수준
●대학 및 출연연을 중심으로 다양한 위성항법 신호체계에 대한 Trade-Off가 포함된 국가 위성항법 시스템 항법메시지 형식 설계 연구를 수행 중	●선진국들은 항법위성에서 방송하는 항법 신호 구조는 물론 항법데이터 포맷 및 프레임생성 등이 포함된 항법데이터 생성기술을 개발해 지역 위성항법 시스템 구축·운영 중 ●유럽 및 중국 등은 GPS시스템과의 유해혼신을 최소화 할 수 있는 신호구조 및 데이터 포맷 기술 개발 ●미국 ITT 및 일본 JAXA 등은 항법데이터를 생성할 수 있는 장비를 자체적으로 개발	실험단계 (TRL 3)	30%

- 국방위성항법특화연구센터는 국방 위성항법시스템 기반기술 연구의 일환으로 '18년까지 신속한 신호획득을 위한 항법메시지 구조분석, 독자적 위성항법시스템을 위한 직교코드를 이용한 Tiered Polyphase code 단점 보완, Zadoff-Chu 시퀀스 기반 위성항법 신호체계 설계 등 다양한 위성항법 신호체계에 대한 Trade-Off가 포함된 항법메시지 형식 설계 연구를 수행 중이다.
- 항우연은 국가 위성항법 시스템 저잡음/고감도 기반기술 개발의 일환으로 항법시스템에 대한 모델링 기술, 항법신호 설계 기술 개발을 수행 중이다.

9.2.1.2. 위성탑재용 원자시계 기술

국내 기술 수준	선진국 기술 수준	TRL	선진국 대비 수준
●KRISS에서 지상에서 동작하는 원자시계 기술은 용도에 따라 개발 또는 개발 중 ●항법위성용 우주급 원자시계는 개발한 바 없음	●미국, 유럽, 인도, 중국 에서는 TRL 8 단계 정도의 기술 수준으로 항법용 위성을 개발 운영하고 있음	실험단계 (TRL 3)	30%

- 포과연은 위성원자시계 및 위성시각 동기기술과 관련하여 위성에 탑재할 수 있는 원자시계는 개발되어 있지 않으며 고성능의 실험실 형 세슘원자시계를 개발한 바 있으며, '10년부터 '15년까지 위성탑재형 원자시계 개발을 위한 기초연구로 지상에서 동작하는 원자시계의 주요기술을 개발하였다.

- 표과연은 고성능의 실험실급 세슘 원자시계를 개발한 경험이 있으며, ‘10년부터 ‘15년까지 위성탑재형 원자시계 개발을 위한 기초연구로 위성항법 특화센터 개발과제를 수행하여 지상에서 동작하는 원자시계의 주요기술을 개발하였다.
- 레이저 시스템 (TRL-5): 원자시계의 단기안정도를 결정하는 중요한 기술로 현재 국내 기술은 레이저의 주파수를 루비듐 공진신호에 정해진 안정도를 갖도록 안정화시킬 수 있으며 이 레이저 시스템을 이용하면 원자시계 목표 안정도를 달성할 수 있다. 또한 실험실 수준의 소형화도 설계 및 제작하여 성능을 검증하였다.
- 마이크로파 공진부 (TRL-4): 원자시계의 가장 중요한 핵심기술로 원자증기셀, 마이크로파 공진기, 정자장생성코일, 온도조절부, 자기차폐기 등으로 이루어져 있다. 컴퓨터 모사를 이용하여 설계최적화가 1차 완료되었다. 최적화를 바탕으로 설계, 제작된 마이크로파 공진부를 원자시계로 동작시켜 목표 안정도를 얻는데 성공하였다. 현재 1차 시제품의 단점을 보완하기 위한 단계에 있다.
- 저잡음 주파수 합성기 (TRL-4): 광원과 함께 원자시계의 단기안정도를 결정짓는 기술로 기준발진기(10 MHz)로부터 루비듐원자의 공진주파수(6.834 GHz)를 생성할 때 잉여잡음이 최소화 되도록 해야 한다. 저잡음 주파수합성은 여러 가지 방법이 있는데, NLTL(Non-Linear Transmission Line)을 이용하여 실험실 수준에서 초저잡음 주파수합성기를 설계 제작하여 원자시계에 적용하였다.
- 원자시계 제어부 (TRL-3): 레이저의 주파수 및 마이크로파 주파수를 위상민감검출기를 이용하여 안정화하는 시스템으로 현재 사용 장비 등을 이용하여 실험실 수준에서 원자시계를 구현하고 성능을 검증하였다. 원자시계의 시작품 제작을 위해서는 특화된 전자회로 및 소프트웨어를 개발할 필요가 있다.

9.2.1.3. 위성 시각동기 기술

국내 기술 수준	선진국 기술 수준	TRL	선진국 대비 수준
•지상국 간 단방향 및 양방향 시각전송기를 활용한 시각비교 기술 확보하고 있음 •시각오차 추정 기술은 소프트웨어 기반으로 연구를 진행하고 있음 •시각오차 감시 및 제어 기술은 국가 위성항법 시스템의 요구사항 식별 이후에 최적화된 설계가 가능함	•선진국들은 전역 또는 지역항법 시스템 구축·운용 중 •위성시각 동기 오차를 측정하기 위해서 단방향 항법신호를 이용한 시각비교 기술과 양방향 시각비교 기술을 적용하고 있음 •일반적인 시각오차 감시 및 제어기술은 정밀케도추정 기술과 함께 이루어지고 있으며, 정밀케도추정을 위해서 지상국(제어국, 감시국) 간 동기 및 SLR(Satellite Laser Ranging) 기술을 활용하고 있음 •양방향 시각비교 기술을 활용하는 위성항법시스템은 케도 정보와 독립적인 시각오차 추정 및 검출이 가능함	실험단계 (TRL 3)	30%

- 현재 국내에서 위성에 탑재할 수 있는 시각 동기 장비는 개발되어 있지 않지만 지상국 간 단방향 및 양방향 시각전송기를 활용한 고정밀 시각비교 및 시각오차 검출 기술에 대한 연구는 지속적으로 상용 장비를 통해 많은 부분 진행하였으며, 국가 위성항법 시스템에 최적화된 위성시각 동기 기술은 국방위성항법특화연구센터를 통해 기초연구가 진행 중이다.
- 시각 비교 기술 (TRL-3): 시각 비교 기술은 실험실 환경에서 구현된 다양한 연구 사례가 있지만, 이와 유사한 GPS 수신기의 국내 기술 수준을 고려하면 TRL-4 단계까지는 무리 없이 진행 될 수 있다. 하지만 우주환경을 고려한 시작품 (TRL-5 단계 이상)은 국내 기술 수준에 대한 조사 및 검토가 추가적으로 필요하다.
- 시각오차 검출 기술 (TRL-4): 지상국 간 시각 비교 측정치를 토대로 소프트웨어를 기반으로 연구가 진행되어 있다. 하지만 우주환경을 고려한 시작품 (TRL-5 단계 이상)은 국내 기술 수준에 대한 조사 및 검토가 추가적으로 필요하다.
- 시각오차 감시 및 제어 기술 (TRL-2): 기본적인 이론은 정립이 되어 있으나, 해당 기술에 대한 국내기술 현황을 정확하게 제시하기 위해서는 국가 위성항법 시스템의 요구사항 및 기본설계 사항이 요구된다.

9.2.1.4. 항법 중계기 기술

- 항법용 중계기 기술
 - 정지궤도용 Ku(14/12GHz) 및 Ka(30/20GHz) 대역 통신용 중계기 기술은 ‘10년에 천리안 위성에 Ka 대역 통신탑재체를 탑재해 발사에 성공하여 우주공간상에서 지금까지 동작 중이나 정지궤도 및 중궤도상에 배치되는 항법중계기에 대한 기술개발 경험은 보유하고 있지 않다.

국내 기술 수준	선진국 기술 수준	TRL	선진국 대비 수준
●정지궤도용 Ku(14/12 GHz) 및 Ka(30/20 GHz) 대역 통신용 중계기 기술은 ‘10년에 천리안 위성에 Ka 대역 통신탑재체를 탑재해 발사에 성공하여 우주공간상에서 지금까지 동작 중이나 정지궤도 및 중궤도상에 배치되는 항법중계기 기술개발 경험 미 보유	●선진국들은 전역 또는 지역 위성항법 시스템을 구축·운영 중 ●궤도 내 시험 (IOV, In-Orbit Validation) 등의 성능 검증 완료 및 위성을 통한 항법서비스 제공 중	실험단계 (TRL 4)	40%

- 전통연은 천리안 위성 통신 탑재체 개발을 위해 중계기와 안테나의 부품, 시스템설계를 주관하고 국내업체 중심으로 제작을 수행하였으며 시험은 전통연과 국내업체가 공동으로 수행하였다.
- Ka 대역 통신탑재체 개발항목은 총 21종으로 국산화항목은 17종, 해외구매항목은 4종이었고 국산화 부품 항목은 부가가치가 높은 중계기 RF 능동 및 수동부품, 위성 안테나 급전부품과 반사판 등이 포함되었으며, 이들 부품들은 국내 기술진에 의해

설계/제작뿐만 아니라 성능 및 우주환경시험 등 검증까지 완료하였다.

- 위성중계기의 RF 신호 간 교환 기능의 고주파 신호 스위치매트릭스(Micro Switch Matrix)와 채널 간 신호증폭기능의 채널증폭기 개발부품은 성능면에서 해외제품과 동일함이 입증되었고 위성안테나의 경우는, 고효율의 위성반사판, 피드 혼, 멀티플렉스 등을 국내 기술진에 의해 설계, 제작, 시험하여 국산화하였다.
- 천리안 위성 통신 탑재체 부품 목록 및 개발 현황은 다음 표와 같다.

번호	개발항목	국산화	비고
1	Ka 대역 통신중계기시스템	○	국산화 품목
2	Ka 대역 안테나시스템	○	
3	입력필터어셈블리 (Input Filter Assembly)	○	
4	중간주파수 채널 필터 (IF Channel Filter)	○	
5	고주파 채널 필터 (RF Channel Filter)	○	
6	출력 멀티플렉서 (Output Multiplexer)	○	
7	저잡음 증폭기 (Low Noise Amplifier)	○	
8	하향변환기 (Down Converter)	○	
9	국부 주파수 발생기 (Local Oscillator)	○	
10	상향변환기 (Up Converter)	○	
11	고주파 스위치 매트릭스 (Microwave Switch Matrix)	○	
12	디지털 제어유니트 (Digital Control Unit)	○	
13	채널 증폭기 (Channel Amplifier)	○	
14	전력결합기 (Power Combiner)	○	
15	다이플렉서 (Diplexer)	○	
16	피더 혼 (Feed-Horn)	○	
17	안테나 반사판 (Antenna Reflector)	○	
18	진행파관 증폭기 (TWTA)	-	구매 품목
19	스위치 네트워크 (RF/IF Switch Network)	-	
20	도파관 및 동축관스위치 (W/G Switch & Coax Switch)	-	
21	비콘 어셈블리 (Beacon Assembly)	-	

제 목	주 요 내 용	비 고
비행 모델 고주파 스위치 매트릭스 (Microwave Switch Matrix)	•위성 3개 빔 스위칭 •4 x 4 Matrix •신호 경로 간 높은 격리도	
채널 증폭기 (Channel Amplifier)	•입력대역(19.8 ~20.2GHz) •중계기 32dB 이득 조절 •증폭기 구동레벨 16dB 자동 조절 •MMIC를 이용한 소형화 •425g Mass •4.8W 전력 소모	
전력결합기 (Power Combiner)	•MSM 통과 채널과 bypass 채널 결합 •3.7dB 삽입손실 •30 dB 격리도	
디지털 제어기 (Digital Control Unit)	•고주파 스위치매트릭스를 제어 •지상으로부터 명령을 받아 다중 위성안테나 빔 간 연결을 수행함	

- 통신위성 등에 대한 국내외 연구개발 기관들의 보유기술 현황은 다음과 같다.

국내 기관	보유 기술 현황	비 고
전통연	정지궤도 통신탑재체 개발 기술 보유	천리안 통신시스템 개발
	위성탑재 중계기/부품 개발기술 보유	천리안용 FM 부품 개발
항우연	저궤도 중대형 위성 개발기술 보유	아리랑 위성 1, 2, 3, 5호
세트랙아이(주)	저궤도 소형위성 개발기술 보유	두바이샛
국과연	군위성 탑재체 개발기술 보유	아나시스 군위성
KT SAT	위성통신 서비스 운용 기술	무궁화 위성 기술

○ 항법용 안테나 기술

- 항법용 위성탑재 안테나 형상으로 GPS 위성에서와 같은 Helical Array 타입이거나 갈릴레오 위성에서와 같이 patch 안테나 형태를 갖고 있다. Helical Array 타입의 안테나를 사용할 경우, 지표면에 신호의 세기가 일정하면서 균일하게 수신되도록 할 수 있는 것으로 알려져 있다.

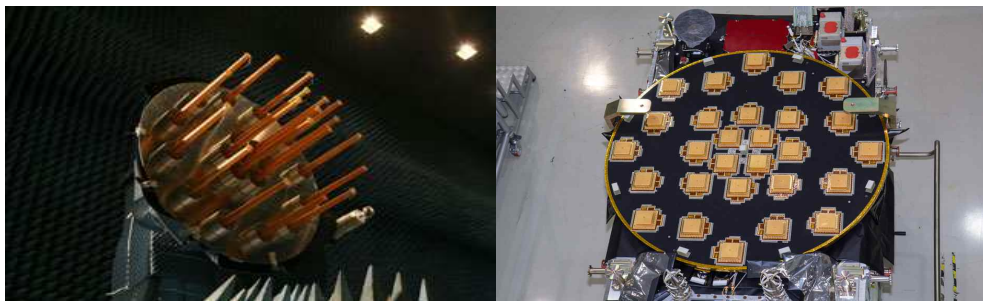


그림 61 GPS 위성 안테나(좌)와 갈릴레오 위성 안테나(우)

- 국내에서는 정지궤도 통신용 안테나 형상은 반사판 형태가 일반적이며 천리안 위성의 Ka 대역 통신용 안테나의 경우도 반사판 형태로 GPS 및 갈릴레오 위성에서와 같은 안테나 개발은 전무한 상태이다.

국내 기술 수준	선진국 기술 수준	TRL	선진국 대비 수준
•정지궤도용 Ku(14/12 GHz) 및 Ka(30/20 GHz) 대역 통신용 중계기 기술은 ‘10년에 천리안 위성 Ka 대역 통신탑재체를 탑재해 발사에 성공하여 우주공간상에서 현재까지 동작 중 •반사판 형태의 통신용 안테나 기술은 보유중이나 항법위성용 안테나 기술개발 경험 부재	•선진국들은 전역 또는 지역 위성항법 시스템을 구축·운영 중 •궤도 내 시험 (IOV, In-Orbit Validation) 등의 성능 검증 완료 및 위성을 통한 항법서비스 제공 중	실험단계 (TRL 3)	30%

- 전통연은 천리안 위성 통신탑재체 기술개발을 통해 고효율의 위성반사판, 피드 혼, 멀티플렉스 등을 국내 기술진에 의해 독자설계, 제작, 시험 등을 수행하였다.

제 목	주 요 내 용	비 고
비행모델 안테나시스템	•East Antenna Assembly 개발 •West Antenna Assembly 개발	
비행모델 피더혼 (Feed-Horn)	•안테나로 신호 전송 및 수신 •피라미드 구조 •소형화	
비행모델 다이플렉서 (Diplexer)	•송수신 주파수 분리 •높은 격리도	

- 통신용 위성안테나 분야에서 필요한 안테나 RF 설계 기술 및 안테나 기계적 설계 기술은 미국 등 위성선진국등과의 상대적 수준은 80%로 기술격차는 4년이 될 것으로 자체적으로 판단하고 있다.
- 분류한 핵심기술은 지역 및 전역 등 서비스 커버리지에 따른 안테나 빔폭 설정기술, 안테나 이득설계 기술 등 Helix Type의 위성배열 안테나 기술이다.
- 전통연은 천리안 통신탑재체용 안테나 기술은 보유하고 있으나 항법위성용 안테나 개발경험은 전무한 상태이다.

9.2.2. 지상국 부문

지상국 부문을 구성하는 각 분야별 국내기술 수준은 다음과 같이 요약할 수 있다.

분야	선진국 기술 수준	국내 기술 수준	TRL	선진국대비 수준
정밀케도 결정기술	- GPS 케도결정 정밀도 - 후처리(약 2주후): 2.5cm, - 실시간예측: 5cm - 주요 SW로는 EPOS(GFZ,독일), GIPSY/OASIS(JPL,미국), GAMIT(MIT), Bernese (베른대, 스위스)등이 있음	- 정밀케도전파기술과 관측자료처리기술은 선진국 수준의 기술을 확보 - 정밀케도결정기술은 실험단계의 SW와 기반기술 확보되어 있는 수준	시작품 단계 (TRL 5)	55%
전파지연 예측기술	- 전 지구 전리층 전파지연 예측 모델 보정정보 서비스 - 대류층 전파 지연 모델 개발 기술 확보	- 우리나라 전리층 맵 모델 개발 및 위협모델 개발 - 대류층 전파 지연 모델 개발 기술은 아직 확보하지 못했으나 산출된 지연량으로부터 준실시간 가장수량 산출 기술 확보	시작품 단계 (TRL 5)	50%
항법신호 감시기술	- URE 무결성 감시기술 · $\leq 10^{-5}$ 신뢰도 확보 - URE 이상요인 식별기술 · 위성기인 이상 식별기술 확보	- URE 추정기술개발 경험 보유 - DGPS/DGNSS 기술확보 과정에서 URE 추정기술 개발 - 무결성 감시수준의 URE 추정 기술 개발은 미 추진 - URE 이상요인 식별기술 · 이상요인 식별을 위한 다양한 기초원천 연구개발 수행	실험단계 (TRL 4)	40%
위성관제 기술	저케도 및 정지케도 다중위성 관제기술 확보 및 상용화	- 저케도위성(다목적실용위성) 및 정지케도 위성(천리안 위성 및 KTSAT 위성)단일 위성 관제기술 개발 - 정지케도 및 경사케도 다중위성에 대한 관제기술개발 미 보유	실용화 단계 (TRL 7)	70%
시스템 시각 생성 및 지상국 동기 기술	미국 USNO는 PFS 4기와 약 39 기의 상용 수소메이저 및 세슘 원자시계를 운영하여 타임스케일을 생성 (UTC 기준으로 10 ns 이내로 유지)	- 표과연은 광펌핑⁶⁶⁾ 세슘원자시계 분수형⁶⁷⁾ 세슘원자시계의 개발 - 수소메이저 원자시계 5기와 세슘 원자시계 5기를 운영하여 타임스케일을 생성 (UTC 기준으로 30ns 이내로 유지)	시작품 단계 (TRL 5)	50%

66) 광펌핑(Optically pumped) 세슘 원자시계 : 자석을 이용하는 1세대 원자시계와 달리 레이저를 이용하는 2세대 원자시계로서 약 300만년에 1초 오차 발생

67) 분수(Fountain)형 세슘 원자시계 : 레이저 냉각기술을 이용하여 성능을 향상시킨 3세대 원자시계로서 약 2억년에 1초 오차 발생

9.2.2.1. 정밀궤도 결정 기술

국내 기술 수준	선진국 기술 수준	TRL	선진국 대비 수준
- 정밀궤도전파기술과 관측자료 처리기술은 선진국 수준의 기술을 확보 - 정밀궤도결정기술은 실험단계의 SW와 기반기술 확보되어 있는 수준	- GPS 궤도결정 정밀도 - 후처리(약 2주후): 2.5cm, - 실시간예측: 5cm - 주요 SW로는 EPOS(GFZ,독일), GIPSY/OASIS(JPL,미국), GAMIT(MIT), Bernese(베른대, 스위스)등이 있음	시작품 단계 (TRL 5)	55%

○ 정밀궤도 전파기술

- 한국항공우주연구원의 경우 위성 운영을 위해 다양한 궤도예측 프로그램을 사용하고 있다. 실제 관제에 사용하는 프로그램은 상용 프로그램과 독자 개발(한국전자통신연구원 개발) 소프트웨어를 함께 사용하고 있다.
- 한국전자통신연구원은 다목적 실용위성과 천리안 위성의 관제시스템의 개발을 통해 독자 개발한 정밀궤도전파 소프트웨어 기술을 보유하고 있다.
- 한국천문연구원은 자체 개발한 정밀궤도 전파 소프트웨어를 보유하고 있으며, 현재도 관련 연구를 지속하고 있어 가장 최신의 정밀궤도전파모델을 보유하고 있다.
- 그 외에도 인공위성 연구센터와 세트랙아이(주) 등도 궤도전파 소프트웨어를 운영하고 있지만 이는 위성 운영을 위한 수준으로 항법위성에 필요한 정밀궤도전파에 필요한 수준은 아니다.

○ 정밀 관측 모델링 기술

- 한국전자통신연구원은 GPS 수신기를 탑재한 다목적 실용위성 2호 등의 관제를 위한 정밀궤도추정 모델을 개발하여 운영 중이다.
- 한국천문연구원은 고정밀 위성항법 자료처리 소프트웨어를 개발하였으며, 현재도 지속적인 연구개발을 통해 모델을 업그레이드하고 있다. 또한, 국내 최초로 다중항법시스템 자료처리 소프트웨어를 개발 특허를 보유하고 있다.
- 그 외 서울대학교, 연세대학교, 건국대학교, 인하대학교 등 일부 대학에서 관련 세부기술에 대한 연구와 개발이 수행되었다.

○ 궤도추정 자료처리 기술

- 한국전자통신연구원은 다목적 실용위성2호 등의 관제 시스템 개발을 위해 정밀궤도결정 시스템을 개발하였다.
- 한국천문연구원은 궤도추정을 제외한 다중 항법위성시스템의 관측을 순차-스무딩 처리기술을 통해 지상국의 위치, 전리층, 대류층 오차 등의 다양한 우주측지 정보의 추정 기술을 개발하여 활용 중이다.

9.2.2.2. 전파지연 예측 기술

국내 기술 수준	선진국 기술 수준	TRL	선진국 대비 수준
•우리나라 전리층 맵 모델 및 위협 모델 개발 •대류층 전파지연 모델 개발 기술은 아직 확보하지 못했으나 산출된 지연량으로부터 준실시간 가강수량 산출 기술 확보	•전 지구 전리층 전파지연 예측모델 보정정보 서비스 •대류층 전파 지연 모델 개발 기술 확보	시작품 단계 (TRL 5)	50%

○ 대류층에 의한 전파지연

－ 한국천문연구원

- 1990년대 후반부터 국내 최초로 GPS를 활용한 수증기량 추정 연구를 시작한 이래로 현재 한반도 집중호우 분석정보 산출 시스템을 구축하고, 산출된 위성항법 가강수량 정보를 활용하여 수치예보모델 적용을 통한 태풍·집중호우 재해 대응 현업 활용테스트를 수행하고 있다. 한반도에 최적화된 추정 기법을 적용하고 80여개 상시관측소의 실시간 위성항법 자료를 수집하여 10분 간격의 고정밀 가강수량을 산출하고 있다.

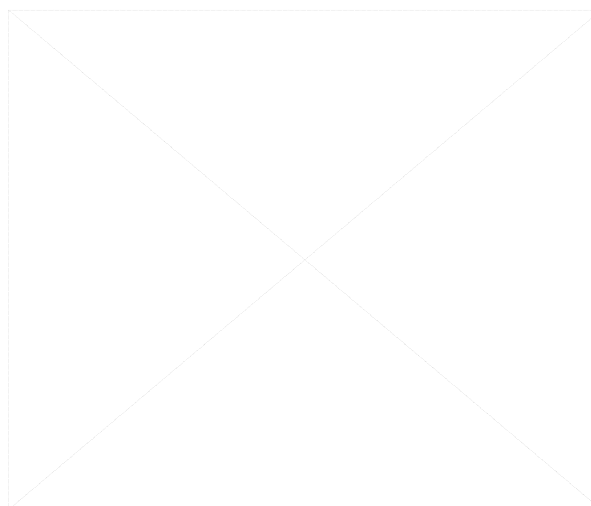


그림 62 위성항법 가강수량 분포도 예시
(‘16.04.16. KST 16:00)

- 이러한 분석 정보를 한국과학기술정보연구원에 제공함으로써 수치예보모델의 초기장 적용 테스트를 진행 중이다. 이를 통해 집중호우 사례에 대한 수치예보모델의 예측 가능성 개선 여부를 판별한 바 있다. 아래 그림은 ‘14.8월 25일 남부지방에 집중호우가 발생한 사례(왼쪽)에 대해 위성항법 가강수량 정보를 수치예보모델 초기장에 적용한 경우(DA_PW, 오른쪽)와 적용하지 않은 경우(NO_DA, 가운데)를 비교한 것이다. 위성항법 가강수량을 적용한 경우 호남지방의 강수 예측이 현저하게 개선되는 것을 볼 수 있으며, 경남 지역에도 강수가 강해지는 현상을 볼 수 있

다. 이는 당시 강우패턴과 일치하는 결과로, 위성항법 가강수량 정보의 수치예보모델 적용이 수치예보 능력을 향상시킬 수 있음을 의미한다.



그림 63 강수예측검증 - '14.08.25.
(강지순외, '16)

－ 국립기상과학원 재해기상연구센터

- 국지성 재해기상을 감시·분석·예측하기 위한 연구를 수행하고 있으며, 이를 위하여 모바일 기상관측망과 재해기상 통합분석 시스템, 영향예보 시스템 등을 운영하고 있다. 모바일 기상관측차량은 지상기상관측, 고측기상관측, 라이다관측, 위성항법 가강수량 관측을 실시하고 있다. 또한, 동해안 이동관측을 통하여 다중경로와 PDOP가 가강수량 산출에 미치는 영향을 분석하고 향후에는 평창올림픽에 대설관련 기상지원을 계획하고 있다.



그림 64 이동형 대기관측시스템 - MAOS
(국립기상과학원 재해기상연구센터)

○ 전리층 전파지연 및 전파환경 예측기술

－ 한국천문연구원

- 국내 ~80개소 위성항법 기준국 관측자료 이용 실시간 우리나라 GPS TEC Map

- 개발: 서비스 시간(20분), 시간해상도(10분)
- 우리나라 전리층 토모그래피 개발: 9개 위성항법 관측소 이용
 - 적도 지역 전리권 신틸레이션 및 총전자량 변화 연구 수행
 - GPS TEC를 이용한 지진, 로켓 등에 의한 전리층 변화 감시기술 개발
 - 우리나라 GPS TEC 장기변화 연구
- 한국과학기술원 항공우주학과
- 항공용 위성항법보강시스템을 위한 전리층 감시 모델 개발
- 인하대학교 공간정보공학과
- 북극 전리층 신틸레이션 관측정보 산출 및 분석 연구
- 충남대학교 천문우주학과
- 우리나라 전리층 토모그래피 개발: ~60개 위성항법 관측소 이용
 - 우리나라 전리층 경험모델 개발: 이온존데 자료 이용
- 한국항공대학교 항공전자공학과
- 분산 병렬 방식의 실시간 전리층 지도 추정 기법 연구

9.2.2.3. 항법신호 감시 기술

항법신호 감시기술의 국내기술 수준은 다음과 같다.

국내 기술 수준	선진국 기술 수준	TRL	선진국 대비 수준
•URE 추정기술개발 경험 보유 ·DGPS/DGNSS 기술확보 과정에서 URE 추정기술 개발 ·무결성 감시 수준의 URE 추정기술개발은 미 추진 •URE 이상요인 식별기술 ·이상요인 식별을 위한 다양한 기초원천 연구개발 수행	•URE 무결성 감시기술 · $\leq 10^{-5}$ 신뢰도 확보 •URE 이상요인 식별기술 ·위성기인 이상 식별기술 확보	실험단계 (TRL 4)	40%

- 우리나라는 DGNSS 인프라 구축 시 기술개발을 통해 GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo의 URE 추정기술개발 경험을 가지고 있다.
 - URE 추정기술에 기초를 둔 DGNSS 기술이 확보되었고, 확보된 기술이 실용되어 우리나라 NDGNSS(전국망 위성항법보정시스템)에 탑재되어 운영되고 있다.
 - 그러나 현재 확보된 URE 추정기술은 무결성 감시 수준의 추정기술이 아닌 보정정보 생성을 위한 추정기술이라는 점에서 위성항법시스템의 항법신호 감시를 위한 URE 추정기술로는 미흡한 수준이다.



그림 65 전국망 위성항법보정시스템과 개발기술 탑재 운영 모습

- 우리나라는 GBAS 및 SBAS 기초기술개발 과정에서 URE 해석을 통한 이상발생 및 이상요인 식별 관련 기초원천 연구개발이 수행된 바 있다.
 - 수행된 연구개발은 실험실 수준에서의 개발기술 증명 또는 성능평가 수준이다.
 - 실용화를 목표로 실시간성 및 신뢰도가 보장되는 URE 이상요인 식별 기술 확보가 반드시 필요하다.

9.2.2.4. 위성관제 기술

정지궤도 및 경사궤도위성을 지상에서 관제하기 위한 국내 기술수준은 다음과 같다.

국내 기술 수준	선진국 기술 수준	TRL	선진국 대비 수준
●다목적 실용위성 등 저궤도 위성관제기술 보유 ●천리안 위성, KTSAT 위성 등 정지궤도 위성관제기술 보유	●위성선진국은 저궤도 및 정지궤도, 경사궤도위성 등에 대한 위성관제 기술을 자체 개발능력 보유 ●지상에서 저궤도 및 정지궤도 위성을 관제하고 있음	실용화 단계 (TRL 7)	70%

- 위성관제 기술은 지상에서 위성을 감시하고 제어하는데 필요한 기술로 우리나라가 소유한 모든 위성에 대해 크고 작은 관제시설이 갖추어져 있다고 볼 수 있다.
 - ‘82년에 발사된 우리별 1호로부터 ‘15년에 발사된 아리랑 5호에 이르기 까지 각각의 위성에 대한 지상의 관제시스템은 위성의 임무에 따라서 그 규모가 달라질 수 있는데 저궤도 위성의 경우 다목적 실용위성인 아리랑 위성 시리즈와 정지궤도 위성들에 대한 관제시스템은 제대로 구성된 본격적인 관제시스템으로 볼 수 있다.
 - 따라서 본격적인 규모의 관제시스템은 국내의 제작인 경우에는 전통연이 다목적 실용위성 아리랑 시리즈 및 통신해양기상위성 천리안 위성의 관제시스템을 개발하였고 ktsat의 무궁화 위성 1, 2, 3, 5, 6호 그리고 TU 미디어의 한별위성의 경우에는 외국의 관제시스템을 구매하여 도입하였다.

- 한편, '18년에 발사에정인 무궁화위성 5A호 및 7호 관제시스템은 ETRI가 개발을 수행하고 있다.

표 55 국내 위성 프로그램 및 관제시스템 현황

위성	발사년도	위성제작	관제제작	관제소위치	운영상태
우리별 1 호	'92.8.11	Surrey U.(영)	Surrey U.(영)	대전 KAIST	종료
우리별 2 호	'93.9.26.	KAIST	KAIST	대전 KAIST	종료
무궁화 1호	'95.8.5	Lockheed(미)	Marconi(영)	용인 차기 관제소	종료
무궁화 2호	'96.1.14	Lockheed(미)	Marconi(영)	용인 차기 관제소	종료
우리별 3 호	'99.5.26	KAIST	KAIST	대전 KAIST	종료
무궁화 3호	'99.9.5	Lockheed(미)	Marconi(영)	용인 차기 관제소	외국매각
다목적 1 호	'99.12.21	미국 TRW	ETRI	대전 KARI	종료
과학기술 1호	'03.9.27.	KAIST	KAIST	대전 KAIST	종료
한별위성	'04.3.13	SS Loral(미)	SS Loral(미)	서울 및 일본	외국매각
다목적 2 호	'06.7.28	KARI	ETRI	대전 KARI	운영 중
무궁화 5 호	'06.8.23	TAS(프)	TAS(프)	용인 관제소	운영 중
과학기술 2호	'09.8.25 '10.6.10	KAIST	KAIST	대전 KAIST	나로호 발사실패
천리안위성	'10.6.27	Astrium(프)	ETRI	대전 KARI	운영 중
무궁화6호	'10.12.30	TAS(프)	Integral Systems(미)	용인 관제소	운영 중
다목적 3호	'12.5.18	KARI	ETRI	대전 KARI	운영 중
다목적 5호	'13.8.22	KARI	ETRI	대전 KARI	운영 중
과학기술3호	'13.11.21	KAIST	KAIST	대전 KAIST	종료
다목적 3A호	'15.3.25	KARI	KARI	대전 KARI	운영 중
무궁화5A호	'16	TAS(프)	ETRI	용인관제소	개발 중
무궁화7호	'16	TAS(프)	ETRI	용인관제소	개발 중

- 우리나라에 위치한 주요 위성 관제국의 현황은 다음의 표와 같다.

표 56 국내위성 관제국 현황

위성관제국	관제대상 위성	수량	시설 현황	관제위성
한국통신 용인/대전 위성관제국	무궁화위성	2실	안테나 8기 및 관제장비	무궁화 5호 무궁화 6호 무궁화 5A호(예정) 무궁화 7호(예정)
한국항공우주연구원 위성운영센터	저궤도 아리랑위성 정지궤도 천리안 위성	2실	안테나 6 기 및 관제장비	아리랑 2, 3, 5, 3A호 천리안 위성
과학기술원 인공위성연구센터	우리별위성 과학기술위성	1실	안테나 4기 및 관제장비	없음
위성전파감시센터	위성전파감시	1실	안테나 2기 및 위성전파감시장비	L, S, X, Ku, Ka 위성전파감시

- 정지궤도 위성에 대한 관제국은 KTSAT, 한국항공우주연구원 그리고 TU 미디어에 있고 저궤도 위성 관제는 한국항공우주연구원과 과학기술연구원에 위치하고 있다.
- 이전에 있는 위성전파감시센터는 위성 쪽으로의 상향링크에 대한 전파 감시를 수행할 수 있는 장비가 갖추어져 있지 않지만 위성에서 내려오는 하향링크 전파에 대해서는 이를 수신해서 분석할 수 있는 장비는 갖추고 있다.
- 하지만 정지궤도상에 배치되는 다중위성에 대한 관제기술 및 경사궤도상의 다중위성에 대한 관제기술은 개발경험은 없어 이와 관련된 기술개발이 미진한 상태이다
- 정지궤도 천리안위성 관제시스템 기술 (무궁화위성 5A/7호 추가 또는 대체예정)
 - 국내 최초의 정지궤도 통신 해양 기상 복합위성인 천리안위성의 성공적인 운용을 위한 관제시스템은 저궤도 위성인 다목적 실용위성 1호 및 2호 관제시스템을 개발한 국내의 기술력을 바탕으로 '03년부터 '10년까지 개발되었다.
 - 천리안 위성의 위성체는 정지궤도 상업용 통신위성으로 많이 사용되는 프랑스 아스트리움의 유로스타 3000 버스 모델을 바탕으로 제작된 것으로서 천리안 위성의 관제시스템 개발기술은 상업용 통신위성을 위한 관제시스템으로 바로 적용이 가능하다.
 - 천리안 위성 관제시스템의 개발 성공으로 우리나라는 아리랑 위성과 같은 저궤도 위성의 관제시스템 개발에 이어 정지궤도 위성의 관제시스템까지 개발할 수 있는 역량을 갖춘 우주기술 보유국이 되었다.
 - 천리안 위성 관제시스템은 일반적인 정지궤도 통신위성을 위한 관제시스템에서 요구하는 기능 이외에도 새로운 복잡한 기능이 추가되었다.
 - 세 가지의 복합임무를 수행하기 위해서 기상위성센터와 해양위성센터가 요청하는 영상촬영 요구가 서로 충돌하지 않도록 적절히 스케줄링하는 기능이 관제시스템의

기능으로 추가되었다.

- 또한, 위성제작사인 아스트리움에서 제공한 비행운용 절차(Flight Operation Procedure)를 관제시스템에서 번역하여 위성에 전송하기 위한 비행운용 절차 번역기 및 비행운용 절차 전송기를 별도로 개발하였다.
- 천리안 위성은 북쪽 면에 있는 해양탐재체 및 기상탐재체의 온도조절을 위해서 위성의 태양전지판을 남쪽에만 부착했기 때문에 하루에 두 번씩 추력기를 사용한 자세제어를 수행해야 하는데 이와 같은 영향을 궤도계산에 반영하기 위한 모든 기능이 관제시스템에 추가되었다.
- 이 밖에 위성 관제를 위해 요구되는 모든 특수한 기능에 대한 기술시험과 운영시험이 관제시스템 개발자인 ETRI, 위성제작사인 아스트리움, 위성운영자인 항공우주연구원의 참여 하에 성공적으로 종료되었다.
- 그리고 천리안 위성 관제시스템은 '10.6월 27일 위성이 발사되어 동경 128.2도에 안착한 이후에 지금까지 성공적으로 운용되고 있다.
- 천리안 위성 관제시스템은 ▲ 원격측정, 거리측정, 원격명령과 같은 위성통신을 위한 13미터 안테나가 포함된 'TTC 서브시스템' ▲ 위성의 상태를 실시간으로 감시하고 명령을 만들기 위한 '실시간 운용(ROS) 서브시스템' ▲ 세 가지 복합임무를 시간별로 계획하기 위한 '임무계획(MPS) 서브시스템' ▲ 위성의 궤도를 결정하고 위치를 유지시키기 위한 '비행역학(FDS) 서브시스템' ▲ 위성을 지상에서 시플레이션하기 위한 '위성시플레이터(CSS) 서브시스템'으로 구성된다.
- 정지궤도 통신해양기상 천리안위성 관제시스템을 구성하는 하드웨어는 13미터 파라볼라 안테나가 포함된 S-대역 통신장비와 위성을 감시하고 제어하기 위한 컴퓨터 장비로 이루어진다.



그림 66 천리안 위성 관제시스템 하드웨어 구성

- 천리안 위성의 TT&C 안테나는 13미터 S-대역 안테나로 구성하였으며 RF 및 MODEM/BB 장비 일부는 외국 업체로부터 구매하여 시스템으로 구성하였다.
- 다음 그림은 TT&C 안테나 및 각종 장비 그리고 감시 및 제어 컴퓨터를 보여준다.

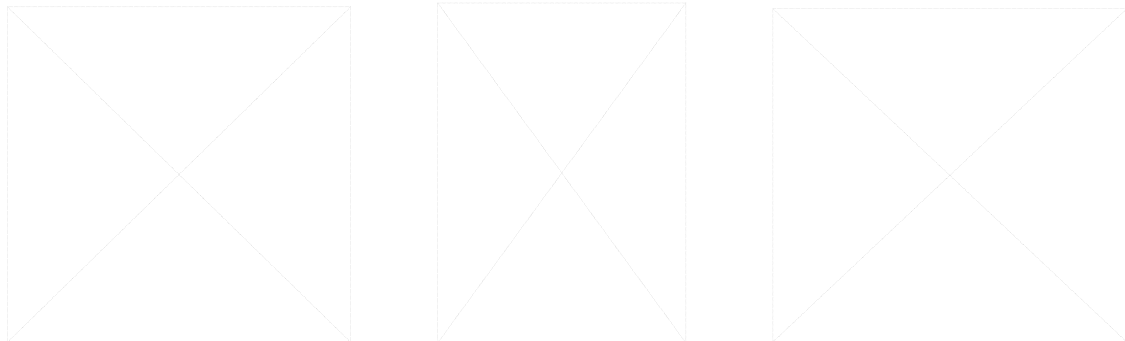


그림 67 천리안위성 TTC 안테나, RF/MODEM/BB 장비, C&M 컴퓨터

- 천리안 위성은 하나의 안테나로 위성의 안테나 각도를 추적하고 두세 시간에 한 번 씩 위성과의 거리측정을 수행해서 이것을 바탕으로 궤도결정을 수행한다.
- o 한국전자통신연구원은 다목적 실용위성(저궤도 위성)과 천리안 위성 및 KTSAT 위성(정지궤도 위성)에 대한 위성관제기술 개발로 저궤도 및 정지궤도 위성 관제기술을 보유하고 있다.

9.2.2.5. 시스템 시각 생성 및 지상국 동기 기술

시스템 시각 생성기술의 국내기술 수준은 다음과 같다.

국내 기술 수준	선진국 기술 수준	TRL	선진국 대비 수준
• 한국표준과학연구원은 '08년 세계에서 7번째 PFS인 광펄핑 세슘원자시계(KRISS-1)를 자체개발한 바 있으며, 현재 두 번째 PFS 분수형 세슘원자시계의 개발을 완료하고, 평가 단계에 있음. 수소메이저 원자시계 5기와 세슘 원자시계 5기를 운영하여 타임스케일을 생성(UTC 기준으로 30 ns 이내로 유지)	•미국 USNO은 PFS 4기와 약 39 기의 상용 수소메이저 원자시계 및 세슘 원자시계를 운영하여 타임스케일을 생성(UTC 기준으로 10 ns 이내로 유지)	시작품 단계 (TRL 5)	50%

- o 한국표준과학연구원에서는 PFS 기반 시스템타임 생성기술 개발을 위해 '08년 정밀 기준주파수 생성용 원자시계 KRISS-1(PFS)를 개발하였으며 300만년에 1초 벗어나는 정확도를 가지고 있으며, 현재 이보다 50배이상 정밀도를 향상시킨 원자분수시계 KRISS-F1을 개발 중이다.
- 물리부 (TRL-5): 물리부는 PFS의 핵심기술로 고진공 시스템, 마이크로파 공진기, 정자장 생성부, 자기차폐부 등으로 구성된다. KRISS-1과 KRISS-F1을 개발해 오면서 많은 시행착오를 거쳐 성능이 실험실 수준에서 검증된 단계다.

- 레이저 시스템 (TRL-5): 2대 이상의 초고분해능 반도체레이저와 반도체 증폭기, 레이저 원자 분광기, 주파수 조절부, 광섬유 등으로 이루어져 있다. 수많은 광학계를 매우 정밀하게 조절하고 정렬해야 하므로 실험실 내에서 동작해야 하지만, PFS 성능을 만족시키는 성능평가가 완료되었다.
- 마이크로파 생성부 (TRL-5): PFS 단기안정도에 영향을 주는 기술로 크게 수소메이저와 마이크로파 합성부로 나눌 수 있는데, 이미 검증된 상용 시스템을 이용하여 설계 제작하여 성능평가가 완료되었다.
- 타임스케일 제어부 (TRL-5): PFS의 마이크로파 주파수, 레이저주파수, 주파수 안정화 서보 등의 동작을 관장하는 여러 대의 컴퓨터와 다중 입출력 하드웨어 및 소프트웨어 등으로 이루어져 있으며, 현재 PFS를 운영하면서 부분적인 성능 향상 진행 중이다.

9.2.3. 사용자 부문

사용자 부문에서의 핵심기술에 대한 국내기술 수준은 다음과 같다.

분야	국내 기술 수준	선진국 기술 수준	TRL	선진국대비 수준
다중항법 신호처리 기술	•상용급으로 GPS 및 GLONASS L1 신호대역에서의 C/A 코드를 처리할 수 있는 기술을 개발한 상태 •실험실 수준으로 GPS 및 갈릴레오 민간용 코드를 처리기술을 개발한 상태이나 상용급 다중항법 신호처리 기술은 미 확보 상태임	•스위스 Ublox, 미국 Trimble 및 Garmin, 벨기에 Septentrio, 독일 IfEN, 캐나다 NovAtel 등은 다중항법신호 처리가 가능한 단말기 또는 관련 Chip 판매 중 •미국 Rockwell Collins는 군용 GPS 수신기인 DAGR(Defense Advanced GPS Receiver)를 판매 중	시작품 단계 (TRL 6)	60%

9.2.3.1. 다중항법 신호처리 기술

- 국내에서는 상용급으로 GPS 및 GLONASS L1 신호대역에서의 C/A 코드를 처리할 수 있는 기술을 개발한 상태이고 실험실 수준으로 GPS 및 갈릴레오 민간용 코드를 처리할 수 있는 기술을 개발한 상태이나 상용급의 다중항법 신호처리 기술은 미 확보 상태이다.

국내기술 수준	선진국 기술 수준	TRL	선진국 대비 수준
•상용급으로 GPS 및 GLONASS L1 신호대역에서의 C/A 코드를 처리할 수 있는 기술을 개발한 상태 •실험실 수준으로 GPS 및 갈릴레오 민간용 코드를 처리기술을 개발한 상태이나 상용급 다중항법 신호처리 기술은 미 확보 상태임	•스위스 Ublox, 미국 Trimble 및 Garmin, 벨기에 Septentrio, 독일 IfEN, 캐나다 NovAtel 등은 다중항법신호 처리가 가능한 단말기 또는 관련 Chip을 판매 중 •미국 Rockwell Collins는 군용 GPS 수신기인 DAGR(Defense Advanced GPS Receiver)를 판매 중	시작품단계 (TRL 6)	60%

- 한국전자통신연구원은 위성항법지상국 및 탐색구조단말기 기술개발 사업의 일환으로 GPS 위성이 제공하는 L1, L2C, L5 신호 및 갈릴레오 위성이 제공하는 E1 및 E5a 신호를 처리할 수 있는 다중위성항법 신호처리 수신기 기술을 실험실 수준으로 개발하였다.
- (주)넵코어스 및 (주)텔에이스 등은 GPS L1 및 GLONASS L1 C/A 신호를 모두 처리할 수 있는 칩을 개발해 판매 중이나 관련 시장의 진입 장벽이 높아 어려움을 겪고 있다.

9.3. 핵심기술 개발 시 위험요소 분석 및 확보방안 도출

국가 위성항법 시스템 개발 구축을 위한 핵심기술을 개발할 경우 위험요소 및 확보방안 도출 결과는 다음과 같다.

구분	핵심기술명	위험요소 대상	확보방안 도출
우주 부문	항법신호 생성기술	● 기존 위성항법 시스템과의 상호운용성을 고려한 위성식별코드 생성 알고리즘 ● 주파수 효율성을 도모할 수 있는 데이터 프레임 생성기술	● 1단계(지상 테스트베드) 사업 및 항우연 주요사업 등을 통해 확보 ● 해외기관들과의 연구협력/공동연구 추진을 통해 확보 ● 주파수/신호에 대한 권리를 갖고 있는 국가와 협의체 구성을 통해 확보
	위성탐재 원자시계 기술	위성탐재 원자시계 개발 경험 전무	● 우주핵심기술사업 등을 통해 확보 ● 우주급 원자시계 개발 경험이 있는 해외 기관/업체와 협력을 통해 확보
	위성시각 동기기술	우주용 RF 및 신호처리부 개발	
	항법 중계기 기술	● 우주급 항법신호생성기 기술 및 우주급 항법안테나 기술에 대한 국내기술력미비	● 1단계(지상 테스트베드) 사업 등을 통해 핵심 기술 확보 ● 해외기관들과의 연구협력/공동연구 추진을 통해 확보
지상국 부문	정밀궤도 결정 및 추정기술	● 필요한 궤도예측 및 결정 정밀도 도출과 그에 따른 궤도와 관측 모델링	● 1단계(지상 테스트베드) 사업 등을 통해 핵심 기술 확보 ● 천문연에서 확보한 기술/시설과 국제 네트워크(IGS) 활용
	전파지연 예측기술	● 전파지연량 예측을 위한 최적함수 도출 ● 전파지연 오차보정을 위한 한반도 주변 해외 기준국 시설 구축	● 1단계(지상 테스트베드) 사업 등을 통해 핵심 기술 확보 ● SBAS 사업에서 일부 확보한 기술 활용 ● 전리층 지연 예측을 위한 주변국과의 협력을 통해 확보
	항법신호 감시기술	● 실용화를 목표로 하는 실효성 있는 원시 정보 취득 및 이를 위한 기준국 구축	● 1단계(지상 테스트베드) 사업 등을 통해 핵심 기술 확보 ● SBAS 사업에서 일부 확보한 기술 활용
	위성관제기술	● 정지궤도 및 경사궤도 다중위성관제기술	● 정지궤도위성은 항우연에서 확보한 기술 활용 ● 경사궤도위성은 관련 기술이 있는 일본, 인도와의 협력을 통해 확보
	시스템 시각 생성 및 지상국 동기 기술	● 타임스케일 성능	● 우주핵심기술사업 등을 통해 확보 ● PFS급 초고정밀 원자시계와 다수의 상용 수소메이저 및 세슘 원자시계를 조합하여 시스템시각 생성 시스템을 구축 ● 해외기관들과의 연구협력/공동연구 추진을 통해 확보
사용자 부문	다중 항법 신호처리 기술	● 기존 전역/지역 위성항법 신호와 신규 추가되는 위성시스템 제공 신호에 특성이 미정의된 상태에서의 신호처리	● 국내연구기관 또는 산업체의 보유 기술 활용 ● 해외기관들과의 연구협력/공동연구 추진을 통해 확보

9.3.1. 우주 부문

우주부문에서 기술한 각 핵심기술을 개발하는데 있어 위험요소가 무엇인지, 그것을 선정한 근거 및 위험요소를 해결하기 위한 대응방안에 대해 종합적인 내용은 다음과 같이 기술한다.

핵심기술명	위험요소 대상	확보방안
항법신호 생성기술	●기존위성시스템과의 상호운용호환성을 제공할 수 있는 스펙트럼을 고려한 위성식별코드 생성 알고리즘	●생성알고리즘은 국내 학·연 기관들의 보유기술을 활용하고 부족한 기술에 대해서는 기술력을 보유하고 있는 연구인력 활용 및 해외기관들과의 연구협력/공동연구 추진을 통해 확보 ●위성식별코드 확보를 위해 미국과의 정책적/기술적 협의체 구성을 통해 확보
	●주파수 효율성을 도모할 수 있는 데이터 프레임 생성기술	
위성탐재 원자시계 기술	●위성탐재 원자시계 개발 경험 전무	●원자시계와 유사한 기술의 탐재 개발 경험이 있는 국내외 기관 및 업체와 공동개발 ●광원 복수탐재 설계/개발을 위해 핵심기술에 대한 노하우 습득 및 개발을 위해 국내외 관련 기관들과의 연구협력 추진
	●광원부의 신뢰성	
위성시각 동기기술	●우주용 RF 및 신호처리부 개발	●우주환경 인증 설계 및 평가를 위한 국내/외 산업체 컨소시엄 운영
항법 중계기 기술	●우주급 항법신호생성기 기술 및 우주급 항법안테나 기술에 대한 국내기술력미비	●산학연 연구협의체 구성 및 국외기술자문기관을 통해 관련 기술을 검증하거나 국외 관련기술에 대한 개발경험 기관과의 연구협력 또는 공동연구로 관련 기술 확보

9.3.1.1. 핵심기술별 위험요소 도출

○ 항법신호 생성기술

위험요소 대상	위험요소 도출 근거
기존위성시스템과의 상호운용호환성을 제공할 수 있는 스펙트럼을 고려한 위성식별코드 생성 알고리즘	●기존 위성항법시스템 외에도 신규 시스템 등장으로 L 대역에서의 주파수 혼신문제가 증가되고 있고, 이들 시스템들과의 상호운용호환성을 제공할 수 있는 스펙트럼을 고려한 위성식별코드 생성 알고리즘 개발경험 부재 ●위성항법 관련 기술 개발경험 기간이 짧고 원천기술 확보보다는 어플리케이션을 위한 연구개발에 초점을 추구해 와 항법위성개발 관련 R&D 결과는 매우 저조한 상황임
주파수 효율성을 도모할 수 있는 데이터 프레임 생성기술	●항법위성개발 관련 기술보다는 항법신호를 이용하는 기술개발에 초점을 두고 R&D를 추구해 옴에 따라 우주급 주파수 효율성을 도모할 수 있는 데이터 프레임 생성기술 미 보유

○ 위성탑재 원자시계 기술

위험요소 대상	위험요소 도출 근거
위성탑재 원자시계 개발 경험 전무	●현재 위성탑재형 원자시계를 개발 보유한 나라는 전세계적으로 극소수이며 핵심부품의 국내 개발 인프라가 없음
광원부의 신뢰성	●광원의 특성편차로 인한 정확한 신뢰성 판단 어려움

- 현재 국내에서 위성탑재 원자시계 개발 및 운영경험이 전무하므로 연구개발을 통해 개발된 원자시계만을 위성에 탑재할 경우 동작불능의 위험성이 존재한다.
- 유럽의 Galileo 위성에 탑재된 루비듐 원자시계와 자체개발한 원자시계를 각각 탑재하여 성능비교 및 분석과 두 개 중 하나의 동작불능에 대한 위험성을 대응할 수 있다.
- 현재 미국과 유럽에서는 현재 사용 중인 위성원자시계 보다 더욱 정밀한 차세대 원자시계를 개발하고 가까운 미래에 새로운 원자시계가 탑재된 항법위성으로 대체 할 예정이다.
- 따라서 현재의 기술을 바탕으로 한 원자시계와 차세대 레이저 냉각형 초고정밀 원자시계를 동시에 개발하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

○ 위성시각동기 기술

위험요소 대상	위험요소 도출 근거
우주용 RF 및 신호처리부 개발	●위성탑재체의 시각동기 시스템에 대한 개발 경험 부재

- 현재 국내에서 위성탑재 시각 동기 시스템 개발 및 운영경험이 전무하지만 국내의 주변 산업의 수준을 고려했을 때 EM(Engineering Model) 개발에는 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.
- 하지만 국내 인프라의 경우 통신 시스템에 대한 경험은 일부 축적하고 있지만, 시각동기를 고려한 시스템 개발 경험 부재로 우주환경을 고려한 비행모델(Flight Model, FM) 설계 및 검증 과정에 어려움이 예상되며, 국외 인프라의 활용 가능성 검토가 불가피할 것으로 예상된다.
- GPS, GLONASS, Galileo 등 전역 위성항법 시스템은 단방향 시각전송 기법을 채택하여 위성시각 오차와 위성궤도 오차에 대한 추정을 연계하여 처리하고 있다.
- 하지만 국가 위성항법 시스템의 경우 지상감시국의 배치 및 수가 제한적일 것으로 예상되어 기존 전역 위성항법 시스템 대비 좋은 성능을 얻기 어려울 것으로 예상된다.
- 따라서 기존 위성항법 시스템과 유사 혹은 개선된 위성시각 동기 성능을 얻기 위해

서는 위성의 궤도와 독립적이며 고정밀 시각 동기가 가능한 양방향 시각전송 기법을 적용하는 것을 검토하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

- 혹은 단방향 시각전송 기법을 적용할 시 위성궤도 오차와 시각 동기 오차에 대한 열화 성능을 충분히 검토하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

○ 항법위성 중계기 기술

위험요소 대상	위험요소 도출 근거
우주급 항법신호생성기 기술 및 우주급 항법안테나 기술에 대한 국내기술력미비	●정지궤도 위성버스체 제작 등에 해외의존도가 높아 국산화 비율이 여전히 저조한 상태이고 경사궤도 위성에 대한 위성버스체 R&D 경험의 경우에는 전무한 상황임 ●항법위성에 대한 개발 당위성 부재로 탑재체 구성요소인 중계기 및 안테나에 대한 개발 기회를 갖지 못해 해당분야 관심도 부재 ●특히 우주급 항법신호생성기 기술 및 우주급 항법안테나 기술의 경우, 해당 기술에 대한 노하우 및 개발경험 부재로 대한 국내기술력이 낮은 상황

9.3.1.2. 위험요소별 확보방안

○ 항법신호 생성기술

위험요소 대상	확보방안
●기존위성시스템과의 상호운용호환성을 제공할 수 있는 스펙트럼을 고려한 위성식별코드 생성 알고리즘 ●주파수 효율성을 도모할 수 있는 데이터 프레임 생성기술	●생성알고리즘은 국내 학·연 기관들의 보유기술을 활용하고 부족한 기술에 대해서는 기술력을 보유하고 있는 연구인력 활용 및 해외기관들과의 연구협력/공동연구 추진을 통해 확보 ●위성식별코드 확보를 위해 미국과의 정책적/기술적 협의체 구성을 통해 확보

- 실험실차원에서의 항법신호 생성기술은 출연연구소 및 대학을 중심으로 어느 정도 확보하였으나, 이를 하드웨어적으로 구성해 제작하고 우주급용으로 사용하기 위한 환경시험 등이 이루어지지 않은 상태임
- 따라서 관련 기술에 대한 기술 확보를 위해서는 우주급 위성항법신호 생성 알고리즘은 국내 학·연 기관들의 보유기술을 최대한 활용하고 부족한 기술에 대해서는 기술력을 보유하고 있는 연구 인력과의 해외위탁 등을 통해 관련 기술을 확보해야 할 것이다.
- 또한, 항법신호 생성기술에 대한 노하우 및 신속한 기술력 확보를 위해서는 해외기관들과의 연구협력/공동연구 추진을 통해 확보함은 물론 위성식별코드 확보를 위해 미국과의 정책적/기술적 협의체 구성을 통해 확보해야 할 것이다.

○ 위성탐재 원자시계 기술

위험요소 대상	확보방안
위성탐재 원자시계 개발 경험 전무	●원자시계와 유사한 기술의 탐재 개발 경험이 있는 국내외 기관 및 업체와 공동개발
광원 신뢰성	●광원 복수탐재 설계/개발을 위해 핵심기술에 대한 노하우 습득 및 개발을 위해 국내외 관련 기관들과의 연구협력 추진

- 광원의 특성편차로 인한 정확한 신뢰성 판단 어려움 등을 해결하기 위해서는 원자시계와 유사한 기술의 탐재 개발 경험이 있는 국내외 기관 및 업체와 공동개발을 추진해 개발에 따른 위험요소를 최소화 시켜야 할 것이다.
- 또한 해당 기관등과의 기술교류 등을 지속적으로 추진해 원자시계와 차세대 레이저 냉각형 초고정밀 원자시계를 동시에 개발하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

○ 위성시각동기 기술

위험요소 대상	확보방안
우주용 RF 및 신호처리부 개발	●우주환경 인증 설계 및 평가를 위한 국내/외 산업체 컨소시엄 운영

- 위성탐재용 위성시각 시각비교/시각오차검출/시각오차 기술은 국내 인프라에서 경험한 기존 통신 기술을 기반으로 개발이 가능하지만 우주환경에 따른 하드웨어의 전기적 특성 변화, 지상국 감시 및 제어에 소요되는 지연시간 등에 대한 정밀한 오차 보정 기술과 시스템 인증 및 성능평가를 위한 기술적 역량이 필요하다.
- 국외(미국, 유럽, 일본, 인도, 중국 등) 및 국내 인프라의 연계를 위한 컨소시엄을 운영하여 고성능 위성시각동기를 위한 연구개발을 수행한다.
- 국내/외 컨소시엄의 구성은 성공적인 결과도출 및 국내 인프라의 역량 증대에 목적이 있다.

○ 항법 중계기 기술

위험요소 대상	확보방안
우주급 항법신호 생성기 기술 및 우주급 항법안테나 기술에 대한 국내기술력미비	●산학연 연구협의체 구성 및 국외기술자문기관을 통해 관련 기술을 검증하거나 국외 관련기술에 대한 개발경험 기관과의 연구협력 또는 공동연구로 관련 기술 확보

- 항법위성 중계기 기술은 통신용의 경우, 천리안 위성에 탑재된 Ka 대역 통신탐재체 개발경험을 보유하고 있으나 항법위성을 위한 탐재체 개발경험이 없고 관심도를 두고 있지 않아 관련 기술력을 높이는데 중장기적인 계획을 수립하여 국외 관련기술에 대한 개발경험 기관과의 연구협력 또는 공동연구로 관련 기술 확보를 추진해야 할 것이다.

9.3.2. 지상국 부문

지상국부문에서 기술한 각 핵심기술을 개발하는데 있어 위험요소가 무엇인지, 그것을 선정한 근거 및 위험요소를 해결하기 위한 대응방안에 대해 종합적인 내용은 다음과 같이 기술한다.

핵심기술명	위험요소 대상	확보방안
정밀궤도 결정 기술	●필요한 궤도예측 및 결정 정밀도 도출과 그에 따른 궤도와 관측 모델링	●기 확보된 상용 S/W 활용기술과 국제 네트워크(IGS)를 활용하여 S/W 개발 체계 구축
전파지연 예측기술	●전파 지연량 예측을 위한 최적함수 도출 ●전파지연 오차보정을 위한 한반도 주변 해외 기준국 시설 구축	●최적함수 도출을 위한 장기자료 처리 ●중국, 일본을 포함한 주변국과 협력 추진
항법신호 감시기술	●실용화를 목표로 한 실효성 있는 원시정보 취득 및 이를 위한 기준국 시설 구축	●실효성 있는 연구성과를 확보하기 위해서는 반드시 위성항법 지상감시국 수준의 원시정보를 이용하여 연구개발이 수행되어야 함 ●위험요소 제거를 위해 항법신호 감시정보 연구환경 구축을 1차년도 연구목표로 설정하고 추진토록 함
위성관제기술	●다중위성관제기술 및 경사궤도 위성관제 기술	●국내 연구소 및 대학을 중심으로 관제알고리즘을 개발하고 국외기술자문을 통해 이를 검증
시스템 시각 생성 및 지상국 동기 기술	●타임스케일 성능	●원자분수시계 혹은 광격자시계와 같은 PFS급 초고정밀 원자시계와 다수의 상용 수소메이저 및 세슘 원자시계를 조합한 시스템 구축 ●클럭오차 추정, 가중치 결정, 이중화 알고리즘 연구개발 수행

9.3.2.1. 핵심기술별 위험요소 도출

○ 정밀케도 결정 기술

위험요소 대상	위험요소 도출 근거
필요한 케도예측 및 케도결정 정밀도 도출	시스템 운영을 위한 케도예측 및 결정 정밀도와 다양한 사용자 수요에 맞는 케도결정 정밀도가 다양

- 위성의 정밀케도 결정 및 추정기술의 개발 난이도와 개발 방향은 사용자의 요구사항에 따라 결정된다. 따라서 항법위성의 경우 필요한 정밀케도 결정 및 예측 정밀도는 위성 관제, 측량, 차량 네비게이션, 측지 등의 다양한 사용 분야에 따라 정밀도와 결과 산출에 걸리는 시간(실시간, 후처리 등)이 다양하다. 그에 따라, 우선적으로 핵심 사용자별 수요에 맞는 정밀케도 예측 및 결정 정밀도의 도출이 선행되어야 한다.
- 이렇게 도출된 정밀케도 결정 및 추정기술의 요구사항을 바탕으로 개발 계획을 수립하는 단계가 주된 위험요소이고 이를 극복하기 위한 방법은 핵심적인 사용자인 실시간 위성항법시스템에 대한 수요와 고정밀의 측지 분야에서의 요구사항을 파악하는 것으로 그 결과에 따라 정밀케도결정 및 추정 기술의 SW 개발도 다중화가 필요할 수도 있다.

○ 전파지연 예측기술

위험요소 대상	위험요소 도출 근거
전파 지연량 예측을 위한 최적함수 도출	시·공간에 따른 대기권 물리량 변화 특성이 다름
전파지연 오차보정을 위한 한반도 주변 해외 기준국 시설 구축	위성항법 서비스 지역 신뢰도 확보를 위한 기준국 확장

- 전리층은 지역마다 다른 변화 양상을 보이므로 각 나라에서 개발한 지역 전리층 모델을 다른 지역에 적용할 수 없다. 또한 기존에 서비스되고 있는 GPS 전리권 모델은 단주기 조화함수 모델로서 실재 전리권 변화를 반영하지 못하고 있다. 또한 International Reference Ionosphere 모델 등은 시간 및 공간 해상도가 낮기 때문에 위성항법에 적용이 불가능하다. 그러므로 우리나라를 비롯한 관심 지역 전리권의 변화 양상을 파악하고 최적화된 변화주기를 도출하여 모델을 개발하는 것이 필요하다.
- 전리층 및 대류권의 대기권은 다른 지역의 영향을 받아 변화되기 때문에 정확한 전파지연예측을 위해서는 서비스 지역보다 넓은 지역의 기준국 확보를 통해 해당 지역 서비스의 신뢰도를 높일 필요가 있다.

○ 항법신호 감시기술

위험요소 대상	위험요소 도출 근거
실용화를 목표로 한 실험성 있는 원시정보 취득 및 이를 위한 기준국 시설 구축	실용화를 목적으로 한 기술개발의 조건 중에서 가장 필수적이면서 확보하기 어려운 환경적 요소로 식별

- 위성항법시스템에 적합한 성능을 가지는 기준국 장비로 원시정보를 취득할 수 있어야 하며, 실용화 연구단계에서는 실시간성(일정한 시간지연)을 보장할 수 있는 원시정보 확보가 필요함
- 취득되는 원시정보는 위성항법시스템에 적합한 수준의 기준국 수와 기준국 간의 거리를 고려한 상황에서 확보된 정보이어야 함

○ 위성관제기술

위험요소 대상	위험요소 도출 근거
다중위성관제기술 및 경사궤도 위성관제 기술	●우주공간상에서 존재하는 저궤도 및 정지궤도에 배치된 단일 위성에 대한 관제기술은 보유하고 있으나 정지궤도상에 다중위성에 대한 관제기술 및 경사궤도 위성에 대한 위성관제기술은 보유하고 있지 않음 ●또한 관련 기술에 대한 R&D를 수행해본 결과가 거의 없는 상태임

- 우주공간상에서 존재하는 저궤도 및 정지궤도에 배치된 단일 위성(다목적 실용위성, 천리안 위성, 향후 발생예정인 KTSAT 위성 등) 위성에 대한 관제기술은 설계, 구현은 물론 실제 운용 중에 있어 기술에 대한 검증은 완료된 상태이다.
- 하지만 위성항법 시스템은 다수의 정지궤도 위성과 경사궤도 위성으로 구성되므로, 정지궤도상에 다중위성에 대한 관제기술 및 경사궤도 위성에 대한 위성관제기술은 보유하고 있지 않아 이에 대한 기술 확보가 필요한 상황이다.

○ 시스템 시각 생성 및 지상국 동기 기술

위험요소 대상	위험요소 도출 근거
타임스케일 성능	●타임스케일은 정확성, 무결성, 연속성 성능 보장이 요구됨 ●초고정밀 타임스케일 생성을 위한 클럭오차 추정, 가중치 결정 알고리즘 개발, 이중화 알고리즘 개발을 위해서 많은 시간과 경험이 요구됨

- 시스템 타임은 위성항법시스템의 기준이 되는 시각 정보이기 때문에 정확성뿐만 아니라 무결성 및 연속성이 보장되는 성능이 요구된다.

- 시스템 시각생성 시스템과 각 원자시계의 클럭오차 특성을 반영한 타임스케일 추정 및 이중화 알고리즘 설계가 필요하며, 이를 위해 많은 시간과 경험이 요구된다.

9.3.2.2. 위험요소별 확보방안

○ 정밀케도 결정 기술

위험요소 대상	확보방안
필요한 케도예측 및 케도결정 정밀도 도출	이미 확보한 상용 SW 활용기술과 국제 네트워크(IGS)를 활용하여 SW 개발 체계 구축

- 정밀케도결정 및 추정 정밀도는 사용자 별 필요에 따라 개발 전략이 달라지므로 수요자별 필요한 정밀도에 대한 파악이 선행되어야 한다. 이를 통해 현재 가장 정밀한 케도를 정보를 산출하는 국제 위성항법 서비스 기관인 IGS 및 산하 분석기관들과의 협력체계 구축을 통해 기술을 확보하고자 한다.

○ 전파지연 예측기술

위험요소 대상	확보방안
전파 지연량 예측을 위한 최적함수 도출	장기 관측자료 확보 및 분석
전파지연 오차보정을 위한 한반도 주변 해외 기준국 시설 구축	해외 기준국 설치 및 국제공동체계 수립

- 위성항법 서비스 지역의 전파 지연량을 예측하기 위한 모델 함수에 필요한 주기, 위상 도출을 위한 장기자료 분석이 필요함. 도출된 주기 및 위상으로부터 지역 특성에 최적화된 모델함수를 선별하여 경험모델 파라미터를 도출함. 개발된 경험모델의 신뢰도 확보 및 정확도 향상을 위해서는 지속적인 모델개정이 필요하며 이와 동반하여 관측자료의 꾸준한 확보를 위한 체계적 관측소 운영이 요구된다.
- 우리나라가 자체적으로 구축하여 운영할 수 있는 해외 관측소 지역을 확보한다. 그러나 각 국가의 정책적 문제로 인해 확보가 어려울 경우 각 나라의 연구기관 및 대학과 국제공동연구체계를 구축하여 공동 활용하는 방법으로 해외관측소 확보를 추진한다.

○ 항법신호 감시기술

위험요소 식별 대상	확보방안
실용화를 목표로 한 실효성 있는 원시정보 취득 및 이를 위한 기준국 시설 구축	실효성 있는 연구성과를 확보하기 위해서는 반드시 위성항법 지상감시국 수준의 원시정보를 이용하여 연구개발이 수행되어야 함

- 항법신호 감시기술 개발에 필요한 위성항법 지상감시국 설계 및 관련 장비 구축기술과 원시정보 실시간 확보 기술이 필요하다.
- 지상감시국 구축 부지 선정 및 다중화 방안을 기반으로 항법신호 감시기술을 개발하여야 한다.

○ 위성관제기술

위험요소 대상	확보방안
다중위성관제기술 및 경사궤도 위성관제 기술	국내 연구소 및 대학을 중심으로 관제알고리즘을 개발하고 국외 기술자문을 통해 이를 검증할 통해 관련 기술 확보

- 우주공간상에서 저궤도 및 정지궤도 단일 위성(다목적 실용위성, 천리안 위성, 향후 발생예정인 KTSAT 위성 등)에 대한 관제기술은 설계, 구현은 물론 실제 운용 중에 있어 기술에 대한 검증은 완료된 상태이다.
- 하지만 정지궤도상에 다중위성에 대한 관제기술 및 경사궤도 위성에 대한 위성관제 기술은 보유하고 있지 않아 해당 기술에 대한 확보를 위해서는 국내 연구소 및 대학을 중심으로 관제알고리즘을 개발하고 국외기술자문을 통해 이를 검증해 관련 기술에 대한 확보를 추진하는 것이 바람직하다.

○ 시스템 시각 생성 및 지상국 동기 기술

위험요소 대상	확보방안
타임스케일 성능	●원자분수시계 혹은 광격자시계와 같은 PFS급 초고정밀 원자시계와 다수의 상용 수소메이저 및 세슘 원자시계를 조합한 시스템 구축 ●클럭오차 추정, 가중치 결정, 이중화 알고리즘 연구개발

- 위성항법시스템의 시스템 시각은 독립적인 시스템의 성능만이 아니라 타 위성항법시스템과의 통합 운영을 위해서 UTC와 최대한 근접한 타임스케일이 요구되며 이는 위성항법시스템의 궤도 추정, 의사거리 측정, 항법 정확도 등 전반적인 시스템 성능에 영향을 미치는 요소이기 때문에 안정적인 시스템 운영 및 초정밀 타임스케일 유지가 필요하다.
- 이를 위해서 기존 시스템 시각 생성 시스템과 같이 상용 수소메이저 및 세슘 원자시계를 이용한 방법과 원자분수 원자시계 혹은 광격자 원자시계와 같은 PFS 원자시계를 함께 조합하고 운영이 가능하도록 각 원자시계의 시각오차 추정 및 가중치 결정 기술과 이중화 설계 및 운영 기술에 대한 연구개발이 필요하다.
- 참고 : GPS(미)의 시스템 시각을 생성하는 USNO는 현재 총 39 기의 상용 원자시계(수소메이저, 세슘)와 PFS급 초고정밀 원자시계 4기를 활용하여 UTC를 기준으로 10ns 이내로 타임스케일을 유지하고 있다.

9.3.3. 사용자 부문

- 사용자 부문에서의 위험요소 식별대상은 항법시스템의 다원화, 항법시스템이 갖고 있는 현안사항, 국내 산업체가 기존 시장진입 장벽을 넘지 못하는 문제 및 전파교란에 따른 대응능력 강화 등의 문제를 제시한다.

핵심기술명	위험요소 대상	확보방안
다원항법신호 처리기술	다중항법신호처리 알고리즘	•국내연구기관 보유기술의 업그레이드 추진 및 해외 대학 등과의 위탁과제 추진으로 핵심알고리즘을 확보하고 국외 기술력 보유기관과 연구협력 추진

9.4. 핵심기술별 목표 성능 및 개발 전략

9.4.1. 핵심기술별 목표 성능

분류	핵심 기술	목표 성능
우주 부분	항법신호 생성 기술	-코드위상 동기 : $< 0.1 \text{ ns}$ -혼신격리도 : $< -70 \text{ dBc}$ -설계수명 : 13 년 이상 -군지연(Group Delay) 안정도 기울기 : $< 110 \text{ ps}/10^\circ\text{C}$
	위성 원자시계 기술	-주파수 정확도: $\leq 2 \times 10^{-10}$ -주파수 안정도: 4×10^{-12} (1 s), 4×10^{-13} (100 s), 4×10^{-14} : drift removed (10000 s)
	위성 시각동기 기술	-위성간 시각동기 성능 $< 10 \text{ ns}$
	항법 중계기 기술	-EIRP/CH : $> 30 \text{ dBW}$ -무게 : $< 60 \text{ kg}$ (TBC) -설계수명 : 13 년 이상 -안테나 축비/중량 : $< 1.5 \text{ dB} / < 15 \text{ kg}$ -강성(Stiffness) : $> 100 \text{ Hz}$
지상국 부분	정밀궤도결정 기술	-후처리궤도오차 : $< 1 \text{ m}$
	전파지연예측 기술	-총 전자수(TEC, Total Electron Content) 및 지연 오차 정보 산출 -실시간 서비스 구현 -해외관측소 개발 : 3 개소 이상
	항법신호감시 기술	-URE 무결성 감시 신뢰도 : $< 10^{-5}$ -고장 유무 및 이상 식별 기능
	위성관제 기술	-정지궤도 다중위성 관제기술 -경사궤도 다중위성 관제기술
	시스템 시각생성 및 지상국 동기 기술	-주파수 안정도 : 3×10^{-13} (1 s), 3×10^{-14} (100 s), 9×10^{-16} (100000 s) -표과연 표준 시각(UTC KRISS)과 시각동기 : $< 5 \text{ ns}$ -지상국간 시각동기 성능 : $< 10 \text{ ns}$
사용자 부분	다중항법 신호처리 기술	-항법신호 처리규모 : 3개 이상 -항법신호 획득/추적 신호세기 : $-142 \text{ dBm} / -152 \text{ dBm}$ -TTFF ⁶⁸⁾ : 6 초 이내

68) TTFF(Time To First Fix) : 위성항법 수신기가 동작 후 처음 항법 결과를 제공할 때까지의 소요 시간

9.4.2. 개발 전략

○ 개발 전략

- 경제성/개발 리스크 등을 고려 단계적으로 사업을 추진. 축적된 기술역량을 활용한 기술 개발 및 국제협력을 통한 부족기술 확보
- 1단계, 2단계 사업을 통해 위성항법시스템 핵심기술(우주, 지상, 사용자 부문) 확보
- '28년 발사 예정인 정지궤도복합위성 후속 위성을 활용하여 서브미터급 보강 서비스 조기 제공으로 활용 분야 확대

표 57 단계별 확보 기술

구분	우주 (Space)	지상 (Ground)	사용자 (User)	TRL
1단계	•항법 신호 설계 기술 •S 대역 안테나 기술	•정밀궤도 결정 기술 •전파 지연 예측 기술	•S 대역 신호 처리 기술 •시험용 단말 기술	•TRL 5~7 수준 기술확보
2단계	•항법 탑재체 제작 기술 •경사궤도 제어 기술	•지상국 제작/운영 기술 •항법 신호 감시 기술	•다중 항법 신호 처리 기술 •다중 항법 단말 기술	•TRL8~9 수준 기술확보



그림 68 기술 개발 및 구축 전략

9.4.3. 개발 로드맵

○ 우주 부문

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
항법신호 생성 기술	기초 연구	지상기반 항법신호 생성기 기술 연구	위성탑재용 항법신호 생성기 기술 연구	위성탑재용 항법신호 생성기 EM 모델 개발	위성탑재용 항법신호 생성기 EQM 모델 개발	위성탑재용 항법신호 생성기 FM 모델 개발				조립/연동 검증	
TRL 수준	3	4			5	6		7		9	
비고	1단계 사업 / 우주핵심(항우연)					2단계 사업					

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
위성 원자시계 기술	위성탑재용 원자시계 예비설계 및 실험실 모델 구현				위성탑재용 원자시계 EM 모델 개발	위성탑재용 원자시계 EQM 모델 개발		위성탑재용 원자시계 FM 모델 개발		조립/연동 검증	
	3	4			5	6		7		9	
TRL 수준	1단계 사업 / 우주핵심(표과연)					2단계 사업					
비고											

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
위성 시각동기 기술	기초 연구		위성시계 오차추정 및 동기 기술 연구		시각동기 모듈 EM 모델 개발	시각동기 모듈 EQM 모델 개발		시각동기 모듈 FM 모델 개발		조립/연동 검증	
TRL 수준	3		4		5	6		7		9	
비고	1단계 사업 / 우주핵심(표과연)					2단계 사업					

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
항법 중계기 기술	기초연구		S대역 중계기 실험실 모델 구현		S대역 중계기 EM 모델 개발						
						L/S 대역 중계기 EQM 모델 개발	L/S 대역 중계기 FM 모델 개발		조립/연동 검증		
TRL 수준	3		4		5	5	6	7		9	
비고	1단계 사업 / 우주핵심(전통연)					2단계 사업					

○ 지상국 부문

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
정밀궤도결정 기술											
	기초 연구	동역학/관측/필터링 모델 개발		정밀궤도결정 모델 개발		정밀궤도결정 검증 모델 개발			정밀궤도결정 시스템 고도화		
TRL 수준	3	4		5		6		7		8	9
비고	1단계 사업					2단계 사업					

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
전파지연예측 기술						예측모델 구동체계 상세설계	예측모델 구동체계 개발		예측모델 구동체계 시험	예측모델 시험서비스	예측모델 서비스
	기초 연구			예측모델 구동체계 예비설계							
				관측정보 관리체계 수립		관측정보 관리체계 설계/개발		해외관측소 확보방안 수립	해외관측소 체계수립		실시간 관측정보 관리체계 설계/가동
TRL 수준	5		6			7		8		9	
비고	1단계 사업					2단계 사업					

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
항법신호감시 기술	항법신호 오차해석 기술 개발		항법신호 이상식별 기술 개발			항법신호감시 시스템 기본/상세설계		항법신호감시 시스템 개발 및 성능검증		항법신호감시 시스템 시험운영 및 검증	
TRL 수준	4	5		6		7		8		9	
비고	1단계 사업					2단계 사업					

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
위성관제 기술						경사궤도 위성관제 시스템 기본/상세설계		경사궤도 위성관제 시스템 개발		경사궤도 위성관제 시스템 시험 및 종합화	
TRL 수준						7		8		9	
비고						2단계 사업					

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29		
시스템시각 생성 및 지상국 시각동기 기술	원자시계 오차 특성 분석 및 고안정도 클럭 생성 알고리즘 개발		시스템시각 생성 시스템 예비설계			시스템시각 생성 시스템 상세설계		시스템시각 생성 시스템 개발/시험/평가		시스템시각 생성 시스템 운영 및 성능 개선			
				지상국 시각동기 시스템 예비설계		지상국 시각동기 시스템 상세설계		지상국 시각동기 시스템 개발/시험/평가		지상국 시각동기 시스템 운영 및 성능 개선			
	TRL 수준		5			6		7		8			
	비고					1단계 사업					2단계 사업		

○ 사용자 부문

연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29
다중항법 신호처리 기술	다중항법 신호처리 기초연구		국가 위성항법 시스템 신호처리 알고리즘 구현			다중항법 신호처리 알고리즘 구현 (국가 위성항법 시스템/GPS)		다중항법 신호처리 알고리즘 고도화 (국가 위성항법 시스템/GPS/Galileo)		다중항법 신호처리 알고리즘 상용화	
	TRL 수준		6			7		8		9	
비고	1단계 사업					2단계 사업					

※ 목표 성능을 달성하기 위한 기술 개발 전략은 부록 H에 정리하였음

9.5. 핵심기술별 개발비용 및 기간 산출

9.5.1. 위성 발사 계획

○ 단계별 추진 내용

－ 사전 단계 :

- 항법용 주파수 확보(S 대역 및 L 대역)를 위한 작업반 구성 및 주파수 등록 절차 개시
- 국제 협력을 위한 MOU 체결 및 협력 협정 추진

－ 1단계 : ‘19~‘23(5년)

- 지상 테스트베드 구축으로 핵심 기술 확보하고 향후 항법 신호 우주 실험을 위한 테스트베드로 활용

－ 2단계 : ‘24~‘29(6년)

- 위성개발 및 지상국 개발
- 궤도 내 시험 (IOV, In-Orbit Validation)용 경사궤도 위성 발사 (‘29)⁶⁹⁾

－ 3단계 : ‘30~‘36(7년)

- 추가 위성 발사 (경사궤도 3기, 정지궤도 3기)
- 서비스 제공 개시

※ 본 발사 계획은 추후 진행될 상세 기획 결과에 따라 변경 될 수 있음

69) 2단계에서 궤도 내 검증(IOV)일정에 따라 완전정상가동 (FOC, Full Operational Capability) 일정이 영향을 받게 됨. 개발 기간에 따라 개발 비용이 증가하고 경제성 등에 악영향을 미치기 때문에 기술 개발을 위해 요구되는 최소한의 기간을 감안하여 ‘29년 발사로 계획하였음

단계	1단계(5년)					2단계(6년)						3단계(7년)						
연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35	'36
정지궤도						□				▼					◆	◆		◆
경사궤도											◆				◆		◆	◆
Event	지상 테스트베드 구축							CDR			IOV		CDR			IOC		FOC
기획연구			2단계 기획						3단계 기획									
주요일정	1단계 착수			2단계 예타	예산 반영	2단계 착수				3단계 예타	예산 반영	3단계 착수						

□ 정지궤도 위성 : 사업 추진 시 시험용으로 활용

◆ 항법위성 : 국가 위성항법 서비스 제공을 위한 위성

▼ 정지궤도복합위성 : '18년 발사 예정인 GK2A 후속으로 서브미터급 보강 서비스에 활용

☞ 항법위성의 위성체는 정복위성 단일 플랫폼 사용(개발소요 기간 단축 및 비용 절감)

☞ 항법위성의 위성수명(정지궤도 위성: 12년+, 경사궤도 위성: 13년+)은 요구사항 분석결과에 따라 상향 조정될 수 있음

☞ 위성 조립/시험은 타 위성프로그램을 고려 시 해외와 공동 수행 필요(국내 독자 수행 시 현재의 시설 및 인력으로는 부족 예상)

9.5.2. 국가 위성항법 시스템 구축비용

단위: 억 원

단계	1단계(5년)					2단계(6년)						3단계(7년)							총계
연차	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35	'36	
지상 테스트베드	30	80	90	80	20														300
위성체						150	225	375	450	525	675	1,125	1,800	1,725	1,575	1,200	525	150	10,500
발사/보험								80	280	320	320	160	640	1,000	1,400	1,200	960	640	7,000
항법탑재체						80	100	120	150	210	280	420	680	570	440	350	100		3,500
지상국						50	150	250	300	250	200	200	200	150	100	50	50	50	2,000
소계	30	80	90	80	20	280	475	825	1,180	1,305	1,475	1,905	3,320	3,445	3,515	2,800	1,635	840	23,300

※ '28년 정지궤도복합위성 후속 위성을 대상으로 서브미터급 보강 서비스를 조기 제공할 경우 해당 위성의 탑재체 비용 180억 추가 소요되며, 수요 부처에서 지원 필요

10. 국가 위성항법사업 경제적 타당성 분석 결과

10.1. 경제적 타당성 분석

10.1.1. 분석개요

10.1.1.1. 방법론 설정

경제적 타당성 분석은 경쟁적인 공공투자기회의 긍정적인 효과와 부정적인 효과를 체계적으로 평가하고 가능한 한 이들을 계량화하여 선택이 이루어지도록 하는 것이다. 경제성 분석의 목적은 한정된 경제적 자원의 효율적인 활용에 있는데, 한정된 경제적 자원을 효율적으로 배분하여 총 효용을 극대화하기 위함이다.

경제성 분석은 해당 사업이 어느 정도의 경제적 가치가 있는 사업인지를 파악하여 사업에 대한 정확한 이해를 돕고, 사업의 경제성에 대한 정보는 정책적 차원의 분석에 있어서 가장 기본적이고 필수적인 자료로 활용된다.

본 분석의 신뢰성을 확보하기 위해서 한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서 발간한 ‘연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 제2판(‘14.11)’의 지침 및 권고사항을 적용하고자 한다. 또한, 가장 기본적인 경제성 분석의 내용으로 비용편익분석(Cost-Benefit analysis)을 수행하고자 한다. 또한, 사업에 대한 다양한 경제성 검토 차원에서 순현재가치분석(NPV analysis), 내부수익률분석(IRR analysis) 등을 적용하고자 한다.

10.1.1.2. 비용편익분석 설계

○ 비용편익분석의 개념

비용편익분석(Cost-Benefit Analysis)은 모든 사회적 비용과 모든 사회적 편익을 따져 대안들 중 최적대안을 선정하는 기법이다. 예산수립 과정에서 제안된 사업계획의 사회적 이익을 화폐단위로 환산해 실제로 그 사업에 필요한 비용과 수익을 비교 및 평가하는 방법이다. 비용편익분석의 기법에서 가장 중요한 것 2가지는 연구대상이 화폐단위로 측정되어야 한다는 것(공통된 척도)과 그 화폐의 가치가 시간에 따라 변화한다는 데 있다(현재가치, 할인율)는 것이다.

비용편익분석은 경제성에 대한 대표적인 방식으로 장기적인 안목과 넓은 안목에서 사업의 바람직한 정도를 평가할 수 있는 실용적인 방법이며, 모든 관련된 비용과 편익들을 하나하나 열거하고 평가하는 것을 의미한다. 비용편익 분석은 비율척도로서 1을 기준으로 한 가치판단이 가능하다. 예비타당성조사 일반지침에 따르면 경제적 타당성 분석에 있어서 비용편익 분석을 적용할 경우에는 현재가로 환산한 비용 대비 편익의 비율이 1 이상이면 경제성이 있다고 판단할 수 있다. 단, 미국의 경우는 편익/비용 비율이 단순히 1을 상회한다고 해서 해당 투자가 경제적 타당성이 있다고 판단하지는 않는다. 미국 정부의 예산관리처(Office of Management and Budget: OMB)가 제시하는 공공투자분석에 대한 특수기준에 의하면, 조세왜곡에 따른 초과부담 등을 감안하여 최소 편익/비용

비율이 '1.25' 이상이라야 경제적 타당성을 인정받을 수 있다고 설명하고 있기도 하다.

○ 비용편익 분석 방법

비용편익분석의 방법에는 비용편익비율(Benefit Cost Ratio, BCR), 순현재가치(Net Present Value, NPV), 내부수익률(Internal Rate of Return, IRR), 비용변제기간(pay-back period), 순평균수익률(net average rate of return) 등이 있다.

비용편익비율이란 사업의 진행으로 인한 총편익과 총비용을 현재가치로 환산하여 총편익의 현재가치를 총비용의 현재가치로 나눈 것으로 비용 대비 편익의 비율이 높은 사업일수록 경제성이 높은 것으로 평가하는 기준이다. 즉 단위비용당 편익으로서 편익비용비율이 1보다 크면 그 대안은 비용에 비해 더 큰 편익이 발생하고, 편익비용비율이 1보다 작은 대안은 비용에 비해 낮은 편익이 발생됨을 의미한다. 사업의 비용 단위당 편익이 얼마인가를 보여 주는 것이므로 소규모 사업이 상대적으로 높은 비율을 받기에 유리하다는 단점이 있다. 비용편익비율 관련 수식은 다음과 같다.

$$B/C \text{ 비율} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

B_t : 편익의 현재가치

C_t : 비용의 현재가치

r : 할인율(이자율)

η : 분석기간

순현재가치는 투자사업의 전 기간에 걸쳐 발생하는 순편익의 합계를 현재가치로 환산한 값을 의미한다. 서로 다른 시간에 발생하는 다양한 항목의 편익과 비용을 현재가치로 환산하여 정책을 평가하는 방법으로 현 시점으로 전환된 편익이 비용보다 크면 제안된 대안은 경제적으로 타당성이 있는 것으로 평가한다. 순현재가치 관련 수식은 다음과 같다.

$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

B_t : 편익의 현재가치

C_t : 비용의 현재가치

r : 할인율(이자율)

η : 분석기간

○ 비용편익분석의 특성 및 장단점

비용편익분석은 사회적 관점 또는 국민경제 전체의 관점에서 비용과 편익을 파악하는

것인데, 국민경제적 관점에서의 편익이란 특정 사업의 국민에 대한 공헌을 뜻하며, 비용이란 국가자원의 소비를 뜻한다. 비용편익분석은 사업추진과정에서 발생될 것으로 기대되는 모든 비용과 편익을 장기적 시각에서 종합적으로 평가한다. 또한, 비용편익분석은 현실적인 측면을 고려한 실무적인 방법으로 장기적인 투자안을 분석할 경우 이익이 아닌 현금흐름을 사용하는데, 이는 회계처리방법에 따라 이익의 크기가 달라지기 때문이다. 화폐단위로 측정하여 비용효과 분석보다 넓은 대상에 대해 명확한 비교가 가능하다. 장점으로는 비교가능 대안의 폭이 넓다는 점과 경제적 효율성 등 비용효과 분석보다 많은 의사결정 정보를 제공한다는 점이다. 단점으로는 모든 편익을 화폐단위로 환산하는 것이 불가능하다는 점과 주관적이기 쉽다는 점이 있다.

10.1.1.3. 경제성 분석의 주요 전제

○ 기준연도

경제성 분석은 기획보고서 제출 시점의 전년도를 평가의 기준연도로 하여 편익 및 비용을 추정하는 것이 일반적이다. 본 분석에서는 기준연도를 '16년으로 설정하여 편익과 비용을 추정하였다.

○ 회임기간

본 사업은 개발기간 내에 시범기간을 포함하고 있어 회임기간은 없는 것으로 추정하였다.

○ 편익기간

편익기간은 예타 지침⁷⁰⁾을 기준으로 위성의 내용연수 (12년 또는 13년⁷¹⁾)을 기준으로 하였다. 단, 전체 위성의 설치까지의 소요되는 연수를 감안, 9년으로 설정하였다.

○ 사회적 할인율

사회적 할인율은 사회적 할인율의 조정(한국개발연구원, '07.7)에서 제시된 할인율 5.5%를 적용하여 총비용과 총 편익을 현재가치화 하였다.

○ 부가가치율

사업수행으로 창출된 편익은 매출액 기준이 아닌, 부가가치 기준으로 산정하였으며, 부가가치율은 한국은행 '14년 산업연관표(연장표)를 이용하여 산출하여 적용하였다. 한국은행은 5년마다 실측표, 매년 연장표로 산업연관표를 발표하고 있으며, 여기서 부가가치의 정의는 최종산출물에서 중간투입물의 가격을 뺀 나머지 부분으로 정하고 있고, 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

70) 예타지침에는 일반적인 정보통신장비의 내구연한에 따라 5~15년의 분석기간을 탄력적으로 적용하라고 되어있음

71) 정지궤도: 12년, 경사궤도: 13년

$$\text{부가가치율}(\%) = \frac{\text{부가가치액}}{\text{총투입액}} \times 100 \quad (3)$$

$$= 100 - \text{중간투입률}(\%)$$

부가가치율은 '14년 한국은행 산업연관표 기본부문 384부문 표 중 기본 3개 부문 생산자 가격 평가표 기준 산술평균을 적용하였다.

표 58 부가가치율 산정
(생산자 가격 평가표 기준)

통합대분류(30)		통합중분류(82)		통합소분류(161)		기본부문(385)		부가가치율
12	전기 및 전자기기	39	통신, 방송 및 영상, 음향기기	87	통신 및 방송장비	236	기타 무선통신장 비 및 방송장비	27.8%
22	정보통신 및 방송 서비스	60	방송 서비스	130	방송 서비스	327	유선, 위성 및 기타방송	65.1%
		61	정보 서비스	131	정보 서비스	328	정보 서비스	91.7%
평균								61.5%

○ R&D기여율

R&D기여율(35.40%)은 정부의 R&D 투자가 기업의 R&D를 통한 제품의 생산에 미치는 영향으로 본 연구에서는 (舊)미래창조과학부, 제3차 과학기술기본계획('13.8)의 기준을 적용하였다.

○ R&D사업화성공률

한국산업기술평가관리원(KEIT)에서 발간한 '14년 성과활용현황조사 분석보고서('15.8)의 ST(우주항공) 분야 사업화성공률을 활용하였다. 해당 보고서에는 ST 분야 사업화성공률을 42.0%를 제시하였다.

표 59 기술분야별(6T) 사업화 성공률
(한국산업기술평가관리원, '14년도 성과활용현황조사 분석보고서, '15)

구분	사업화현황						총계
	사업화 준비중	사업화성공		사업화 포기	기타	미응답	
		건수	비중				
IT(정보통신)	139	238	46.6%	38	74	22	511
BT(생명공학)	79	53	28.6%	16	30	7	185
NT(나노)	53	71	40.1%	22	27	4	177
ET(환경공학)	91	143	48.1%	17	36	10	297
ST(우주항공)	12	21	42.0%	2	14	1	50
CT(문화콘텐츠)	63	29	23.8%	1	21	8	122
기타	220	367	47.7%	47	98	38	770
전체	657	922	43.7%	143	300	90	2,112

○ 사업기여율

국내에서 이루어지는 관련 분야의 전체 연구개발 투자에 대비한 동 사업의 투자 비중인 사업기여율의 경우 최근 5년간('11~'15년) 정부 위성항법 관련 연구개발 투자규모는 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)에서 투자액을 산출하였고, 민간재원의 경우에는 KISTEP에서 매년 발간하는 '우리나라 민간기업 연구개발활동 현황('16.12)'의 기업부문 연구개발비 비율(민간:정부=77.5:22.5)을 적용하여 69.1%로 산정하였다.

표 60 편익 산정 기준 정리

구분	적용값	단위	비고
기준연도	'16	년	기획보고서 제출 전년도
부가가치율	61.5	%	'14 한국은행 산업연관표(연장), 여러 부문별 부가가치율 산술평균
R&D기여율	35.4	%	제 3차 과학기술기본계획('13.8)
R&D 사업화성공률	42.0	%	한국산업기술평가관리원(KEIT)의 성과활용현황조사분석보고서('14)에서 6T 중 ST 성공률
사업기여율	69.1	%	NTIS에서 위성항법 관련 키워드. 정부:민간투자비율은 KISTEP 민간투자활동보고서 비율
할인율	5.50	%	한국개발연구원('07)
환율	1,160.5	원	'16년 평균환율
편익기간	9년 ('37년~'45년)	년	위성의 내용연수 고려
회임기간	—	년	시험운영기간 포함. 회임기간 없음

10.1.2. 비용추정

10.1.2.1. 비용추정기준

국가 위성항법사업의 비용 추정은 다음과 같은 기준으로 산정하였다. 첫째, 비용 산정은 사업 초기 연도인 '23년부터 '36년까지 발생하는 개발비를 합산하여 산정하였다. 둘째, 국가 위성항법사업의 개발비 2조 3,000억 원과 사업종료 후인 '37년부터 '44년까지의 9년간(편익 기간)의 운영비를 포함하여 산정하였다.

10.1.2.2. 총비용추정

국가 위성항법의 총 개발비용은 2조 3,000억 원으로 추정되며, 사업 종료 후 편익기간까지의 운영비용 1,450억 원과 '42년 경사궤도 대체 위성 1기 재발사 비용을 포함하여 총비용을 추정하면 2조 7,450억 원이다. 이를 현재가치로 환산하면 1조 1,711억 원으로 추정된다.

표 61 연차별 사업비 내역 (단위: 억 원)

연도	개발비	운영비	총비용	비용의 현재가치
‘23	330	—	330	227
‘24	575	—	575	375
‘25	875	—	875	540
‘26	1,230	—	1,230	720
‘27	1,175	—	1,175	652
‘28	1,200	—	1,200	631
‘29	1,180	—	1,180	588
‘30	2,290	—	2,290	1,082
‘31	2,980	—	2,980	1,335
‘32	3,395	—	3,395	1,441
‘33	3,375	—	3,375	1,358
‘34	2,515	—	2,515	959
‘35	1,435	—	1,435	519
‘36	445	—	445	153
‘37	—	200	200	65
‘38	—	150	150	46
‘39	—	150	150	44
‘40	—	150	150	41
‘41	—	150	150	39
‘42	3,000	150	3,150	783
‘43	—	150	150	35
‘44	—	150	150	33
‘45	—	200	200	42
합계	26,000	1,450	27,450	11,711

10.1.3. 편익추정 및 비용편익분석 결과

10.1.3.1. 편익추정 기준

○ 편익추정의 원칙

예비타당성조사에서 편익 추정의 단위는 개별 사업이고, 연구진은 합리적인 편익추정을 통해 평가대상의 장단점을 분석하여 종합한 평가결과를 도출한다. 경제적 타당성 분석은 공공투자사업의 시행여부 판단에 있어서 사업을 시행할 경우에 발생하는 편익을 사업이 추진되지 않는 경우와 비교하는 것이다. 즉 사업 전후(before and after)가 아닌 시행

유무(with or without) 비교를 통하여 사회후생(social welfare)의 차이를 분석하여야 한다. 예비타당성조사는 비용과 편익을 고려하여 보다 큰 규모의 편익을 얻을 수 있는 방안을 선택한다는 후생경제학에 이론적 기반을 두고 있다. 즉, 예비타당성조사에서 순편익의 발생이란 사업으로 인한 경제적 후생 개선이 사업으로 인한 손실을 보상하고도 남을 경우를 의미한다.

편익은 화폐단위 측정의 가능 여부에 따라 유형 편익(tangible benefits)과 무형 편익(intangible benefits)으로 구분할 수 있다. 유형 편익에는 기술개발을 통한 비용저감, 기술료 수입 등이 해당하고, 무형 편익에는 지식의 증대, 과학기술자의 교육훈련, 국가위상의 제고 등이 해당하고, 일반적으로 시장가격이 없어 화폐단위로 측정하기가 곤란하다. 본 사업의 경우 유형 편익, 무형 편익 모두 존재하나 유형 편익을 기준으로 편익을 산정하였다.

연구개발사업의 편익은 연구개발활동의 결과로 나타나는 모든 긍정적 효과를 의미하며, 미시적 수준에서 긍정적 효과를 구분하여 추정한 후, 거시적 수준에서 각각의 긍정적 효과를 적절하게 합산해야 한다. 소비자 편익과 생산자 편익으로 구분이 가능할 경우에는 각각의 관점에서 평가하는 것이 적절하나 뚜렷하게 구분하기 어려운 경우는 국가 전체적 관점에서 가치 창출액으로 평가한다. 각각 추정된 편익을 합산하는 경우 이중계산의 문제, 누락 문제 등을 편익 산출 후 검토해야 한다.

○ 시장수요접근법 사용

R&D 사업의 편익 추정 방법은 연구개발사업의 성격에 따라 새로운 가치창출 편익과 비용저감 편익으로 구분할 수 있다. 본 사업의 편익분석은 새로운 가치창출 편익으로 구분하고, 새로운 가치창출 편익의 접근방법에는 시장수요접근법과 로열티수입접근법이 있다. 본 사업의 편익분석은 연구개발부문 예비타당성조사에서 편익추정을 위해 가장 많이 사용하는 시장수요접근법(market demand approach)을 사용하여 편익을 추정하였다.

시장수요접근법은 시장 부가가치 창출을 목적으로 하는 많은 국가연구개발사업의 예비타당성조사 경제성 분석 과정에서 대표적으로 활용되는 방법론으로, 조사 대상 국가연구개발사업으로 인하여 발생하는 시장의 부가가치를 측정하는 방식이 기본 개념이다. 시장수요접근법에서는 위성항법사업의 기여도가 반영된 관련 시장의 미래 시장규모에, 해당 국가연구개발사업의 기여로 창출된 직접적 편익을 한정시키기 위한 다양한 변수를 고려하여 편익을 산정하였다. 이러한 다양한 변수 중에서 미래 시장규모는 시장예측을 통하여 도출한다.

편익 추정식은 아래와 같다.

$$\text{편익} = \text{국가 위성항법사업 기여도 반영 관련 시장의 미래 규모} \times \text{사업기여율} \\ \times \text{R\&D기여율} \times \text{R\&D사업화성공률} \times \text{부가가치율}$$

국가 위성항법사업의 기여도 추정의 경우 유럽의 갈릴레오 프로젝트에 대한 EC의 비용

편익 분석에서 갈릴레오 위성항법시스템이 유럽의 일반 산업의 시장규모의 5% 정도 기여도를 가진다⁷²⁾는 분석 자료를 준용하였다.

○ 편익 항목

GSA(European Global Navigation Satellite Systems Agency)에서 발간한 GNSS Market Report⁷³⁾에 따르면, GNSS의 '13~'23 어플리케이션별 시장점유율 전망은 LBS 53.2%, Road 38.0%, Surveying 4.5%, Agriculture 1.9%, Maritime 1.1%, Aviation 1.0%, Rail 0.2%로 LBS와 Road가 전체의 91% 이상을 점유하고 있다.

본 사업에서 고려한 편익 항목은 위치기반서비스(Location-based Service, LBS) 부문, 도로 부문, 측량 부문, 농업 부문, 선박 부문, 항공 부문, 철도 부문 부가가치 창출 편익이다. 단, 항공의 경우 SBAS 연구개발사업과 중복되는 부분이 있어 전체 항공 산업 분야가 아닌 경량 또는 초경량비행기와 같은 레저스포츠항공과 드론 산업 부문만 고려하였다.



그림 69 GNSS market by application

(출처: GNSS MARKET REPORT ISSUE4, GSA, '15)

10.1.3.2. 편익추정

○ LBS 부문 편익

LBS 부문 편익은 LBS 산업 및 공간정보 산업 부문 편익으로 구성되며 LBS 산업 부문 편익을 산출하기 위한 국내 LBS 관련 시장 데이터는 한국인터넷진흥원(KISA)에서 발간하는 'LBS산업 실태조사'에서의 국내 LBS산업 규모와 위치정보가 주요하게 활용되는 공간정보 산업 규모를 합하여 추정하였다. 단, 편익의 중복계산을 방지하기 위하여 LBS 실태조사 매출 중에서 교통정보 서비스/지도 및 주변정보 서비스 부문을 제외하고 시장 규모를 추정하였다.

72) '2000, Cost-Benefit Analysis Results for GALILEO, European Commission

73) GNSS MARKET REPORT ISSUE 4, GSA, '15.3,

최근 발표한 '15 국내 LBS 산업 실태조사 결과 보고서'에 따르면, '12년 2,238억에서 '19년 6,160억 원(CAGR 15.6%)으로 성장할 것으로 전망하고 있다. 또한, 다른 시계열 자료에서 한국정보통신협회(KAIT)는 '15년 61.3억에서 '21년 449.9억 원으로 '15~'21년 CAGR 48.9%를 전망하였다.⁷⁴⁾

국외 자료로는 MarketsandMarkets은 글로벌 LBS 시장을 '16년 미화 150억불에서 '21년 미화 778억불로 성장, CAGR 38.9%를 전망하였고, 가트너와 ABI리서치는 '13년 미화 41억불에서 '16년 124억불로 성장할 것으로 전망하였다.⁷⁵⁾ 또한, Technavio Research는 '14~'19 세계 LBS 시장규모를 83.8억 불에서 41.46억 불로 CAGR 37.68% 성장할 것으로 전망하였다.

편익기간 동안의 LBS 시장의 국내 미래시장 규모 추정은 앞서 제시한 CAGR의 값이 그대로 적용하기에는 제법 크기에 다소 보수적으로 접근하다는 측면에서 국내 LBS 산업 실태조사의 '12~'19 CAGR값을 매년 선형 추정한 것으로 추정한다.



그림 70 '14~'19 세계 LBS시장 규모 전망
(단위:USD BN, Technavio Research)

표 62 국내 LBS 산업 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	'37	'38	'39	'40	'41	'42	'43	'44	'45
LBS 산업 규모	16,185	16,745	17,305	17,865	18,426	18,986	19,546	20,107	20,667

74) '위치정보서비스(LBS) 기술 및 시장동향 분석 연구', 한국전자통신연구원, '15.12 재인용
75) '15년도 국내 LBS 산업 실태조사', KISA, '16.2, 재인용

표 63 위성항법 기여도 반영 국내 LBS 산업 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45
LBS 산업 규모	809	837	865	893	921	949	977	1,005	1,033

표 64 LBS 산업 부문 편익 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45	합계
LBS 산업 편익	51	53	55	56	58	60	62	64	65	524

공간정보란 지도 및 지도 위에 표현이 가능하도록 위치, 분포 등을 알 수 있는 모든 정보로 일상생활이나 특정한 상황에서 행동이나 태도를 결정하는 중요한 기초 정보와 기준을 제시한다. ‘공간’에 대한 정보는 ‘시간’과 함께 인간이 생활을 하는데 있어 반드시 알아야 하는 가장 근본적인 정보이다. 공간정보는 우리가 일상생활이나 특정한 상황에 처해 있을 때 행동이나 태도를 결정하는 중요한 기초정보와 기준을 제시한다.⁷⁶⁾

국가공간정보포털(www.nsdi.go.kr)의 공간정보 산업소개에 따르면, ‘14년 공간정보산업 조사·결과 국내 공간정보 산업의 매출액은 7조 1,273.5억으로 조사되었고, 국토교통부의 보도자료에 따르면 ‘20년에는 그 규모가 15조원 규모로 급성장할 전망이라고 한다.⁷⁷⁾ 단, 공간정보 산업 매출액 중에는 측량업 매출이 포함되어 있어 중복계산을 방지하기 위하여 측량업 매출은 제외하였다.

또한, 해외 시장조사전문기관들의 시장 전망에 따르면, Technavio Research는 ‘16~‘20 CAGR 12%, MarketsandMarkets는 ‘16년 USD 307억 불에서 ‘21년 739억불로 CAGR 19.2% 성장을 전망하였다.

본 연구에서는 보수적으로 접근한다는 측면에서 ‘14년 국내 공간정보 산업의 매출액에, 앞서 제시한 연평균성장률 중 Technavio Research의 CAGR 12%를 적용하여 편익기간 동안의 미래시장 규모를 전망하였다.

76) 국가공간정보포털(www.nsdi.go.kr)

77) 국토부 제2차 공간정보산업진흥 기본계획 수립(공간정보진흥과), 국토교통부, ‘16.3.30

표 65 위성항법 기여도 반영 국내 공간정보 산업 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

연도	국내 시장규모	위성항법 기여도 반영 국내 시장규모
‘37	886,181	44,309
‘38	992,523	49,626
‘39	1,111,626	55,581
‘40	1,245,021	62,251
‘41	1,394,423	69,721
‘42	1,561,754	78,088
‘43	1,749,165	87,458
‘44	1,959,064	97,953
‘45	2,194,152	109,708

표 66 공간정보 산업 부문 편익 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45	합계
공간정보 산업편익	2,800	3,136	3,513	3,934	4,406	4,935	5,527	6,191	6,934	41,377

LBS 산업과 공간정보 산업을 합친 LBS 부문의 편익기간 동안의 편익은 아래 표와 같다.

표 67 LBS 부문 편익 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45	합계
LBS 편익	2,582	3,189	3,567	3,991	4,465	4,995	5,589	6,254	6,999	41,901

○ 도로 부문 편익

도로 부문에서 위성항법사업이 활용 가능한 분야는 자율주행차 시장, 지능형 교통시스템 (Intelligent Transportation System, ITS), e-Call을 들 수 있다. 단, e-Call의 경우 국내에서는 한국지능형교통체계협회 내 e-Call포럼에서 추진 중에 있으며, 지능형 교통시스템과 중복되는 부분이 있어 별도 추정을 하지 않았다.

자율주행차는 운전자의 개입 없이 주변 환경을 인식하고, 주행 상황을 판단하여 차량을 제어함으로써 스스로 주어진 목적지까지 주행하는 자동차를 말한다. 자율주행차의 기본적인 작동은 사람이 운전하는 원리와 같이 ‘인지-판단-제어’의 3단계를 거치는데, 이중 인지단계에서 GPS, 레이더, 카메라 등 차량에 장착된 센서와 외부 통신을 통해 주변 상황에 대한 정보를 수집하고, 정밀하게 위치를 계산하는 행위가 필요하다.

자율주행차의 미래시장규모를 추정하기 위해서 자율주행차에 대해 정의하자면, 미국 도로교통안전국(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)은 자율주행차와 관련하여 5단계의 자동화 레벨을 발표하였는데, 이중 레벨 4가 자동차 자동화의 궁극적 목표인 완전 자율주행단계를 의미한다.

표 68 자율주행의 정의
(NHTSA, '13, 재구성)

수준		정의	내용
No	레벨0	자동 없음 (No Automation)	Driver controls all vehicle motion
Assisted	레벨1	기능 중심 자동 (Function-specific Automation)	Driver is overall responsible for driving
Auto mated	Semi- 레벨2	조합 기능 자동 (Combined Function Automation)	Driver is required to monitor and take over driving immediately
	Highly- 레벨3	제한 자율주행 (Limited Self-Driving Automation)	Driver is not required to monitor the system, but may be required to take control after and “appropriate” transition
Autonomous (Fully-automated)	레벨4	완전 자율주행 (Full Self-Driving Automation)	No occupants required to be in the vehicle

편익 추정은 편익기간('37~'45년) 동안의 자율주행차 미래 시장규모를 예측한 후, 국가 위성항법사업의 기여도를 반영하여 정확한 부가가치창출 편익을 추정하였다. '13년 글로벌 시장조사기관 Navigant Research에서 발표한 자료를 살펴보면, 완성차 시장 측면에서 자율주행 자동차의 정식 시판은 '20년으로, '35년에는 판매량의 75%가 자율주행 자동차일 것으로 예상하고 있다. 그리고 세계시장 규모는 '15년 5.8조원에서 '35년 743조원으로 CAGR 56%를 예상하였다.⁷⁸⁾ 또 다른 시장연구업체 IHS Automotive에 따르면, 자율주행 자동차는 전세계적으로 '25년 23만대, '35년 1,180만대, '50년 8,000만대가 판매될 전망으로 '35~'50년 기간 동안 CAGR 13.6%를 예상하였다.

따라서 편익기간 동안의 자율주행차 미래 시장규모는 Navigant Research의 '35년 미래 시장규모 743조원에, IHS Automotive의 CAGR 13.6%를 반영하여 추정하였다. 여기에 국내 시장 규모는 자동차 내수 판매량의 비중 2%('15년 기준)를 적용하여 시장 규모를 산출하였다.

78) 산업부의 자율주행 자동차 기술개발 방향, KEIT, 재인용



그림 71 자율주행 자동차 판매 전망
(단위: 만대, 출처: IHS Automotive)

표 69 '37~'45년 자율주행 자동차 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

연도	세계시장	국내시장	비고
'37	9,589,954	191,799	CAGR 13.6%, 국내시장은 세계시장의 2%
'38	10,895,080	217,902	
'39	12,377,823	247,556	
'40	14,062,358	281,247	
'41	15,976,145	319,523	
'42	18,150,386	363,008	
'43	20,620,526	412,411	
'44	23,426,834	468,537	
'45	26,615,061	532,301	

표 70 위성항법 기여도 반영 국내 자율주행차 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

연도	국내 시장규모	위성항법 기여도 반영 국내 시장규모
‘37	191,799	9,590
‘38	217,902	10,895
‘39	247,556	12,378
‘40	281,247	14,062
‘41	319,523	15,976
‘42	363,008	18,150
‘43	412,411	20,621
‘44	468,537	23,427
‘45	532,301	26,615

표 71 자율 주행차 부문 편익 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45	합계
자율 주행차 편익	606	689	782	889	1,010	1,147	1,303	1,481	1,682	9,589

지능형 교통시스템(ITS) 산업은 차량 증가 및 물류 운송의 증가로 발생한 교통난 개선을 목적으로 기존의 도로교통체계에 정보·통신·전자제어 등의 최신 첨단기술을 접목한 산업으로 교통관리 최적화, 자동 요금처리, 교통정보 제공 및 연계, 여행자를 위한 정보 고급화, 화물운송 효율성 향상, 차량 및 도로의 첨단화 등을 제공하는 서비스 산업이다. 국내 ITS산업의 규모는 ‘14년 기준 약 4억 달러⁷⁹⁾이며, 세계 시장의 2.4%를 점유하고 있다. U.S. Department of Transportation(USDOT), ERTICO-ITS Europe, ITS Japan의 ‘13년 자료에 의하면, ‘11~‘19 세계 ITS 시장규모 및 성장률은 한국은 13.8%⁸⁰⁾로 추정하고 있으며 해당 연평균성장률을 적용하여 편익기간 동안의 미래시장을 추정하였다.

표 72 국내 ITS 산업 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45
ITS산 업 규모	90,777	103,305	117,561	133,784	152,246	173,256	197,165	224,374	255,338

79) 지능형 교통시스템 동향, 소프트웨어정책연구소, ‘16.05.25

80) 한국지능형교통체계협회, 도로교통분야 지능형교통체계 수출지원 전담기관 지정, Standard ITS ‘14 Vol.19 재인용

표 73 위성항법 기여도 반영 국내 ITS 산업 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45
ITS산업 규모	4,539	5,165	5,878	6,689	7,612	8,663	9,858	11,219	12,767

표 74 ITS 산업 부문 편익 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45	합계
ITS 산업 편익	287	326	371	423	481	547	623	709	807	4,575

자율주행차 산업과 ITS 산업을 합친 도로 부문의 편익기간 동안의 편익은 아래 표와 같다.

표 75 도로 부문 편익 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45	합계
도로 편익	893	1,015	1,154	1,312	1,491	1,695	1,926	2,190	2,489	14,164

○ 측량 부문 편익

측량 부문은 국토교통부에서 발간하는 공간정보산업조사 보고서 내용 중 측량업 매출을 통해 추정하였다. 측량업의 경우 ‘14년 5,884억 원⁸¹⁾으로 편익기간 동안의 시장 추정은 공간정보 산업과 동일하게 해당 매출액에, 앞서 제시한 연평균성장률 중 Technavio Research의 CAGR 12%를 적용하여 편익기간 동안의 미래시장 규모를 전망하였다.

표 76 국내 측량 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45
측량 시장규모	79,742	89,311	100,028	112,032	125,476	140,533	157,397	176,284	197,438

표 77 위성항법 기여도 반영 국내 측량 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45
측량 시장규모	3,987	4,466	5,001	5,602	6,274	7,027	7,870	8,814	9,872

81) ‘15년 공간정보산업조사 보고서(‘14년 기준), 국토교통부, ‘15.12

표 78 측량 부문 편익 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45	합계
측량 편익	252	282	316	354	397	444	497	557	624	3,723

○ 농업 부문 편익

위성항법사업이 활용 가능한 농업 부문 시장에는 지능형 농작업기 시장이 있다. 지능형 농작업기 시장은 무선통신 및 농기계 원격제어, 항법장치 기반 농기계 자동제어, 무인제어 및 모니터링 시스템, 스마트 농작업 통신 플랫폼, 지능형 농작업기 기술 등이 핵심요소 기술이다.

World Agricultural Equipment 관련 시장 보고서에 따르면 국내 지능형농작업기 시장은 ‘16년 2조 1,600억 원으로 추정⁸²⁾하였다. 또한, 성장률의 경우 국내 지능형농작업기는 ‘12~‘16년 CAGR 20.0%, 전세계 스마트 농업생산시스템 및 지능형 농작업기의 ‘11~‘16년 6.7%로 추정하였다. 본 사업에서는 CAGR 6.7% 성장률을 적용해 편익 기간 동안의 미래시장 규모를 예측하였다.

표 79 국내 지능형 농작업기 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45
지능형 농작업기시장 규모	84,315	89,964	95,992	102,424	109,286	116,608	124,421	132,757	141,652

표 80 위성항법 기여도 반영 국내 지능형 농작업기 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45
지능형 농작업기시장 규모	4,216	4,498	4,800	5,121	5,464	5,830	6,221	6,638	7,083

표 81 농업 부문 편익 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45	합계
농업 편익	266	284	303	324	345	368	393	420	448	3,152

82) World Agricultural Equipment(‘11), 그린 네트워크(Green Network)를 이용한 도시환경에 적합한 식물 재배 및 생장 시스템 개발 융복합 기술개발 기획보고서(‘10)

○ 선박 부문 편익

선박 부문에서 위성항법사업이 활용 가능한 분야는 선박운항장비(또는 선박 IT시장)이다. 유엔(UN) 산하 국제해사기구(IMO)는 '14.11월에 개최된 94차 회의에서 e-내비게이션 전략이행계획을 승인하였고, 현재 전세계 기술표준화를 위해 IMO에서 지속적으로 협의 중이다.

세계 선박전자통신 시장규모는 '13년 약 26.37조원에서 '18년~'27년 평균 33.11조원으로 성장할 것으로 기대(CAGR 2.4%)하고 있고, 국내 선박 IT시장은 '08년 1.2조원에서 평균 약 15%씩 성장하여 '18년 4.8조원에 도달 할 것으로 전망⁸³⁾하고 있다. 또한, 해상무선데이터통신시장은 '13년 170억 달러 규모이고, '18년~'27년 약 64.3조원에서 최대 92조원 시장(CAGR 4.6%)으로 성장할 것으로 전망하고 있다.⁸⁴⁾

본 연구에서는 보수적으로 접근한다는 측면에서 국내 선박 IT시장의 매출액에, 앞서 제시한 CAGR 중 선박전자통신 시장의 CAGR 2.4%를 적용하여 편익기간 동안의 미래시장 규모를 전망하였다.

표 82 국내 선박IT 산업 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	'37	'38	'39	'40	'41	'42	'43	'44	'45
선박IT 산업 규모	75,325	77,133	78,984	80,880	82,821	84,809	86,844	88,928	91,063

표 83 위성항법 기여도 반영 국내 선박IT 산업 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	'37	'38	'39	'40	'41	'42	'43	'44	'45
선박IT 산업 규모	3,766	3,857	3,949	4,044	4,141	4,240	4,342	4,446	4,553

표 84 선박 부문 편익 (단위: 억 원)

	'37	'38	'39	'40	'41	'42	'43	'44	'45	합계
선박 편익	238	244	250	256	262	268	274	281	288	2,360

○ 항공 부문 편익

앞에서 서술하였다고피 항공의 경우 SBAS 연구개발사업과 중복되는 부분이 있어 전체 항공 산업 분야가 아닌 경량 또는 초경량비행기와 같은 레저스포츠항공과 드론 산업 부문만 고려하였다.

83) 정보통신 중점기술 로드맵, '10

84) 해양수산부 홈페이지 투자설명 게시판

세계 레저항공 시장규모는 30조원 내외로 추정되나 국내 시장이 차지하는 비율은 0.8%인 2,300여억 원에 불과하다.⁸⁵⁾ 한국교통연구원의 항공레저 수요예측 분석보고서('14.01)⁸⁶⁾에 의하면 '03~'23년 국내 레저항공 산업의 성장예상율은 CAGR 7.5%로 이에 해당 연평균성장율을 적용하여 편익기간 동안의 미래시장규모를 추정하였다.

표 85 국내 레저항공 산업 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	'37	'38	'39	'40	'41	'42	'43	'44	'45
레저항공 산업 규모	12,191	13,108	14,094	15,154	16,294	17,519	18,837	20,254	21,777

표 86 위성항법 기여도 반영 국내 레저항공 산업 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	'37	'38	'39	'40	'41	'42	'43	'44	'45
레저항공 산업 규모	610	655	705	758	815	876	942	1,013	1,089

표 87 레저항공 산업 부문 편익 (단위: 억 원)

	'37	'38	'39	'40	'41	'42	'43	'44	'45	합계
레저항공 편익	39	41	45	48	51	55	60	64	69	472

국내 드론 시장은 Teal Group에 의하면 '22년 525백만 달러로 추정된다.⁸⁷⁾ 동 보고서의 '15~'22년 CAGR 13.9%를 적용하여 편익기간 동안의 미래시장규모를 추정하였다.

표 88 국내 드론 산업 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	'37	'38	'39	'40	'41	'42	'43	'44	'45
드론 산업 규모	42,920	48,886	55,681	63,421	72,236	82,277	93,713	106,739	121,576

85) 이카루스의 꿈과 항공레저 스포츠, 헤럴드경제, '14. 4. 9.

86) 항공레저 수요예측 분석, 한국교통연구원, '14

87) 국내외 드론산업 현황 및 활성화 방안, 윤광준, '16.04, 재인용

표 89 위성항법 기여도 반영 국내 드론 산업 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45
드론 산업 규모	2,146	2,444	2,784	3,171	3,612	4,114	4,686	5,337	6,079

표 90 드론 산업 부문 편익 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45	합계
드론 편익	136	154	176	200	228	260	296	337	384	2,172

레저항공과 드론 산업을 합친 항공 부문의 편익기간 동안의 편익은 아래 표와 같다.

표 91 항공 부문 편익 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45	합계
항공 편익	174	196	220	248	280	315	356	401	453	2,644

○ 철도산업 부문 편익

전세계 철도산업의 시장규모는 ‘09~‘12년 평균 약 196조원으로 추산되며, 국내 철도산업 규모는 약 3조원으로 세계시장에서 차지하는 비중은 약 1.5% 수준이다.⁸⁸⁾ 독일 철도통계 전문기관인 sci/verkehr는 ‘16~‘20년 Asia 지역의 연평균성장율을 2.6%로 예측하였고⁸⁹⁾, 유럽철도산업연합회(UNIFE, The European Rail Industry) 또한 ‘16~‘21년 연평균성장율을 동일하게 2.6%로 예측하였다⁹⁰⁾. 이에 해당 연평균성장율을 적용하여 편익기간 동안의 미래시장규모를 추정하였다.

표 92 국내 철도 산업 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45
철도 산업 규모	56,991	58,473	59,993	61,553	63,153	64,795	66,480	68,208	69,982

88) 중소기업청, 철도산업 로드맵 ‘14~‘16

89) THE WORLDWIDE MARKET FOR RAILWAY INDUSTRIES ‘16, sci/verkehr, ‘16.09

90) world rail market study forecast 2016 to ‘21, unife

표 93 위성항법 기여도 반영 국내 철도 산업 미래시장 규모 전망 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45
철도 산업 규모	2,850	2,924	3,000	3,078	3,158	3,240	3,324	3,410	3,499

표 94 철도 부문 편익 (단위: 억 원)

	‘37	‘38	‘39	‘40	‘41	‘42	‘43	‘44	‘45	합계
철도 편익	180	185	190	195	200	205	210	216	221	1,800

○ 편익항목별 편익과 현재가치

국가 위성항법시스템 연구사업의 편익기간 동안의 편익은 6조 9,744억 원이고, 현재가치로 환산하면 1조 7,770억 원으로 추정된다.

표 95 편익항목별 편익과 현재가치 (단위: 억 원)

연도	LBS	도로	측량	농업	선박	항공	철도	합계	현재 가치
‘37	2,852	893	252	266	238	174	180	4,855	1,577
‘38	3,189	1,015	282	284	244	196	185	5,395	1,661
‘39	3,567	1,154	316	303	250	220	190	6,000	1,751
‘40	3,991	1,312	354	324	256	248	195	6,680	1,848
‘41	4,465	1,491	397	345	262	280	200	7,440	1,951
‘42	4,995	1,695	444	368	268	315	205	8,290	2,061
‘43	5,589	1,926	497	393	274	356	210	9,245	2,178
‘44	6,254	2,190	557	420	281	401	216	10,319	2,304
‘45	6,999	2,489	624	448	288	453	221	11,512	2,439
합계	41,901	14,164	3,723	3,152	2,360	2,644	1,800	69,744	17,770

10.1.3.3. 비용편익 분석 결과

○ 시나리오별 분석 결과

본 보고서에서 제시된 경제성 분석은 경제적 관점에서 사업시행의 타당성 여부를 판단하는 항목이다. 보통의 경우 R&D사업을 통해 창출되는 경제적 편익 또는 효과가 투입

된 비용보다 크게 나타난다면 경제적 타당성이 있는 것으로 판단한다. 비용의 경우 사업 기간 '24년부터 '36년까지 13개년 동안 투입된 개발비와 이후 편익기간 동안의 운영비를 총비용으로 산정하였다. 편익은 사업종료 후인 '37년부터 '45년까지 본 사업을 통해 발생하는 편익을 산정하였다.

다양한 경제성 분석결과를 제시하기 위하여 국가 위성항법 연구사업은 국가 위성항법사업의 기여율 정도에 따라 낙관적 시나리오, 중립적 시나리오, 보수적 시나리오를 구성하여 각각 분석하였다.

낙관적 시나리오는 미래시장에 대한 위성항법 시스템의 기여율이 현재보다 더 높은 6%의 경우로 산정하였다. 중립적 시나리오는 유럽의 갈릴레오 위성항법시스템의 5% 기여도를 그대로 사용하였다. 마지막으로 보수적 시나리오는 국내 산악 지형 또는 특이지형을 반영하여 5%보다 낮은 4%를 기여도로 산정하였다.

표 96 사업의 비용편익 분석 결과 (단위: 억 원)

구분	비용의 현재가치	편익의 현재가치	B/C Ratio	NPV
낙관적 시나리오	11,469	21,324	1.859	9,855
중립적 시나리오		17,770	1.549	6,301
보수적 시나리오		14,216	1.240	2,747

○ 시나리오별 B/C율과 NPV

- 낙관적 시나리오를 통해 산출된 B/C율은 1.859, NPV는 9,855억 원이다.
- 중립적 시나리오를 통해 산출된 B/C율은 1.549, NPV는 6,301억 원이다.
- 보수적 시나리오를 통해 산출된 B/C율은 1.240, NPV는 2,747억 원이다.

표 97 비용 및 편익의 현재가치(중립적) (단위: 억 원)

구분	비용의 현재가치	편익의 현재가치
‘23	182	
‘24	293	
‘25	483	
‘26	655	
‘27	686	
‘28	735	
‘29	900	
‘30	1,487	
‘31	1,463	
‘32	1,415	
‘33	1,068	
‘34	591	
‘35	288	
‘36	140	1,577
‘37	146	1,661
‘38	212	1,751
‘39	285	1,848
‘40	195	1,951
‘41	135	2,061
‘42	35	2,178
‘43	33	2,304
‘44	42	2,439
합계	11,469	17,770

비용편익 비율(B/C ratio)분석 결과 모든 시나리오에서 1.00 이상으로 나타나 경제성이 있는 것으로 판단된다.

10.2. 경제적 파급효과

10.2.1. 분석 개요

10.2.1.1. 산업연관분석 개요

한 산업에서 생산된 상품은 다른 산업의 상품생산을 위한 원재료로 투입됨으로서 각 산업은 직·간접으로 서로 밀접한 연관관계를 맺고 있다. 산업과 산업 간의 관계를 수량적으로 파악하고 서로 간에 미치는 영향을 파악하는 것이 산업연관분석(inter-industry Analysis)이며, 이는 '30년대 Leontief 이래 W. Isard, H. B. Chenery, L. N. Moses 등 미국 경제학자들에 의해 개발되었다. 현재 선진국으로부터 개발도상국에 이르기까지 세계 30여 개국에서 이용·작성되고 있으며, 경제구조분석 및 각종 경제정책의 파급효과 측정 등에 활용되고 있다.

산업연관을 분석하기 위해서는 산업연관표를 필요로 하고 있으며, 산업연관표(inter-industry Table)는 일정기간(보통 1년) 동안 국민경제 내의 발생하는 재화와 서비스의 생산 및 처분과 관련된 모든 거래내역을 일정한 원칙과 형식에 따라 기록한 종합적 통계표로, 투입산출표(input output table)이라고도 한다. 5년 주기로 작성하는 기준년 산업연관표는 최근의 경제 구제와 산업 간 거래를 반영함으로써 국민소득통계, 물가지수 등 각종 경제통계의 기준년 개편자료로 활용된다. 국민경제의 구조 분석, 경제에 측과 경제정책의 효과측정 그리고 각종 가격 변수의 파급효과분석 등에 활용된다. 우리나라는 1958년 당시 부흥부 산업개발위원회가 '57년과 '58년의 산업연관표를 작성하면서 시발점이었으나 19개 산업부문으로 분류된 일종의 시산표에 지나지 않았다. 체계적인 형식과 내용을 갖춘 산업연관표는 한국은행이 '64년에 작성 공표한 '60년 산업연관표라고 할 수 있다.

본 분석의 목적은 국가 위성항법사업을 통해 국내에 미치는 경제적 파급효과를 측정하기 위한 것이다. 파급효과를 사전에 구체적으로 계량화해 봄으로서 국내에 미칠 긍정적 영향을 높이고 부정적인 영향을 최소화할 수 있다. 경제파급효과는 '국가 위성항법사업'을 통하여 지출되는 사업비로 인해 발생하는 효과로 분류하며, 분석의 공간적 범위는 국내로 한정하여 살펴볼 것이다.

10.2.1.2. 산업연관표의 구조

산업연관표는 보통 중간재 거래부문과 생산요소 구입부문, 판매부문의 3개 부문으로 구분하여 작성한다.

○ 산업연관표의 3개 부문

- 산업 상호간의 중간재 거래부문
- 각 산업부문에서의 노동, 자본 등 본원적 생산요소의 구입부문
- 각 산업부문 생산물의 최종소비자에게로의 판매부문

산업연관표를 통해 복잡하게 얽혀 있는 산업부문간의 상호연관관계를 쉽게 파악할 수 있다. 가로방향은 각 산업부문에서 생산된 생산물이 중간재나 최종재로 판매된 내역을 나타내는 배분구조를 의미하고, 세로방향은 각 산업부문에서 구입한 원재료와 노동, 자본 등 본원적 생산요소의 투입을 나타내는 투입구조를 의미한다.

산업연관표의 기본 구조는 다음 그림과 같다.



그림 72 산업연관표 기본 구조

산업연관표의 실제 구조는 다음 그림과 같이 나타낼 수 있다.



그림 73 산업연관표 실제 구조

산업연관표를 이용하여 생산 유발효과나 부가가치 유발효과, 취업유발효과 등 각종 경제 파급효과를 측정하기 위해서는 투입계수표를 필요로 한다. 투입계수는 각 산업부문의 제

품생산에 투입된 중간투입 및 부가가치를 그 산업의 총투입액으로 나눈 것이다. 투입계수는 각 산업부문의 생산물 1단위 생산에 필요한 각 산업부문 생산물의 크기와 각 산업부문의 생산물 1단위 생산이 창출하는 부가가치의 크기, 그리고 각 산업부문의 생산기술구조를 말해준다.

10.2.1.3. 국가 위성항법사업 관련 산업의 식별

한국은행 ‘14 기준 산업연관표(전국기준 : 기본부문 384)에서 국가 위성항법 사업과 밀접하게 연관된 산업을 식별하여 국가 위성항법 연관 산업에 대한 경제적 파급효과를 추계하였다. ‘14년 기준 산업연관표 기본 384 부문 중 국가 위성항법사업과 밀접한 산업은 기타 무선통신장비 및 방송장비, 유선, 위성 및 기타방송, 정보 서비스이다. 이들 산업부문을 국가 위성항법 사업으로 하여 경제적 파급효과 추계 시 해당 산업의 유발계수와 유발계수들의 평균값을 추정하였다.

표 98 산업연관표상 국가 위성항법사업 관련 산업 분류

통합대분류(30)		통합중분류(82)		통합소분류(161)		기본부문(385)	
12	전기 및 전자기기	39	통신, 방송 및 영상, 음향기기	87	통신 및 방송장비	236	기타 무선통신장비 및 방송장비
22	정보통신 및 방송 서비스	60	방송 서비스	130	방송 서비스	327	유선, 위성 및 기타방송
		61	정보 서비스	131	정보 서비스	328	정보 서비스

10.2.2. 파급효과

10.2.2.1. 생산유발효과

생산유발계수는 어떤 산업에서 최종수요가 한 단위 증가할 경우 해당 산업에서 이를 충족하기 위해 직접적으로 생산한 한 단위(산출액 백만원 당)와 이 한 단위 생산을 위해 해당 산업 및 타 산업에 간접적으로 유발된 생산효과의 합계이다.

생산유발효과는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\text{생산유발효과} = \text{사업비} \times \text{생산유발계수}$$

국가 위성항법시스템 연구개발사업과 연관이 있는 산업의 생산유발계수는 0.791로 추정되었으며, 생산유발효과는 1조 8,193억 원 정도가 발생한다.

표 99 생산유발계수
(출처: 한국은행 '14 산업연관표)

부문		생산유발계수
39	통신, 방송 및 영상, 음향기기	0.849
60	방송 서비스	0.834
61	정보 서비스	0.689
평균		0.791

10.2.2.2. 부가가치유발효과

부가가치유발계수는 어떤 산업에서 최종수요가 한 단위 증가할 경우 해당 산업에서 이를 충족하기 위해 해당 산업이 직접 생산한 한 단위(산출액 백만원 당)에 의해서 창출된 부가가치와 한 단위 생산을 위해 해당 산업 및 타 산업에 간접적으로 유발된 부가가치의 합계이다.

부가가치유발효과는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\text{부가가치유발효과} = \text{사업비} \times \text{부가가치유발계수}$$

국가 위성항법시스템 연구개발사업과 연관이 있는 산업의 부가가치유발계수는 0.502로 추정되었으며, 부가가치유발효과는 1조 1,546억 원 정도가 발생한다.

표 100 부가가치유발계수
(한국은행 '14 산업연관표)

부문		부가가치유발계수
39	통신, 방송 및 영상, 음향기기	0.312
60	방송 서비스	0.645
61	정보 서비스	0.548
평균		0.502

10.2.2.3. 고용유발효과

고용유발효과를 분석하기 위해서 한국은행이 '05년부터 작성해 오고 있는 고용유발계수를 활용하였다. 고용유발계수는 10억 원의 재화를 산출하는 경우에 직·간접적으로 창출되는 고용자 수를 의미한다. 고용유발계수는 '05년부터 각 산업의 고용유발계수의 증감률을 분석하여 파악할 수 있다.

고용유발효과는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\text{고용유발효과} = \text{사업비} \times \text{고용유발계수}$$

국가 위성항법시스템 연구개발사업과 연관이 있는 산업의 고용유발계수는 8.0로 추정되었으며, 고용유발효과는 18,400명 정도가 발생한다.

표 101 고용유발계수
(출처: 한국은행 '14 산업연관표)

부문		고용유발계수
39	통신, 방송 및 영상, 음향기기	3.8
60	방송 서비스	10.6
61	정보 서비스	9.6
평균		8.0

10.2.2.4. 파급효과 분석 결과

표 102 파급효과 분석 결과

부문	평균 유발계수	유발효과
생산유발효과	0.791	1조 8,193억 원
부가가치유발효과	0.502	1조 1,546억 원
고용유발효과	8.0	18,400명

<여 백>

[부록 A] 무선 측위 기반 위치 추적 기술 현황

- 위성항법 기술을 포함한 무선 측위 기술 기반의 위치 추적 기술
 - 서비스 영역에서 일정한 수준의 서비스를 제공
 - 위치 추적 단말이 소형이고 저렴

A.1. 무선 측위 방식

- 무선 측위 기술은 다양한 기술적 기반을 이용하여 개발되고 있음
- 무선 측위 기술은 크게 서비스 영역에 따라 장거리, 중거리, 단거리로 분류

A.1.1. 장거리 무선 기술

- FM 신호
 - 전 세계적으로 라디오 방송을 위해 사용(87.5~108.0MHz)
 - FM은 장애물에 의한 영향이 매우 적으며, 기존에 존재하는 FM 송신국이 매우 많기 때문에 추가적인 FM 비컨 불필요
 - 수신 모듈이 매우 저가/저전력 소모
 - FM 수신국은 대부분의 지역에서 매우 먼 거리에 위치하고 있고 파장의 길이가 길기 때문에 (약 3m) 위치 변화에 의한 신호 강도의 변화가 적음 (매우 넓은 영역에서의 위치 결정에 효과적)
- GSM/CDMA(휴대폰 네트워크)
 - 주파수는 지역에 따라 차이가 있으나 주로 850MHz, 900MHz, 1800MHz, 1900MHz 대역을 사용
 - 이미 대부분의 건물에 서비스를 제공할 수 있기 때문에 추가적인 인프라를 설치할 필요 없음
 - 높은 주파수를 이용하기 때문에 실내에서 전파 거리가 짧음
 - 관련 기술이 특허로 강력하게 보호되고 있어 GSM/CDMA 기반 기술의 변형이 매우 어려움 (기술 발전의 저해 요인)

A.1.2. 중거리 무선 기술

- WiFi
 - WiFi는 가장 널리 사용되고 있는 무선 통신 기술의 하나로 IEEE802.11. 표준을 따르며, 2.4GHz와 5GHz 두 개의 밴드를 사용함
 - 이미 거의 대부분의 지역에 AP가 설치되어 있어 서비스 제공을 위한 인프라 추가가 필요 없으며, 스마트폰을 비롯한 대부분의 모바일 디바이스의 경우 WiFi를 내장하고 있기 때문에 실내 위치 결정을 위한 기술 개발을 주도

– ZigBee

- IEEE802.15.4에 기반을 둔 표준으로 868MHz (유럽), 915MHz (미국, 호주), 2.4GHz (그외 국가)의 주파수 대역을 사용 중임
- 장거리 통신에서 메쉬 기반의 통신 네트워크를 이용
- WiFi 표준에 비해 가격이 저렴하고 지연 시간이 짧으나 통신 속도가 상대적으로 낮은 특징을 가지고 있음

A.1.3. 단거리 무선 기술

– Bluetooth

- 개인 영역 네트워크 (Personal Area Network) 표준으로 WiFi와 동일하게 2.4GHz 대역을 이용
- 이어셋, 휴대폰 등을 위한 단거리 통신 수단으로 널리 활용
- 소모 전력을 줄이기 위해 낮은 송출 전력을 갖도록 설계되었기 때문에 넓은 영역에서의 위치 결정 수단으로는 적합하지 않음
- 최근 애플에서 출시한 iBeacon은 BLE (Bluetooth Low Energy) 기술을 이용

– UWB (Ultra-Wide Band)

- 나노초 이하의 짧은 펄스를 이용하여 매우 넓은 대역폭(500MHz 이상)으로 데이터를 송신하는 기술
- UWB의 송신 신호는 배경 잡음으로 처리될 정도의 수준이기 때문에 다른 밴드의 신호와 간섭 없이 사용 가능
- 다중 경로 (Multi-path)에 강인

– RFID (Radio Frequency Identification)

- 타겟과 리더로 구성되어 있으며, 리더는 전자기장을 이용하여 태그를 읽고 대상을 식별
- 전원 사용 여부에 따라 능동 태그 (Active tag)와 수동 태그 (Passive tag)로 구분되며, 수동 태그의 경우는 제작 비용이 매우 싸고 수명이 길어 비용에 민감한 응용 분야에서 많이 사용 (단, 타 태그와 충돌 문제 발생)
- RFID의 통신 거리는 1~2m로 매우 짧으며 넓은 영역에서 위치 결정을 위해서는 인프라 비용 및 유지를 위한 비용이 상승
- RFID의 경우 대부분 패턴 매칭 방법을 이용하여 위치를 결정

표 A.1 무선 측위 기술을 비교

구분	서비스 영역	인프라 추가 설치	단점
FM	100km	불필요	정확도 낮음
GSM/CDMA/LTE/5G	100m~10km	불필요	특허로 보호
WiFi	35m	불필요 (대부분의 위치에 이미 설치)	편차가 큼
ZigBee	30~60m	필요	서비스 영역이 좁음
Bluetooth	10m	필요	
UWB	수 m	필요	
RFID	1m	필요	

A.2. 이동통신망에서의 측위 기술 동향

- 이동통신망은 통신 서비스 제공을 위해 가장 넓은 범위에 광범위하게 설치되어 있는 인프라임
 - 이동통신망은 위성항법을 보완할 수 있는 기술로 지속적인 기술 개발이 진행
 - 기존의 이동통신망도 측위 기능을 제공할 수 있으나 통신을 주목적으로 개발된 시스템이기 때문에 제한된 측위 성능만을 제공
 - 향후 차세대 서비스는 기본적으로 측위 기능을 제공하기 위해 설계 단계에서 고려되어 있어, 기존에 비해 개선된 측위 성능을 얻을 수 있어 위성항법을 보완할 수 있는 기술로 예상

A.2.1. 이동통신망 기반 측위 기술 현황

- Time difference of Arrival (TDoA) 기술
 - ‘09년 완료된 ‘3GPP 표준 Rel. 9’에서 이동통신망에서 무선 측위를 위한 PRS (Positioning Reference Signal)을 정의(시간 차분을 통한 측위 지원)
 - 현재 무선측위를 위한 신호를 전송하는 기지국이 대부분 macro cell 기지국(반경 수 백미터 이상) 기반으로 송수신기간의 직선경로(Line-of-Sight)가 확보가 어려움
 - 사용하는 신호의 대역폭은 최대 20MHz으로 수십 미터 수준의 측위 정보를 제공
- D2D 기반 협력 측위
 - ‘15년 완료된 ‘3GPP Rel. 12’에서 device-to-device(D2D) 통신 기술들이 논의
 - 단말간의 통신을 협력적으로 활용하여, 시간차분 정확도를 향상시키는 방식이 제시

- 그러나 macro cell 기반의 기지국 환경에서는 D2D 협력을 통하여 수십 미터 수준의 측위 정보 제공이 한계
- 측위 정확도의 근본적인 향상을 위해서는 small cell을 기준으로 활용하거나, 신호 대역폭을 100MHz 이상 늘릴 필요가 있음



그림 A.1 D2D-aided cooperative positioning concept
(Intel R1-153991, '15)

- Assisted GPS and E-CID

- Assisted GPS는 이동통신 네트워크로부터 GPS 위성정보를 전송받아 GPS 항법의 성능을 향상시키는 기술
- GPS의 TTFF(Time to First Fix)를 절감
- 정확도는 10미터 이내로 일반적인 GPS의 정확도와 유사하나, GPS가 동작하지 않는 도심환경에서 정밀한 위치추적 달성이 곤란
- Enhanced-Cell ID(E-CID)는 기존 서빙(serving) 기지국의 아이디를 사용하여 이동 단말의 위치를 파악하는 Cell-ID 기술을 개선한 기술임
- 신호의 세기, 시간 지연 등 다양한 측정값을 통하여 Cell-ID의 정확도를 향상
- 정확도는 100미터를 상회하는 수준이라는 한계

- 현재 이동통신망 기반의 측위 성능

- 현재 이동통신망은 macro cell/신호 대역폭이 최대 20MHz라는 한계
- 50m 이상의 측위 오차를 보이고 있어 상대적으로 위성항법 기술에 비해 낮은 성능을 제공하고 있음

A.2.2. 이동통신망 무선 측위 기술의 전망

- 위성항법 시스템의 보완적 시스템으로써의 이동통신망의 중요도 상승
- 향후 개발될 5G 이동통신망에서는 무선 측위 정확도를 높이기 위한 기술이 적용될 예정이다. 적용이 예상되고 있는 기술은 다음과 같음
 - 밀리미터파 통신 : 밀리미터파 통신 시스템에서는 대역폭이 1~2GHz에 달하며, 신호의 직진성이 강화되어, 정밀한 ToA의 측정(정확도 1미터 이내)이 가능. 직선 경로 확률이 높은 상황에서 추가적으로 AoA(angle of arrival)의 확보도 가능해질 것으로 예상되며, 특히 massive MIMO와 같은 배열안테나를 활용하여 높은 지향성을 가진 전송이 이루어져, ToA/AoA의 확보가 매우 수월해질 것으로 예상
 - Massive MIMO 빔형성기술 : 배열안테나를 활용하여 높은 지향성을 가진 전송이 이루어져, ToA/AoA의 확보 용이
 - Small cell, D2D : Small cell, D2D는 기준국/단말기 거리 단축으로 통신 링크의 직선 경로 확률을 높여 정확한 시간 지연의 측정으로 측위 성능이 향상
 - 초밀집 네트워크(Ultra dense network)
 - 애드혹 네트워크(adhoc network)
 - 위치 기반 통신 기술(Location-aware communication)
- 5G 이동통신망의 무선 측위 성능 향상은 물론 다양한 측위 기술(pattern matching, ToA, AoA, signal strength, network localization, 위성항법 등)의 적용으로 전반적인 항법 성능 향상이 예상



그림 A.2 다양한 기법들이 통합된 미래 지상 측위/항법 기술

<여 백>

[부록 B] 국가 PNT 아키텍처 실행 계획 (미국)

본 자료는 미교통성과 국방성에서 작성한 ‘National Positioning, Navigation and Timing Architecture - Implementation Plan (April ‘10)’을 요약한 자료임

B.1. 배경

- PNT는 미국 국가 경제와 안보가 의존하는 기반 시설을 위해 필수적인 정보임
- 조직화 되지 않은 국가 PNT 아키텍처는 다음과 같은 문제점을 유발할 수 있음
 - 운영상의 위험 발생
 - 연구 자원의 낭비
 - 조달 자원의 낭비
- 미국 네트워크 및 정보 통합 국방차관보(ASD/NII; Assistant Secretary of Defense for Networks and Information Integration)와 교통부 정책차관(UST/P; Under Secretary of Transportation for Policy)은 ‘25년을 목표로 효과적이고 효율적인 PNT 능력 보유와 이를 위한 개발 전략 수립을 위한 PNT 아키텍처 연구를 진행하였음

B.2. 현재 PNT 아키텍처

- 현재 PNT 아키텍처는 독립적인 PNT 소스와 우주, 항공, 육상 및 해상 분야에서 제공하는 보강항법의 혼합으로 구성
- 미 정부는 현재의 PNT 아키텍처로 해결할 수 없는 많은 부분을 식별하였음

B.3. 미래 PNT 아키텍처

- 위성항법을 중심으로 PNT 아키텍처를 구성하는 거대공통분모 전략 (Great Common Denominator)를 추진
- PNT 사용자에게 일반적으로 적용 가능한 솔루션 제공
- 미래 PNT 아키텍처를 위한 추진 전략은 다음과 같음
 - PNT 소스의 다양화
 - 상호 교환 가능한 솔루션
 - PNT와 통신의 융합으로 시너지 효과 발생
 - 기관간 조정 및 협력을 통한 정보 공유 보장
- 장기 계획의 존재 여부에 따른 미래 PNT 역량의 차이는 아래 그림과 같이 예측할 수 있음



그림 B.1 장기 계획 존재 여부에 따른 미래 PNT 역량의 차이

B.4. 실행 전략

- 전체적인 실행 전략은 현재 존재하고 있는 PNT의 공백 영역을 제거와 효율성 증가를 위해 시스템적인 PNT 역량 변화와 인프라를 위한 조직화된 투자 확대에 초점을 맞추어야 함
- 이러한 전략은 PNT 제공자, 사용자 장비, 기술, 유지관리 체계, 국가 PNT 아키텍처를 위한 정책 내용 등에 대한 분석 및 향상을 포함함
- PNT 아키텍처 계획의 실행은 전세계 PNT에서의 우월한 위치를 유지하기 위해 조직화된 연구, 개발, 시험 및 평가가 필요함

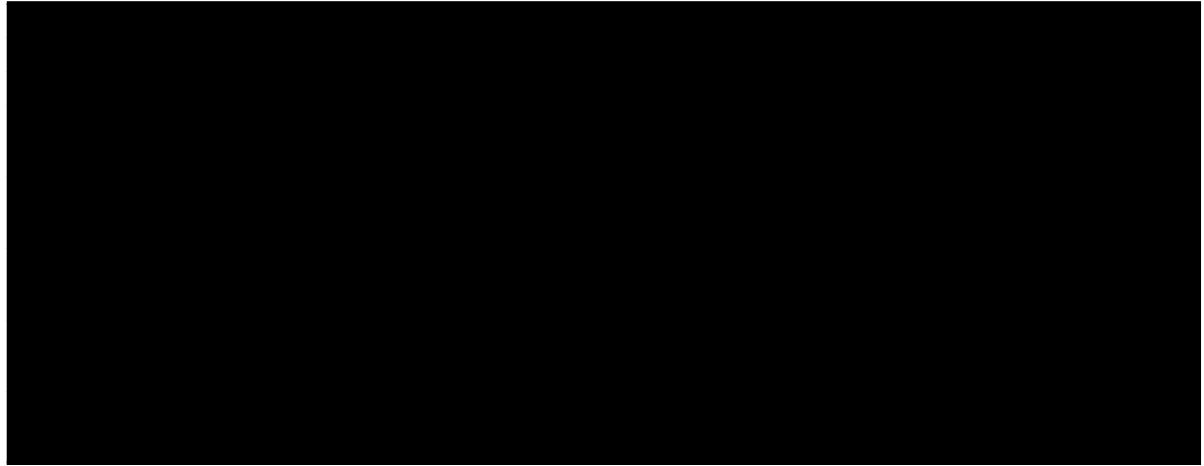
B.5. 실행 전망

- 본 실행 계획은 PNT 아키텍처 전략 및 방향을 다루는 전환 요소로 구성된 부처 간 활동 계획임
- PNT 아키텍처 전환 요소는 ‘25년까지 현재의 아키텍처를 미래의 아키텍처로 전환하기 위한 각 부처에서 시행해야하는 필수적이고 실행 가능한 임무임
- 단기적으로는 이해관계에 있는 부처에서 구체적인 실행 계획을 작성하며, 이러한 실행 계획은 중-단기적으로는 단기적인 실행 결과에서 얻어질 수 있는 변화를 반영하기 위해 좀 더 넓은 범위로 작성됨
- 본 계획은 환경 변화를 반영하여 2년마다 갱신될 예정임

[부록 C] 국가 위성항법 토론회

C.1. 회의 개요

- 일시/장소 : 2017년 6월 2일 오전 10시~12시 / 서울 연세세브란스 빌딩
- 주요 참석자:



C.2. 주요 의견

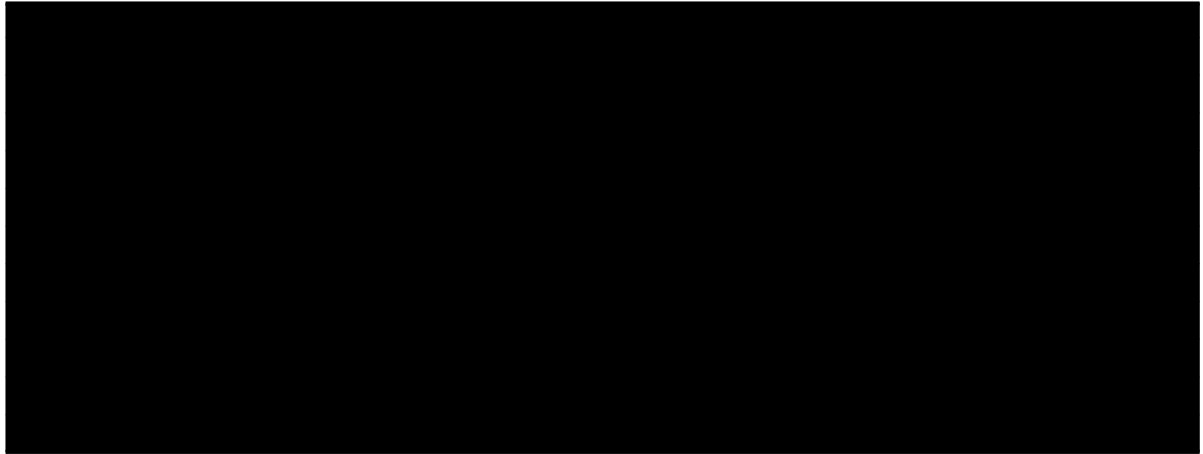
- 활용 관련
 - 해양 분야에서 10년 이내에 e-Navigation이 활용될 예정임. 안정성이 확보된 국가 위성항법 시스템을 사용할 수 있다면 고무적임. 이를 위해 표준화가 선행되어야 함
 - 품질, 서비스 등의 제어가 불가능한 타국의 위성항법 시스템에 비해 국가 위성항법 시스템 적용으로 안정적이고 신뢰도 높은 이동통신 서비스 제공 가능
- 시장성 관련
 - 시장성 보다는 국가 인프라로서의 장기적 필요성이 우선됨
 - 4차 산업 혁명 등 최근 기술 동향을 볼 때 예상치 못한 응용 분야가 생길 수 있음
 - 차별화를 통해 타 위성항법 시스템에 대한 경쟁력 확보 필요
- 5G 기반 PNT 서비스
 - 5G는 아직 표준 규격이 없음. 2~3년 내에 표준화가 완료될 계획. 대략적으로 10년 이내에는 가능할 것으로 예상
 - 5G 기반 PNT 서비스는 기지국 개발 문제로 전국적으로 고르게 제공할 수 없기 때문에 기대보다 성능이 낮을 것으로 예상

<여 백>

[부록 D] 차세대 이동통신 연계 방안 자문회의

D.1. 회의 개요

- 일시/장소 : 2017년 7월 28일 오전 9시 30분 ~ 12시 / 한국항공우주연구원
- 주요 참석자:



D.2. 주요 의견

- 차세대 이동통신 동향
 - 이동통신의 경우 3GPP의 표준화 동향을 검토 필요
 - 4G는 TDOA 기법을 적용하며, 정확도는 마이크로초(100m) 수준 / 5G는 기술적으로 1m 수준의 측위 정확도가 가능하나, NLOS(Non Line of Sight) 등의 이유로 실용화는 어려울 것으로 예상
 - 측위와 관련하여 5G에서는 요구사항만 도출한 상황이며 분야에 따라 드론/무인차에서는 1m 수준, 공장자동화에서 센티미터 수준을 요구사항으로 도출
 - ※ Release 14의 기술보고서(TR, Technical Report)를 통해 확인 가능
 - ESA(European Space Agency)에서 지상망-위성을 연동하는 방안을 고려하고 있으나, 통신 관점에서의 연동임
- 국가 위성항법 시스템과 이동통신 연계
 - 연계를 위해 위성항법 관점에서 충분한 검토 후, 연계 방안을 3GPP에 제안하는 형태가 바람직함
 - 5G Study를 통해 요구조건만 결정된 상황이므로, 5G의 규격을 도출할 다음 단계(Release 15 및 Release 16)를 위한 빠른 준비/대응이 필요
 - 5G와 국가 위성항법 시스템간의 개발 스케줄 고려 필요. 이동통신과 위성항법은 상호 보완적인 요소가 많기 때문에 이동통신의 개발/표준화 동향 등의 검토 이후에 연계 방안 도출 필요

- 실외에서는 위성항법, 실내에서는 이동통신 기반 측위로 단순 전환하는 형태는 지금도 가능한 기술이므로, 측정치 레벨에서 연계할 수 있는 방안이 필요함
- 5G는 28GHz 대역을 고려하고 있어 위성항법과 주파수 공유는 어려움. 주파수 차이로 모뎀 공유는 어려우므로 기저대역에서 공유/통합하는 방안 필요
- 반송과 주파수만 변경하여 NB(Narrow Band)-IoT 단말기 사용 방안도 검토 필요
- 우리나라의 위성항법 시스템/서비스를 위한 표준화는 칩 개발 등에 문제가 있음. 이를 위해 일본의 QZSS 구축 전략을 검토하여, 미국, 유럽 등의 위성항법 시스템과 공동 개발 또는 연동하는 방법도 고민 필요

D.3. 결론

- 국가 위성항법 시스템과 차세대 이동통신망과의 연계는 상호 필요하고, 연계 시 기대되는 효과가 있다는 것을 확인
- 5G는 아직 요구사항만 도출한 상황이고, 국가 위성항법 시스템에서는 신호 설계 등이 이루어지지 않은 상황이므로 즉각적으로 협의하여 연계 방안을 도출하기에는 어려움이 있음
- 세부적인 연계 분야, 시점, 방법 등은 협의체를 구성하고 기초 연구를 수행하면서 결정하는 것이 바람직함

[부록 E] 주요 부처별 위성항법 관련 현황

E.1. 과학기술정보통신부

- 인공지능, 자율주행차, 가상현실 등을 포함한 9대 국가 전략 프로젝트 발표('16.8.) 4차 산업혁명 물결에 총력 대응 ('17.1. (舊)미래창조과학부 업무보고)
- 4대 전략 제시 : △지능정보기술로 4차 산업혁명 선제적 대응 △스타트업 생태계 공고화 △현장중심의 과학기술 강화 △융합/혁신으로 신산업 창출
- ‘무인이동체 미래 선도 핵심 기술 개발 사업’ 추진
 - 사업 기간/예산 : ‘17~‘21 / 545억원
 - 주요 연구개발 내용 : △무인이동체 공통 기술 개발 △차세대 무인 이동체 원천 기술 개발 △소형무인기 성능향상 기술 개발 △저고도 무인비행장치 교통관리 기술 개발
- ‘시험용 위성항법 시스템 ’ 개발 추진 (예타 준비 중)
 - 사업 기간/예산 : ‘19~‘23 / 354억원
 - 사업 내용 : 시험용 위성항법 시스템 탑재체 (단순 중계기) 및 지상국 개발
 - 연구 내용 : △탑재체/지상국 개발 △항법신호개발/테스트



그림 E.1 시험용 위성항법 시스템 구성(좌)과 서비스 영역(우)

E.2. 국토교통부

- 4차 산업혁명관련 종합 계획 발표 예정 ('17년 연내)
- 7대 신산업(자율주행차, 드론, 공간 정보 등)에 866억원 배정
- 초정밀 항공용 위성위치 정보 서비스 (SBAS)
 - 사업 기간/예산 : '15~'22 / 1,280억원
 - 사업 내용 : GPS 정보 정확도 향상/신뢰성 정보 제공을 위한 위성 기반 보정정보 시스템
 - 주요 추진 현황 : △해외공동개발 협력업체 선정 (탈레스, '16.10.) △국내 협력 업체 우선 협상 대상자 선정 (KT 컨소시엄, '17.2.)
- 차로구분 정밀위치결정 교통인프라 기술 실용화 연구
 - 사업 기간/예산 : '16~'18 / 55.8억원
 - 사업 내용 : 위성항법 기반 교통인프라 기술 실용화를 위한 시스템 가용성, 안정성 확대 기술 개발
 - 주요 연구개발 내용 : △다중클러스터 GPS/GLONASS 보정정보, 무결성정보 생성 △수도권(서울,경기권) 보정정보 시범 송출

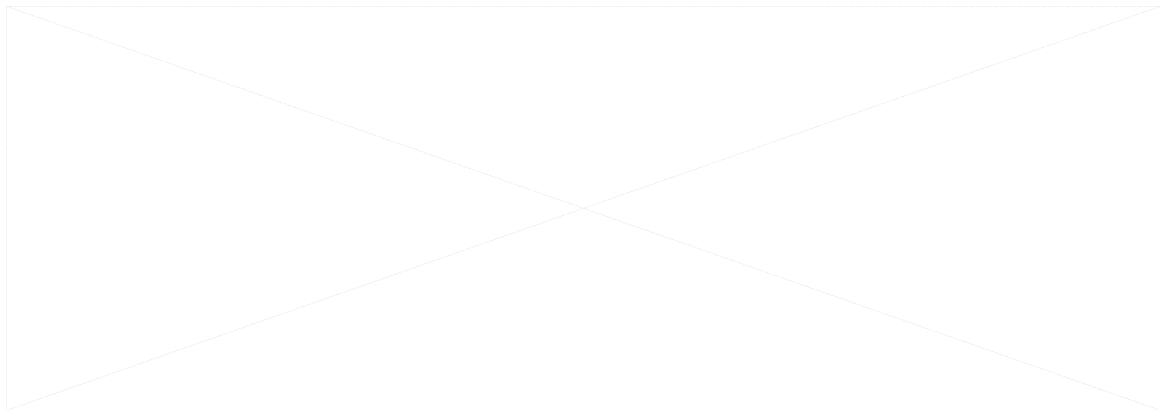


그림 E.3 SBAS 서비스 개요와 서비스 영역

E.3. 산업통상자원부

- 4차 산업혁명관련 ‘제조업 혁신 3.0 전략’ 발표 (‘16)
 - 기업의 혁신 환경 조성을 위한 3대 전략 6대 과제 발표
 - 자율주행차, 무인기 등 혁신 제품 관련 실증/시범 사업 환경 조성 등 포함

표 E.1 3대 전략 6대 과제

3대 전략	6대 과제
융합형 신제조업 창출	IT·SW 기반 공정혁신/융합 성장동력 창출
주력산업 핵심 역량 강화	소재부품 주도권 확보/제조업의 소프트파워 강화
제조혁신 기반 고도화	수요맞춤형 인력입지공급/동북아 R&D 허브 도약

- 자율주행차 핵심 기술 개발 사업
 - 사업 기간/예산 : ‘17~‘21 / 1,455억원
 - 사업 내용 :자동차 자율주행의 핵심요소인 위치정보 인식을 위한 ‘보급형 고정밀 복합측위 모듈’ 개발 (자율주행 자동차 8대 핵심 부품 중 하나)
- 무인기 관련 R&D
 - 무인기 항법 시스템은 주로 EGI (Embedded GNSS and Inertial) 형태의 통합 항법을 이용
 - GNSS 교란, 오작동시 비행 안전을 위한 복합항법센서 중심 기술 개발

E.4. 해양수산부

- 4차 산업혁명을 통해 전통해양산업 고도화 및 신산업 창출
 - 3대 R&D 전략 및 12대 실행 전략

표 E.2 3대 전략 12대 실행 전략

3대 전략	12대 실행 전략
해양영토주권 강화 및 해양경제영토 확대	해양과학조사 및 예보역량 강화/극한 공간 활용 및 국제협력 확대
창조형 해양수산 산업 육성	해양자원 및 해양에너지 개발/첨단 해양 장비산업 육성/항만해운물류 기능 고도화/전통 수산업의 미래산업화/해양플랜트 경쟁력 확보/친환경선박 시장 선도
국민행복 해양 공간 창조	해양환경 개선 및 위해요소 대응역량 강화/연안대해 저감 및 해양교통 안전 확보/친수공간 및 해양문화 콘텐츠 창출

- DGNSS 관련 사업
 - 해양교통 안전을 위한 GPS위치 정밀도향상/고장감시정보 제공
 - 위치 오차 1m 이내로 향상 (내륙 : 기준국 80km, 해양 : 185km 이내)
- GNSS 백업을 위한 첨단 지상파항법시스템(eLoran) 기술개발
 - 사업 기간/예산 : '16~'19 (4년간) / 130억원
 - 연차별 주요 계획 : ▷기술분석 및 기본설계('16) ▷실시설계 및 기술개발('17) ▷기술개발('18) ▷개발/시험검증('19)
- IMO 차세대 해양안전종합관리체계 기술개발(e-Navigation)
 - 사업 기간/예산 : '16~'20 (5년간) / 1,308억원
 - 연차별 주요 계획 : ▷ 기술 분석 및 기본 설계 ('16) ▷ 핵심기술 개발 ('17) ▷ 표준 플랫폼 및 시제품 개발 ('18) ▷ 시스템 개발 및 모니터링 ('19)
 - ※ e-Nav (e-Navigation) 개념 : 첨단 ICT를 활용, 선박에는 전자해도 기반으로 항법시스템을 자동화·표준화시키고, 육상에서는 관제·모니터링을 통해 선박 안전 운항을 원격 지원하는 '차세대 해양안전종합관리체계'

표 E.3 부처별 위성항법 관련 주요 수요

부처	주요 수요
과학기술정보통신부	- 우주전파재난 및 위성항법 혼신 대응 - 지질분야 연구 (지괴 움직임 관측) · 지질자원연구원에서 9개의 상시 관측소 운영 - 천문분야 연구 · IGS, IERS 관련 국제 공인 GPS 좌표 기준점 운영 · 천문연구원에서 9개의 상시 관측소 운영 - 무인기 · 국방, 기상예측, 농업, 환경감시, 치안·교통, 인프라 관련 무인기
국토교통부	- 항공용 GPS 보강항법 (GBAS, SBAS) - 육상 교통용 정밀 항법 - 위험물 차량 관리 · 위험물 운반 차량 4만여대를 GPS로 관리 - 자율주행차/드론을 위한 정밀 항법 인프라 - 지적 측량 및 공간 정보 제공 · 국토교통부 및 산하기관에서 89개 상시관측소 운영 · 위성항법 측량 포털 서비스 제공 (국토지리정보원)
산업통상자원부	- 위성항법 수신기 개발 - 자율주행차/드론을 위한 항법 단말 개발 · 위성항법 및 관성 항법 통합 (항재밍 기능 포함)
해양수산부	- DGPS 서비스 제공 · 중파, 인터넷, 스마트폰 기반 서비스 제공 · DMB 기반 DGPS 서비스 시험 방송 중 (수도권 지역) - 해양 공간 정보 제공 · 수치지도, 위성영상, 해저지형, 해안선 정보 등 제공 - 해양 안전 정보 제공 · 선박위치, 선박, 선원, 해난 심판, DGPS 정보 제공 - 항만 물류 정보 · 화물 처리, 선박 입출항, 항만 시설물 사용료 징수, 항만 관리 등) - 선박 안전을 위한 항행 시설 개발 및 서비스 - 항법 및 수로 측량 · 31개 상시관측소 운영
행정안전부	- 계측 관리 시스템 (급경사지 등 붕괴 위험지역 감시) - 소방 차량 관리

<여 백>

[부록 F] 무인이동체 기술개발 및 산업성장 전략⁹¹⁾

F.1. 무인이동체 산업성장 요건

- 무인이동체 산업은 기존 전통산업·유인시장 제품에 ‘지능화’, ‘네트워크 운용’ 기술 등 다양한 융합 신기술이 적용된 ‘신개념 제품’을 의미함
- 무인이동체 산업성장 필수 요건
 - ▷기술혁신과 서비스로 기술적 우위 및 시장성 확보 ▷안정성, 피해 구제, 역기능 예방을 위한 법제도 확보로 사회적 수용성 확보 ▷신기술 검증 및 운용능력 확보를 위한 테스트 인프라와 주파수 자원 확보

F.2. 현황 및 당면과제

- 기술 서비스 분야
 - 세계 수준의 전략 제품 및 기업 창출이 미흡
 - 업계별 수직적 체계로 개발 비용/기간 증대 및 이로 인한 진입 장벽 존재
 - 혁신적 기술력의 중소·벤처 기업 성장 미흡
- 법·제도 및 실증 인프라 분야
 - 자율주행 자동차 : (해외) 자율주행 자동차의 정식 판매는 불허. 미국·EU의 경우 정부 차원에서 도로 시험운행을 적극 지원 (국내) 실도로 시험운행을 위한 제도적 기반 미흡
 - 무인기 : (해외) 소형 드론 상업적 허용 기준 도입 준비 중 (국내) 150kg 이하의 무인 비행 장치는 선진적으로 제도화하였으나 상업적 활용이 제한적
- 주파수 분야
 - 자율주행 자동차 : (해외) 미국·EU는 자율운행차에 필수적인차세대 ITS전용 주파수 확보 (국내) 전용 주파수 분배를 위한 회수 및 재배치 추진 중
 - 무인기 : 국내 지상 제어용 전용 주파수를 기 분배하였으나 국제적으로 세부 기술 기준이 미정립

F.3. 비전 및 추진 전략

- 비전 : 삶의 질 증진과 미래 신시장 창출을 견인하는 글로벌 무인이동체 산업 강국 실현
 - 정책 목표 : ▷관련 기업 육성 ▷일자리 창출 ▷산업매출 증가
 - 3대 전략/9대 과제

91) 본 부록은 ‘제22차 국가과학기술자문회의’에서 작성된 ‘무인이동체 기술개발 및 산업성장 전략’을 요약 정리하였음

표 F.1 3대 전략 9대 과제

3대 분야	9대 과제	주요 내용
전략제품 시장경쟁력 강화	무인기 시장 성장 동력 확충	- 민간공공 기술역량 집중을 통해 단기간내 국내 소형 드론 경쟁력 확보 및 시장 경쟁력이 높은 선도 무인기 기술의 실용화 추진
	자율주행 자동차 부품 경쟁력 강화	- 중소 중견 기업 주도의 자율주행 10대 핵심부품 개발 지원 및 다수 수요 대기업 참여를 통해, 자율주행 자동차 글로벌 경쟁력 강화
	무인 농업해양건설 산업화 촉진	- 국내 초기개발 단계이나 미래 유망시장인 무인농업, 해양건설 무인화 분야 기술력을 조속히 확보하여 독자 산업화 기반 마련
미래선도 기술력 확보	무인이동체 공통기술개발	- 다종 또는 다수 무인이동체간 공통으로 적용 활용 가능한 공통기술 개발·확산하여, 기술 경쟁력 강화 및 신규기업의 기술 진입장벽 완화 - 무인이동체의 안전한 운행 및 임무 수행을 보장하기 위해 위성항법 항재밍·항기만 기술 및 대체 항법 기술개발
	차세대 무인이동체 원천기술개발	- 미래 기술 사회 문화적 변화 반영, 기술적 난제 극복 등 혁신성을 기반으로 미래 글로벌 시장 창출 및 선점이 가능한 신개념 무인이동체 (Game Changer) 원천 요소기술 개발
성장지원 제도·인프라 구축	법·제도 정비 및 확충	- 자율주행 자동차, 무인기 등 무인이동체의 운행 허용, 안전성 확보, 역기능 방지 등을 위한 법제도 정비 및 규율체계 정립 추진
	실증 및 테스트 지원	- 신규 무인이동체 실증테스트 시연, 성능검증이 가능한 시험환경 조성
	주파수 분배 및 기준 마련	실시간 차량 상호간, 차량과 도로간 통신, 주변 상황감지, 충돌방지 등 자율주행 자동차 운용 핵심기능 구현에 필요한 주파수 공급 - 지상 및 위성에서 무인기 제어를 위해 필요한 주파수 이용여건 조성
	범국가적 추진체계 구축	- 무인이동체 산업 발전을 위한 범정부 거버넌스 신설, 시장 활성화 및 국민적 관심제고를 위한 정책적 지원 등 범국가적 추진체계 구축

F.4. 시사점

- 본 전략에서는 ‘미래선도 기술력 확보’ 분야 ‘무인이동체 공통기술개발’과제에서 안전한 운행 및 임무 수행을 보장하기 위한 위성항법 기술의 개선을 언급하고 있음
- 현재 위성항법 기술의 한계로 인해 (정밀도, 안정성, 가용성 등) 위성항법 기술을 대신할 대체 항법 기술이 필요하나 향후 **국가 위성항법 시스템의 개발과 여기서 제공하는 다양한 기능을 활용하면 위성항법 서비스의 성능을 비약적으로 향상**시킬 수 있어 무인이동체 안정성을 비약적으로 높일 수 있을 것으로 예상됨

[부록 G] 해외 위성항법 운영 기관

G.1. GPS(미국)

- National Executive Committee for space-based PNT(EXCOM)
- 국가 차원의 우주 기반 위치, 항법 및 시간(PNT) 관리를 위해 설립된 대통령 직속의 행정 위원회로 GPS 프로그램 관리 및 운영을 담당('04년 대통령 훈령에 의해 설립)
- 관련 부처 및 산하기관의 관계자로 구성되어 있으며 국방부와 교통부의 차관이 공동 의장을 수행하고 부처 간 역할 조정



그림 G.1 미국의 위성항법 관련 전담 조직

- 국방부(Department of Defense) : GPS 위성 및 지상국, 장비 등을 개발하고 운영
- 교통부(Department of Transportation) : GPS 관련 민간 부분의 주도 부처로 새로운 GPS 요구사항, 위성항법보정시스템(WAAS), 지상 교통 안전 및 효율화를 위한 보정 시스템 등 운영
- 국무부(Department of State) : 미국 외교 정책 목적 촉진, GPS 관련 국제 협의 및 협상, 국제 협력 계획 및 조정 등의 업무 추진
- 내무부(Department of the Interior) : 측량, 지질 정보 시스템 및 국토 관리 관련 GPS 사용 촉진
- 농무부(Department of Agriculture) : 농무부 임무 및 활동 지원을 위한 GPS 기술 개발 및 연구, 지리 정보시스템과 GPS 통합, 천연 자원/화재 방지 및 정밀 농업을 위한 GPS 사용 촉진
- 상무부(Department of Commerce) : 상용 GPS 사용자, 제조업체 및 서비스 제공 자의 이익을 촉진하기 위해 날씨, 우주 기상 예측, 기후 모니터링, 선박, 항공기, 측량, 원격 감지 등 광범위한 정부 활동에 GPS 사용 촉진

- 국토안보부(Department of Homeland Security) : NDGPS 운영, 해안 경비대 항법 센터(NAVCEN)과 민간 GPS 서비스 인터페이스 위원회(CGSIC) 운영, 공공 안전 및 비상 대응에 대한 GPS 사용 촉진 등
- 합동참모본부(Joint Chiefs of Staff) : 공동 요구사항 감독위원회(JROC)를 통해 GPS 현대화 요구사항 평가 및 광범위한 군용 GPS 기술 적용

G.2. Galileo(유럽)

- GJU(Galileo Joint Undertaking)
 - EC(European Community)와 ESA(European Space Agency)에 의해 2002년 설립된 민간주도의 Galileo 시스템 개발 관리기구
- GSA(European Global Navigation Satellite Systems Agency)
 - 정부주도의 Galileo 프로그램 개발관리 및 운영 기구로 2004년 Council Regulation (EC) 1321/2004에 따라 Community Agency로 발족
 - '07년 GJU가 해체되고 공식적으로 모든 Galileo 프로그램 개발 담당(Regulation (EU) No. 912/2010에 따라 권한 강화됨)
- ESA(European Space Agency)
 - Galileo 시스템 개발 및 지상국 구축과 관련된 계약을 담당하고 있으며 GSA와 함께 차세대 Galileo 프로젝트를 수행 중임



그림 G.2 유럽의 위성항법 관련 전담 조직

G.3. GLONASS(러시아)

- IGCN(Interagency GLONASS Coordination Board)
 - GLONASS 개발 관리기구로 RFSA(Russian Federal Space Agency)에서 위성 및 지상국 개발을 담당
 - 미국의 EXCOM과 유사
 - GLONASS 시스템 운영 및 유지관리는 MoD(Ministry of Defence)에서 담당



그림 G.3 러시아의 위성항법 관련 전담 조직

G.4. Beidou(중국)

- China Satellite Navigation Office
 - Beidou 시스템 개발을 위한 범부처 관리기구로 시스템 구축, 어플리케이션 개발 및 산업화 등을 담당하고 있으며 산하에 관련 전문 위원회와 전문 연구팀을 운영
- 국무원
 - 전국인민대표회의에서 결정한 법률과 정책의 집행기관으로 국가 최고행정기관임
- 공업정보화부
 - 국무원 산하로 우리나라의 과학기술정보통신부와 유사한 부처로서 방송, 무선통신, 인터넷, 우편, 전자기기, 소프트웨어 산업 등을 관리
 - Beidou 시스템에 대한 정부 측 총괄 기관임
- 중국국가항천국
 - 국무원 직속기관으로서 국방과기공업국으로부터 권한을 일부 위임받아 민간 우주활동, 정책, 규제와 관리를 담당하며 Beidou 시스템에 대한 정부 측 실무 기관임



그림 G.4 중국의 위성항법 관련 전담 조직

G.5. QZSS(일본)

- 내각부의 우주전략실과 우주정책위원회에서 QZSS 사업 추진
 - QZSS 개발·정비·운용의 시책실시기능 담당
 - 각 성청에 걸친 정책의 조정 권한을 가짐
- JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency)
 - 우주과학연구소(ISAS), 항공우주연구소(NAL), 우주개발사업단(NASDA)로 분산되어 있던 우주개발 추진체계를 일원화하여 2003년 설립된 우주항공개발기구로 QZSS 개발 관리기구
- JAXA는 우주전략실 및 문부과학성의 관리를 받음



그림 G.5 일본의 위성항법 관련 전담 조직

G.6. IRNSS(인도)

- ISRO(Indian Space Research Organization)
 - 11차 및 12차 우주개발 5개년 계획에 따라 우주청(DOS, Department of Space)의 관리감독 하에 IRNSS의 개발 및 운영을 담당



그림 G.6 인도 위성항법 관련 전담 조직

<여 백>

[부록 H] 기술 개발 전략

H.1. 항법신호 생성기 개발 기술

핵심기술	세부기술	주관기관	국내 업체 및 기관	해외 업체 및 기관	비고
항법신호 생성기술	항법신호 생성모듈 개발	종합화 및 시험	전기적/기계적 인터페이스 및 성능/환경시험	우주급 항법신호생성 모듈 제작 기술자문	독자 개발
	항법데이터 생성모듈 개발	종합화 및 시험	개발품 제작 및 성능/환경시험	우주급 항법데이터 생성모듈제작 기술자문	독자 개발
	항법신호 구조 알고리즘 개발	시뮬레이 션 및 시험	항법신호 호환성 시뮬레이션 및 성능검증	타 시스템 항법신호와의 호환성 설계기술 자문	독자 개발

H.2. 위성 원자시계 개발 기술

핵심기술	세부기술	주관기관	국내 업체 및 기관	해외 업체 및 기관	비고
위성 원자시계 개발 기술	물리부 개발	설계 및 분석	전기/기계적 설계 및 제작	루비듐 가스셀 등 일부 납품	독자 개발
	광원부 개발	설계 및 분석	전기/기계적 설계 및 제작	레이저 광원 등 일부 납품	독자 개발
	마이크로파 서보부 개발	설계 및 분석	전기/기계적 설계 및 제작	OCXO 등 일부 RF 부품 납품	독자 개발
	통합 시스템 개발	종합화 및 시험	인터페이스 설계 및 성능/환경시험	우주용 부품 등 일부 납품	독자 개발

H.3. 위성 시각동기 기술

핵심기술	세부기술	주관기관	국내 업체 및 기관	해외 업체 및 기관	비고
위성 시각동기 기술	uStepper 개발	설계 및 시험	개발품 제작 및 성능/환경시험	우주용 부품 등 일부 납품	독자 개발
	TIC 및 모뎀 개발	설계 및 시험	개발품 제작 및 성능/환경시험	우주용 부품 등 일부 납품	독자 개발
	ASF 위상차 추정기 개발	설계 및 시험	개발품 제작 및 성능/환경시험	우주용 부품 등 일부 납품	독자 개발
	위성시각오차 검출기 개발	설계 및 시험	개발품 제작 및 성능/환경시험	우주용 부품 등 일부 납품	독자 개발
	위성시각 제어기 개발	설계 및 시험	개발품 제작 및 성능/환경시험	우주용 부품 등 일부 납품	독자 개발
	위성시각동기 모듈 성능분석	설계 및 분석	우주 환경 분석	—	독자 개발
	위성시각동기 모듈 조립/시험	종합화 및 시험	위성시각동기 모듈 조립 및 성능/환경시험	—	독자 개발
	위성시계오차 추정 시스템 구축	설계 및 구축	—	워크스테이션 등 장비 납품	독자 개발
	위성시계오차 추정 시스템 성능평가/검증	성능평가 및 검증	—	위성시계오차 추정치 등 국외기관 추정치	독자 개발

H.4. 항법 탑재체 개발 기술

핵심기술	세부기술	주관기관	국내 업체 및 기관	해외 업체 및 기관	비고
위성탑재 안테나	배열안테나 개발	전기적/기계적 설계	기계적 설계 및 인터페이스 설계	배열 안테나 검증 기술 협력	해외 자문
	조립 및 시험	조립 및 시험 절차 수립	안테나 조립 및 전기/기계적 시험		독자 개발
중계기	능동부품 개발	설계 및 시험	능동부품 제작 및 성능/환경시험	고출력증폭기 등 일부 부품 납품	독자 개발
	수동부품 개발	설계 및 시험	수동부품 제작 및 성능/환경시험		독자 개발
	성능 및 분석	설계 및 분석	우주 환경 분석	—	독자 개발
	조립 및 시험	종합화 및 시험	ESGE 제작 및 중계기조립/성능/환경시험	—	독자 개발

H.5. 정밀케도 결정 기술

- 기술 개발 방안

- 정밀케도결정 기술을 동역학, 관측, 필터링 모델로 세분하여 개발 수행
- 1단계는 기존의 항법 시스템을 대상으로 기술개발 수행
- 2단계에서는 상용 SW를 이용한 검증을 통해 정밀케도결정 시스템 고도와 안정화 추진
- 핵심 세부기술은 관측모델, 동역학모델 및 필터링 모델은 주관기관이 독자개발을 추진하며, 상용 SW를 통한 검증시스템의 개발은 국내외 협력 기관을 통해 기술을 확보

핵심기술	세부기술	주관기관	국내 업체 및 기관	해외 업체 및 기관	비고
정밀케도 결정기술	관측모델 개발	설계 및 개발	개발 및 검증	—	독자개발
	동역학모델 개발	설계 및 개발	개발 및 검증	—	독자개발
	필터링 모델 개발	설계 및 개발	개발 및 검증	—	독자개발
	검증시스템 개발	설계 및 시험	검증 시스템 개발 및 시험	검증시험 및 자문	독자개발/ 해외도입
	자동화 인터페이스 개발	설계 및 시험	자동화 운영 인터페이스 개발	—	독자개발
		종합화 및 시험	ESGE 제작 중계기조립 및 성능/환경시험	—	독자개발

H.6. 전파지연 예측 기술

핵심기술	세부기술	주관기관	국내 업체 및 기관	해외 업체 및 기관	비고
전파지연 모델개발 기술	알고리즘 개발	우주 및 기상 환경변화 요소기반설계	—	—	독자 개발
	시험 및 검증	시험 및 검증	모델 가시화 및 구동체계 기술 개발	검증기술 협력	해외 자문
전파지연 관측정보 산출기술	관측정보 산출 알고리즘 설계	설계 및 시험	—	—	독자 개발
	관측정보 산출	비교 및 검증	—	—	독자 개발
	성능 분석	정밀도 분석	가시화 기술 개발	검증 및 분석 기술 협력	해외 자문
해외 관측소 운영기술	해외관측소 운영기술	관측소 확보체계 방안마련	체계개발	관측소 운영 협력	해외 자문
	관측정보 수집관리기술	수집체계 설계	수집체계 기술 구현	관측소 정보 공유	해외 자문

H.7. 항법신호 감시 기술

- 기술 개발 방안

- 독자개발을 원칙으로 해외 기관의 경험을 확보하기 위해 기술자문을 추진함
- 주관기관은 설계, 개발, 검증 및 구축절차를 담당하고, 국내 협력기관은 연구환경 및 항법신호 감시 지상감시국 구축과 같은 현장기술개발을 담당함

핵심기술	세부기술	주관기관	국내 업체 및 기관	해외 업체 및 기관	비고
항법신호 감시기술	URE 해석 및 이상요인 식별기술	설계/개발 /검증	항법신호 감시정보 연구환경 구현	—	독자 개발
	URE 해석 및 이상요인 식별 성능 시험검증 기술		—	—	독자 개발
	항법신호 감시를 위한 지상감시국 구축 기술	설계 및 구축절차	항법신호 감시 지상감시국 구축	해외 기관 기술 자문	독자 개발
	URE 추정 및 무결성 감시기술 실용화 및 현장운영과 검증 기술	설계/개발 /검증	현장운영 및 결과보고	해외 기관 기술 자문	독자 개발
	URE 해석 및 이상요인 식별기술 실용화 및 현장운영과 검증 기술	설계/개발 /검증	현장운영 및 결과보고	해외 기관 기술 자문	독자 개발

H.8. 위성관제 기술

핵심기술	세부기술	주관기관	국내 업체 및 기관	해외 업체 및 기관	비고
다중위성 관제기술	원격측정 및 원격명령 하위시스템 개발 기술	설계/검증	구현/시험 및 종합화	—	독자 개발
	실시간운용 하위시스템 기술	설계/검증	구현/시험 및 종합화	—	독자 개발
	임무계획 하위시스템 기술	설계/검증	구현/시험 및 종합화	—	독자 개발
	비행역학 하위시스템 기술	설계/검증	구현/시험 및 종합화	—	독자 개발
	위성 시뮬레이터 하위시스템 기술	설계/검증	구현/시험 및 종합화	—	독자 개발

H.9. 시스템 시각생성 기술

핵심기술	세부기술	주관기관	국내 업체 및 기관	해외 업체 및 기관	비고
시스템 시각생성 기술	시스템시각 생성 시스템 개발	설계 및 시험	시설 및 구성 장비 구축	상용 원자시계 및 주변 장비 납품	독자 개발
	시스템시각 생성 시스템 성능 평가 및 검증	성능 평가 및 검증	—	—	독자 개발
	시스템시각 생성 시스템 운영 및 성능 개선	성능 개선	시스템 운영 및 관리	—	독자 개발
	시스템시각 UTC(KRIS) 시각동기 시스템 개발	설계 및 시험	시설 및 구성 장비 구축	—	독자 개발
	시스템시각 UTC(KRIS) 시각동기 시스템 성능 평가 및 검증	성능 평가 및 검증	—	—	독자 개발
	시스템시각 UTC(KRIS) 시각동기 시스템 운영 및 성능 개선	성능 개선	시스템 운영 및 관리	—	독자 개발
	차세대 극저온 원자시계 개발 및 시험	설계/제작 및 시험	전기/기계적/인 터페이스 설계 및 제작	레이저 광원 등 일부 납품	독자 개발
	차세대 극저온 원자시계 성능 평가 및 검증	성능 평가 및 검증	—	—	독자 개발

H.10. 다중항법 신호처리 기술

핵심기술	세부기술	주관기관	국내 업체 및 기관	해외 업체 및 기관	비고
다중항법 신호처리 기술	신호 획득 기술	설계/성능 검증 및 개발	칩 설계 및 구현	—	독자 개발
	신호 추적 기술	설계/성능 검증 및 개발	칩 설계 및 구현	—	독자 개발
	항법해 산출 기술	설계/성능 검증 및 개발	칩 설계 및 구현	—	독자 개발

안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의
개인적 견해이며 과학기술정보통신부의 공식견해
가 아님을 알려드립니다.

과학기술정보통신부 장관 유 영 민