

제 출 문

국토지리정보원장 귀하

본 보고서를 「SSR 서비스 최적화 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020. 9

(주)피피솔 대표이사 박 관 동

참여연구진

박관동	(주)피피솔	연구책임자
김미소	(주)피피솔	연구원
한진수	(주)피피솔	연구원

자문위원

이형근	한국항공대학교	교 수
최병규	한국천문연구원	수석연구원
김성진	한국자동차연구원	선임연구원
김종원	카카오모빌리티	박 사
김성범	LGU+	선임연구원

국토지리정보원

이진우	국토측량과	과장
김현호	국토측량과	시설연구사

본 사업은 신규 도입하여 정식서비스를 앞두고 있는 SSR 방식 네트워크 RTK의 품질을 보장하고 안정적인 서비스를 제공하기 위한 목적으로 국내 환경에 최적화된 SSR 보정정보 생성을 위한 연구개발을 수행하였다. 이를 위한 과정으로 GNSmart2 기반 SSR 서비스를 최적화하고 SSR 보정정보의 성능을 테스트하였다. 또한 SSR 보정정보의 품질평가지표를 선정하고 개선된 SSR 서비스의 품질을 검사하였다. 이 과정을 위해 항법 위성군 별, 오차 성분별 SSR 보정정보의 품질평가를 수행하였으며 SSR 서비스의 활용강화 방안 도출을 위해 SSR 관련 국제 표준 현황 및 SSR 수신기의 프로토콜을 조사하고 기존 OSR 방식의 사용자들을 위한 격자망 기반의 'OSR(FKP)로 변환한 SSR' 보정정보 생성을 위한 전략을 도출하였다.

SSR 오차보정메시지 별 품질 검사 및 성능 개선을 통한 서비스 최적화

최적의 SSR 서비스 제공을 위해 위성 기준점을 선별하고 관측망을 구성하였다. 관측망 구축을 위해 위성 기준점의 관측 환경을 조사하고 수신기 및 안테나의 제조사 및 펌웨어 등을 확인하였으며 수신기 및 안테나의 Multi-Constellation 지원과 GNSmart에서 수신기 정보 제공 여부 등을 판단하여 최종 위성 기준점을 선별하였다. 선별된 위성 기준점을 대상으로 정밀 좌표를 산출하고 최적의 배치파일 옵션을 설정하였다. 성능개선 과정 및 최적화 관련 과정은 옵션조정 해설서 및 GNSmart 운영관리 매뉴얼에 작성하였다.

개선된 관측망을 이용한 현장 측위테스트를 통해 측위성능 테스트

개선된 관측망을 기반으로 생성되는 SSR 보정정보의 성능 비교를 위해 현장 테스트를 수행하고 측위성능을 확인하였다. 측위테스트는 'SSR' 또는 '서버에서 OSR(FKP)로 변환한 SSR'을 이용하였다. 측위 장비별 성능 확인을 위해 2주파 수신장비, 1주파 수신장비, 스마트 폰을 이용하여 장비별 성능을 비교하였으며, 전국 권역에서의 SSR 측위 안정성을 확인하기 위해 국토지리정보원의 위성기준점 중 지역별로 7곳(양평, 서산, 동해, 장흥, 제주, 상주, 경주외동)을 선정하여 전 국토를 대상으로 측위 성능의 안정성을 확인하였다. 기존의 OSR과의 성능 비교를 위해 도심지 환경에서 GNSmart의 GNSS SSR과 기존 OSR을 사용하는 테스트를 수행하여 측위 정확도를 비교하였다. 또한 SSR의 이동 측위분야 활용 가능성 평가를 위해 차량 주행테스트를 수행하여 VRS 좌표를 기준으로 측위 정확도를 비교하였다. 추가적으로 위성기준점 관측데이터를 활용하여 일본에서 서비스 중인 QZSS의 CLAS와 국토지리정보원의 SSR의 측위 성능 비교분석을 수행하였다.

Ⅰ 요약 Ⅰ

항법 위성군별, 오차성분 별 SSR 보정정보의 품질평가 지표선정 및 품질평가

SSR 보정정보의 품질 평가를 위해 각 보정정보별 품질 분석을 수행하였다. 위성 궤도의 SSR 보정정보 분석을 위해 항법 위성군별(GPS, GLONASS, Galileo)로 정밀궤도력과 비교하였고 전 달 경로단(대류권, 이온층) 보정정보의 품질 분석을 위해 IGS에서 제공하는 보정정보를 사용하였다. 대류권의 경우, IGS 상시관측소에 대해 제공하는 ZPD를 기준으로 비교하였으며 이온층의 경우, 전 지구에 대해 격자정보로 제공하는 GIM 모델을 기준으로 보정정보의 품질을 확인하였다.

SSR 보정정보의 품질관리를 위한 RTCM 메시지 수집·저장, 디코딩, 통계 산출 기능 구현

GNSmart를 통해 생성된 SSR 메시지를 저장하고 이를 자동으로 디코딩하는 프로그램을 구현하였다. 보정정보는 1시간 단위로 .srg 형태로 저장되며 이를 디코딩하여 위성 궤도와 위성 시계, 위성 바이어스, 이온층, 대류권 보정정보로 나누어 .mat 형태로 저장하였다.

SSR 관련 국제표준 제정 현황 파악 및 SSR 수신기 조사

RTCM SSR 분과 회의자료 및 공식 표준문건 조사를 통해 SSR 관련 국제 표준 제정 현황을 파악하였다. RTCM SSR 표준화 작업은 전체 3단계로 현재 2단계까지 완료된 상황이며 3단계 과정이 매우 더디게 진행되고 있어 각 SSR 서비스마다 고유의 포맷으로 서비스를 운영하고 있다. SSR 수신기 관련하여 미국과 유럽, 일본에서 판매되고 있는 수신기의 현황을 조사하였으며 공개된 SSR 포맷인 GNSmart의 SSRG와 SSRZ, QZSS Compact SSR, Sapcorda의 SPARTN 메시지의 표준을 분석하고 각 메시지의 특성을 비교하였다.

격자망 기반의 'OSR(FKP)로 변환한 SSR' 보정정보 생성을 위한 상세전략 도출 및 서비스 구축 타당성·적절성 조사

기존 OSR 방식의 측위 사용자가 SSR 보정정보를 활용할 수 있는 방안으로 격자망 형태의 'OSR(FKP)로 변환한 SSR' 보정정보 생성을 위한 상세전략을 도출하고 서비스 구축의 타당성과 적절성을 조사하였다. 본 연구에서는 위·경도 방향으로 10km 간격의 격자를 생성하여 RTK 서비스를 구현하는 방법을 제시하였으며, 기선거리별 테스트를 수행하여 제시한 방법의 유효성을 확인하였다.

제1장 연구개요	1
1. 연구 배경 및 목적	3
2. 연구 내용	5
제2장 GNSmart2 기반 SSR 서비스 최적화 및 성능 테스트	7
1. SSR 메시지별 품질검사 및 성능 개선을 통한 서비스 최적화	9
가. 위성기준점 선별 및 관측망 구축	9
나. 최적화 옵션조정 해설서 및 운영관리 매뉴얼	16
2. 개선된 관측망을 이용한 현장 측위테스트	25
가. 전국 권역에서의 측위 안정성 테스트	25
나. 수신 장비별 테스트(2주파/1주파/스마트폰)	30
다. 도심지 환경에서의 SSR 및 기존 OSR 측위 성능 비교	37
라. 이동측위 분야 활용 가능성 확인	42
3. 국토지리정보원 SSR과 QZSS CLAS의 측위 성능 비교	48
제3장 SSR 보정정보 품질평가지표 선정 및 개선된 SSR 서비스의 품질검사	53
1. 항법위성군별, 오차성분별 SSR 보정정보의 품질평가 지표선정 및 품질검사	55
가. 위성단 보정정보의 항법 위성군별 특징 분석	55
나. 이온층 보정정보의 특징 분석	59
다. 대류권 보정정보의 특징 분석	62
라. SSR 보정정보의 품질 분석	65
2. SSR 보정정보의 품질관리를 위한 RTCM 메시지 수집·저장, 디코딩, 통계산출 기능 구현	68
가. RTCM 메시지 수집 및 저장	68
나. RTCM 메시지 디코딩	70

제4장 SSR 보정정보 서비스의 활용강화 방안 도출	75
1. SSR 관련 국제표준 현황 파악 및 SSR 수신기의 프로토콜 조사	77
가. RTCM SSR 분과 회의자료 및 공식 표준문건 조사를 통한 현황조사 ...	77
나. SSR 관련 공개 표준 분석	80
다. SSR 수신기 개발 현황 조사	95
2. 격자형 'SSR2OSR(FKP)' 생성을 위한 상세전략 도출 및 서비스 구축 타당성· 적절성 조사	99
제5장 결 론	103
참고문헌	107

<표 2-1> 수신기/안테나 기종별 수량	12
<표 2-2> 위성기준점의 수신기/안테나 정보	13
<표 2-3> GPPNET 옵션 해설서	20
<표 2-4> SSRM2FKP 옵션 해설서	21
<표 2-5> 스트림별 옵션 해설서	21
<표 2-6> SSRM2G 옵션 해설서	22
<표 2-7> 지역별 SSR 측위 통계 수치(RMSE)	26
<표 2-8> 지역별 SSR 측위 통계 수치(표준편차)	29
<표 2-9> 2주파 측위 테스트 - 측위 시간 및 기선 거리, 설정된 수신기 상태 ..	30
<표 2-10> 2주파 SSR 측위 수렴시간	32
<표 2-11> 2주파 SSR 측위 정확도 통계치	33
<표 2-12> SSR 적용에 따른 측위 정확도	36
<표 2-13> 도심지 내 SSR, OSR 측위 성능 테스트 장소	37
<표 2-14> 도심지 내 SSR, OSR 측위 오차 통계(관측 환경-1)	38
<표 2-15> PosMode에 따른 측위모드	39
<표 2-16> 도심지 내 SSR, OSR 측위 오차(관측 환경-2, 단위: m)	40
<표 2-17> 이동 측위 테스트 구간 및 시간	42
<표 2-18> SSR 측위 결과 - 수평/수직 RMSE(단위: m)	50
<표 3-1> SSRG 메시지 번호 및 내용	71
<표 3-2> SSRG-위성 궤도	72
<표 3-3> SSRG-위성 시계	72
<표 3-4> SSRG-위성 바이어스	73
<표 3-5> SSRG-대류권	73
<표 3-6> SSRG-이온층	73
<표 4-1> SSR 서비스 종류	78
<표 4-2> CLAS 메시지 헤더 구성	81
<표 4-3> Compact SSR 메시지의 구성	82
<표 4-4> Compact SSR-위성 궤도	83
<표 4-5> Compact SSR-위성 시계	84

<표 4-6> Compact SSR-위성 바이어스	84
<표 4-7> Compact SSR-대류권	84
<표 4-8> Compact SSR-이온층 보정계수	85
<표 4-9> Compact SSR-이온층 STEC	85
<표 4-10> Compact SSR-위성 궤도 및 시계 통합오차	85
<표 4-11> Compact SSR과 GNSmart SSR 메시지 비교	88
<표 4-12> SAPA 서비스 등급별 특징	89
<표 4-13> SPARTN 메시지 TF ID	90
<표 4-14> SPARTN 메시지 타입 및 서브타입	92
<표 4-15> SPARTN-Type 0의 구성(OCB 메시지)	92
<표 4-16> SPARTN-Type 1의 구성(HPAC 메시지)	94
<표 4-17> SPARTN-Type 3의 구성(BPAC 메시지)	94
<표 4-18> Fugro Seastar 서비스 종류	97
<표 4-19> OmniSTAR 서비스 종류	98
<표 4-20> POS 옵션 입력 예시	100
<표 4-21> 기선거리별 수렴시간 및 측위정확도	101

<그림 1-1> 국토지리정보원 SSR 서비스 추진 현황	3
<그림 1-2> 연구의 배경과 목적	4
<그림 2-1> 위성기준점 신호 끊김 및 지연 확인	10
<그림 2-2> 위성기준점 구축 환경	11
<그림 2-3> 관측망 현황-30개소	12
<그림 2-4> GIPSY 시계열 분석: JINJ	14
<그림 2-5> GNSmart 네트워크망 구성	15
<그림 2-6> GNSmart 시스템 구성도	16
<그림 2-7> GNSmart 메인 구동 화면	18
<그림 2-8> GPPRCVR 화면	18
<그림 2-9> GPPSTATEVIEWER	19
<그림 2-10> GPPNET 디버깅 파일 예시	20
<그림 2-11> SSRM2FKP 디버깅 예시	21
<그림 2-12> MSM_OUT 디버깅 예시	22
<그림 2-13> SSRM2G 디버깅 예시	23
<그림 2-14> 최적화 이전 이온층 보정정보: GPS 32	24
<그림 2-15> 최적화 이후 이온층 보정정보: GPS 06	24
<그림 2-16> 테스트 지역으로 선택된 위성기준점 7곳	25
<그림 2-17> 지역별 측위 정확도(수평, RMSE)	26
<그림 2-18> 지역별 SSR 측위 통계 그래프(RMSE)	27
<그림 2-19> 상주-방향 별 시계열 오차 그래프	27
<그림 2-20> 경주외동-방향 별 시계열 오차 그래프	28
<그림 2-21> 지역별 SSR 측위 통계 그래프(표준편차)	28
<그림 2-22> 2주파 SSR 측위 테스트 장비(좌: AsteRx4, 우: TRM57971.00)	30
<그림 2-23> 2주파 SSR 측위 오차(테스트-1)	31
<그림 2-24> 2주파 SSR 측위 오차(테스트-2)	31
<그림 2-25> 2주파 SSR 측위 오차(테스트-2)	32
<그림 2-26> 1주파 SSR 측위 테스트 장비(좌: PwrPak7, 우: GrAnt-G3T)	33
<그림 2-27> 1주파 SSR 측위 오차 및 사용 위성 수	34

<그림 2-28> 스마트폰 SSR 측위 테스트 장비(MI8)	35
<그림 2-29> 스마트폰 SSR 측위 오차 및 사용 위성 수	35
<그림 2-30> Septentrio PolaRx3e Pro	37
<그림 2-31> 도심지 내 측위 성능 테스트 관측 환경(테스트-1)	38
<그림 2-32> 도심지 내 SSR, OSR 측위 결과(관측 환경-1)	39
<그림 2-33> 도심지 내 측위 성능 테스트 관측 환경(테스트-2)	40
<그림 2-34> 도심지 내 SSR, OSR 측위 결과(관측 환경-2)	41
<그림 2-35> JAVAD Alpha	42
<그림 2-36> 주행 구간(테스트-2)	43
<그림 2-37> 주행 구간의 관측 환경(테스트-1)	44
<그림 2-38> 차량 주행 환경에서의 SSR 측위 결과(테스트-1)	44
<그림 2-39> 주행 구간(테스트-2)	45
<그림 2-40> 주행 구간의 관측 환경(테스트-2)	46
<그림 2-41> 차량 주행 환경에서의 SSR 측위 결과(테스트-2)	46
<그림 2-42> 한국 및 일본 내 선정된 위성 기준점의 위치	48
<그림 2-43> 선정된 한국 및 일본 위성 기준점 관측 환경	49
<그림 2-44> CLAS 아카이브 웹페이지	50
<그림 2-45> SSR 측위 결과(좌: 국토지리정보원 SSR, 우: 일본 CLAS)	51
<그림 3-1> 위성궤도 분석: GPS 11	56
<그림 3-2> 위성궤도 분석: GLONASS 10	57
<그림 3-3> 위성궤도 분석: Galileo 13	58
<그림 3-4> GIM 파일 예시	59
<그림 3-5> 대전기준: SSR 이온층 격자값 확인	60
<그림 3-6> IGS GIM과 SSR의 이온층 오차 비교: GPS 11	60
<그림 3-7> ZPD 파일 예시	62
<그림 3-8> 대전기준: SSR 대류권 격자값 확인	63
<그림 3-9> IGS GIM과 SSR의 대류권 오차 비교: GPS 11	63
<그림 3-10> 보정정보 총량 분석: GPS 22	65
<그림 3-11> 보정정보 총량 분석: GLONASS 04	66

<그림 3-12> 보정정보 총량 분석: Galileo 02	66
<그림 3-13> 파일 저장 경로	68
<그림 3-14> 디버깅 파일 저장	68
<그림 3-15> SSRG 파일 저장	69
<그림 3-16> 디버깅 파일 예시	69
<그림 4-1> RTCM SSR 표준화 내용	78
<그림 4-2> 3GPP Releases 16-17	79
<그림 4-3> CLAS의 네트워크 구성	80
<그림 4-4> QZSS CLAS 데이터 획득	81
<그림 4-5> CLAS 격자점의 구성	86
<그림 4-6> Compact SSR과 GNSmart SSR 메시지 비교	87
<그림 4-7> SAPA 서비스 대상 지역: Europe & USA	89
<그림 4-8> SPARTN 메시지 프레임 레이아웃	90
<그림 4-9> SPARTN - 격자의 구성	93
<그림 4-10> ARDUSIMPLE의 SimpleRTK2B	95
<그림 4-11> Novatel PwrPak7	96
<그림 4-12> Trimble NetR9	96
<그림 4-13> Fugro SEASTAR 9205	97
<그림 4-14> Choah의 Chronosphere-L6	97
<그림 4-15> OmniSTAR 8200HP	98
<그림 4-16> 서비스 대상 지역	99
<그림 4-17> 격자생성 예시	100

제1장

연구개요

1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구 내용

1. 연구 배경 및 목적

고정밀 측위 기술이 발전함에 따라 자율주행 자동차, 드론 등과 같은 정밀위치를 활용하는 분야가 확대되고 있으며 이로 인해 민간에서의 정밀위치 서비스 수요가 점차 증가하고 있다. 국토지리정보원은 지금까지 OSR 방식의 보정신호 서비스인 VRS와 FKP 서비스를 제공해왔으나 이는 측지 측량을 위한 목적에 더 적합한 기술이며 최근에는 OSR 방식에 비해 통신용량과 안정성 측면에서 향상된 신개념 보정신호인 SSR 방식의 보정신호 서비스의 활용이 확대되고 있는 추세이다. 국토지리정보원은 이러한 기술 및 시장동향에 따라 위성기준점 서비스 고도화의 일환으로 새로운 보정기술 방식인 SSR 보정정보 서비스를 도입하여 제공할 계획을 수립하였다. 그러나 이 기술은 국내에 최초로 도입되는 기술이기 때문에 SSR 서비스의 안정성과 활용성 확인, SSR 보정정보 적용 기술 개발 등 다양한 분석과 연구가 필요한 상황이다.

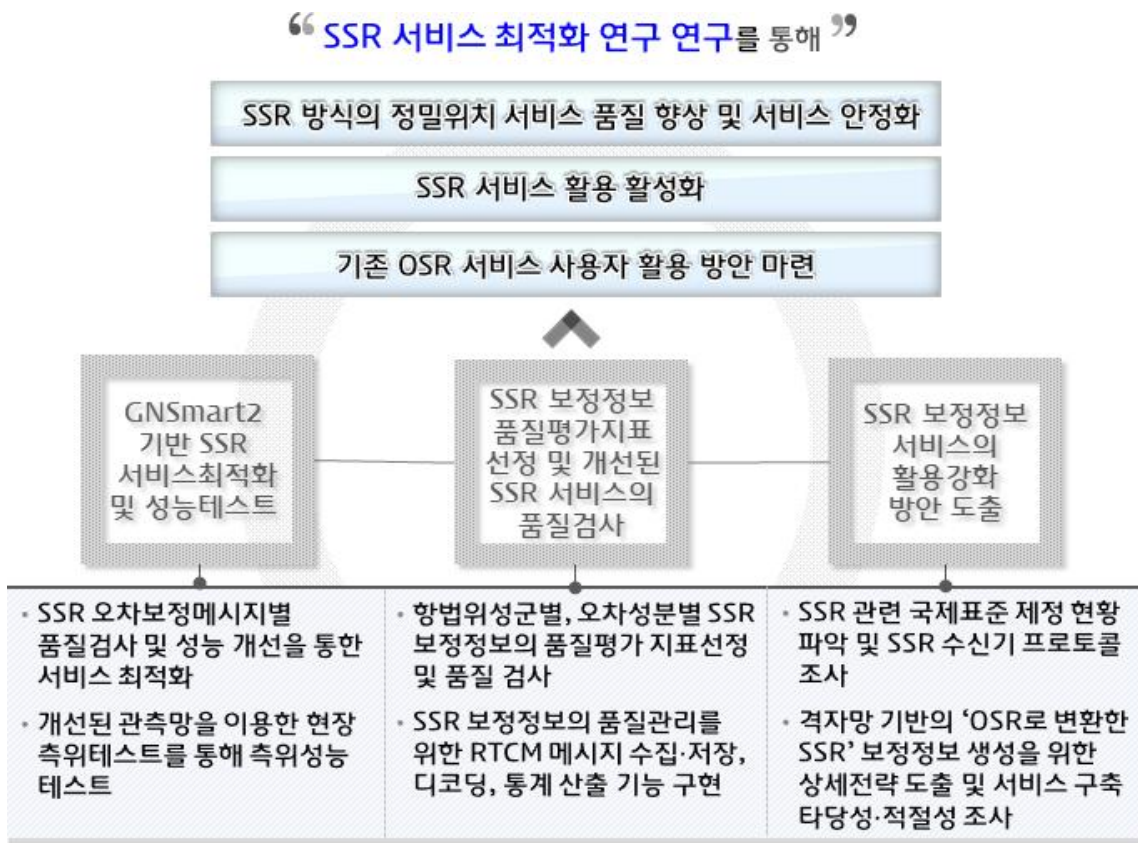
SSR 서비스의 정식 운영을 위한 준비과정으로 국토지리정보원에서는 2019년 9월, SSR 서비스 시범테스트를 운영하였으며 사전협의를 통해 참여자를 선정하였다. ㈜피피솔은 사전 테스트에 참여하여 SSR 보정정보에 대한 다양한 분석과 측위 성능을 확인하였으며 신규 도입하는 SSR 서비스의 신뢰성 보장 및 품질 개선, 서비스 안정화 등 국내 환경에 적합한 보정정보 생성을 위해서는 SSR 서비스의 최적화 작업이 필요함을 확인하였다.



<그림 1-1> 국토지리정보원 SSR 서비스 추진 현황

따라서 본 사업에서는 SSR 서비스가 2020년 하반기에 정식 서비스 운영을 앞두고 있는 바, SSR

서비스 최적화 연구를 통해 SSR 방식의 네트워크 RTK 서비스의 품질을 보장하고 안정적인 서비스를 제공하기 위한 목적으로 국내 환경에 최적화된 SSR 보정정보 생성을 위한 연구개발을 수행하였다. 이를 위한 과정으로 GNSmart2 기반 SSR 서비스를 최적화하고 보정정보의 성능을 테스트하였다. 또한 SSR 보정정보의 품질평가지표를 선정하고 개선된 SSR 서비스의 품질을 검사하였다. 이 과정을 위해 항법 위성군 별, 오차 성분별 SSR 보정정보의 특징 및 품질을 분석하였다. 또한 SSR 보정정보 서비스의 활용강화 방안 도출을 위해 SSR 관련 국제 표준 현황 및 SSR 수신기의 프로토콜을 조사하였으며 기존 OSR 방식의 사용자를 위한 격자망 기반의 ‘OSR(FKP)로 변환한 SSR’ 보정정보의 생성을 위한 전략을 도출하였다.



<그림 1-2> 연구의 배경과 목적

2. 연구 내용

본 연구는 2020년 3월 19일부터 9월 14일까지 총 180일 동안 진행되었으며, 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

1) GNSmart2 기반 SSR 서비스 최적화 및 성능 테스트

□ SSR 오차보정메시지 별 품질검사 및 성능 개선을 통한 서비스 최적화

- 최적의 보정서비스 제공을 위해 위성기준점을 선별하고 최적의 관측망 구축 및 성능비교
- 국내 환경을 고려하여 대류권, 이온층 등 오차 보정정보의 품질 개선 및 측위성능 향상
- 성능개선 및 최적화 관련 옵션조정 해설서 및 GNSmart 운영·관리 매뉴얼 작성

□ 개선된 관측망을 이용한 현장 측위테스트를 통해 측위성능 테스트

- 측위테스트는 'SSR' 또는 서버에서 'OSR(FKP)'로 변환한 SSR' 이용
- 2주파 수신장비와 1주파 수신장비, 스마트폰의 측위 성능 비교
- 관측환경(도심지, 개활지), 지역(강원, 수도권, 경상, 충청, 전라, 제주) 별 테스트를 실시하며 상세 계획은 감독관과 별도 협의하여 결정
- 도심지 환경에서 GNSmart의 멀티 GNSS와 기존 OSR의 측위성능 비교
- 위성기준점 관측데이터를 이용한 QZSS의 CLAS와 국토지리정보원 SSR의 측위성능 비교 분석

2) SSR 보정정보 품질평가지표 선정 및 개선된 SSR 서비스의 품질 검사

□ 항법위성군(GPS, GLONASS 등) 별, 오차성분(위성궤도, 시계, 바이어스 등) 별 SSR 보정정보의 품질평가 지표 선정 및 품질검사

- 위성관련 보정정보인 궤도오차, 시계오차, 바이어스 보정정보의 항법위성군 별 특징 분석 및 품질평가 지표 선정
- IGS, 국내 연구기관에서 제공하는 한반도 지역 대류권·이온층 오차 정보와 비교를 통해 SSR 보정정보를 검증하고 이를 기반으로 대류권 이온층 보정정보의 품질평가 지표 선정
- 각 오차 보정정보의 품질평가 지표 별 SSR 보정정보 기반 측위성능의 상관관계 분석

□ SSR 보정정보의 품질관리를 위한 RTCM 메시지 수집·저장, 디코딩, 통계 산출 기능 구현

3) SSR 보정정보 서비스의 활용강화 방안 도출

□ SSR 관련 국제표준 제정 현황 파악 및 SSR 수신기의 프로토콜 조사

- RTCM SSR 분과 회의자료 및 공식 표준문건 조사를 통한 현황 조사
- 미국, 유럽, 일본에서 판매되는 SSR 수신기의 제조사별 SSR 프로토콜 파악
- 일본 QZSS Compact SSR 메시지의 표준과 GNSmart SSR 메시지 표준 비교

□ 격자망 기반의 'OSR(FKP)로 변환한 SSR' 보정정보 생성을 위한 상세전략 도출 및 서비스 구축 타당성·적절성 조사

제2장

GNSmart2 기반 SSR 서비스 최적화 및 성능 테스트

-
1. SSR 보정정보 메시지별 품질검사 및 성능 개선을 통한 서비스 최적화
 2. 개선된 관측망을 이용한 현장 측위테스트를 통해 측위 성능 테스트
 3. 국토지리정보원 SSR과 QZSS CLAS의 측위 성능 비교

1. SSR 메시지의 성능 개선을 통한 서비스 최적화

최적의 SSR 서비스 제공을 위해 국토지리정보원이 운영하고 있는 위성 기준점 중 관측망 구성을 위한 위성 기준점을 선별하였다. 최적 관측망 구축을 위해 위성 기준점의 관측 환경을 조사하고 수신기 및 안테나의 제조사 및 펌웨어 등을 확인하였으며 수신기 및 안테나의 Multi-Constellation 지원 및 GNSmart에서 수신기 정보 제공 여부 등을 확인하여 최종 위성 기준점을 선별하였다. 선별된 위성 기준점을 대상으로 정밀 좌표를 산출하였으며 최적의 배치파일 옵션을 설정하여 SSR 보정정보를 생성하였다. 성능개선 과정 및 최적화 관련 과정은 옵션조정 해설서 및 GNSmart 운영관리 매뉴얼에 작성하였다.

가. 위성기준점 선별 및 관측망 구축

위성기준점을 선별하여 관측망을 구축하는 과정은 SSR 보정정보의 성능을 결정하는 중요한 단계이다. 따라서 GNSmart 서버를 구축하고 SSR 보정정보를 생성하기 이전에 최적의 위성기준점을 선별하는 과정이 필수적이다. 국토지리정보원은 전국 권역에 대해 약 80여개의 위성기준점을 운영 중이며, 최적 관측망 구축을 위해 국토지리정보원이 운영하는 전체 위성 기준점에 대해 위성 기준점 구축 환경을 고려하여 1차적으로 위성기준점을 선별하였다.

위성기준점 구축 환경에서 고려해야 하는 조건은 크게 수신기와 안테나, 관측 환경으로 구분 할 수 있다. 우선, 수신기와 안테나에서 고려해야 하는 조건은 크게 3가지로 내용은 다음과 같다.

- 1) 다중항법위성군 지원 여부(Multi-Constellation, GPS/GLONASS/Galileo/BDS)
- 2) Geo++, GNSmart에서 수신기와 안테나의 바이어스 정보 지원 여부
- 3) 신호 수신 안정성(신호 끊김 및 지연 여부)

GNSmart1과 GNSmart2가 가장 큰 차이점은 GNSmart1에서는 GPS와 GLONASS의 L1과 L2에 대해서만 보정정보 생성이 가능하지만, GNSmart2에서는 모든 위성군과 모든 신호값에 대해서 보정정보 생성이 가능하다는 것이다. 따라서 Galileo와 BDS의 보정정보를 추가로 생성하기 위해서는 두 위성군의 수신이 가능해야하며 수신기와 안테나가 Multi-Constellation 조건에 부합하지 않는 설치된 위성 기준점을 제외하였다. 다음, GNSmart 관측망 구축 과정에는 기준국의 수

신기와 안테나의 바이어스 정보가 필요하다. 따라서 GNSmart에서 수신기와 안테나의 바이어스 정보 지원여부를 확인하고 지원하지 않는 수신기와 안테나가 설치된 위성기준점을 제외하였다. 안테나 정보의 경우, IGS에서 제공하는 ANTEX (Antenna Exchange Format) 파일의 사용이 가능하나 ANTEX 파일의 경우 GPS와 GLONASS에 대해서만 정보를 제공한다. 따라서 다중항법위성군을 이용하는 경우에는 Geo++에서 제공하는 ANTEX 파일이 필요하며, Geo++ ANTEX 파일에서 안테나 정보를 지원하지 않는 경우, 해당기준국은 제외하였다. 마지막으로, 신호 단절과 지연 현상이 발생하는 횟수가 적은지를 확인하였다. 아래의 <그림 2-1>은 각 위성기준점에 대해 신호 끊김 및 지연을 확인한 것이다.

Stat	Rcv_Id	timestamp	rcvtime	Delay	MinD[s]	MaxD[s]	VarD[s]	Age[s]	Alarm
0000	BONH	441023.0	441023.7	0.706	0.703	0.716	0.013	0.706	
0000	CHJU	441023.0	441023.7	0.712	0.711	0.723	0.012	0.712	
0000	CHUL	441023.0	441023.7	0.711	0.709	0.761	0.052	0.711	
0000	CHYG	441023.0	441023.7	0.713	0.709	0.729	0.020	0.713	
0000	CNJU	441023.0	441023.7	0.718	0.716	0.732	0.016	0.718	
0000	DONH	441023.0	441023.7	0.715	0.713	0.730	0.017	0.715	
0000	GANH	441023.0	441023.7	0.705	0.700	0.736	0.036	0.705	
0000	GOCH	441023.0	441023.7	0.711	0.709	0.728	0.019	0.711	
0000	GOJE	441023.0	441023.7	0.698	0.685	0.698	0.013	0.698	
0000	GOJI	441023.0	441023.7	0.733	0.715	0.746	0.031	0.733	
0000	INJE	441023.0	441023.7	0.715	0.713	0.731	0.018	0.715	
0000	JAHG	441023.0	441023.7	0.742	0.739	1.753	1.014	0.742	
0000	JIND	441023.0	441023.7	0.698	0.689	0.700	0.011	0.698	
0000	JINJ	441022.0	441022.8	0.835	0.826	1.826	1.000	0.835	
0000	MUJU	441023.0	441023.7	0.730	0.717	0.746	0.029	0.730	
0000	NAMW	441023.0	441023.7	0.732	0.716	0.738	0.022	0.732	
0000	NSAN	441022.0	441022.9	0.872	0.809	0.886	0.077	0.872	
0000	PCHN	441023.0	441023.7	0.727	0.712	0.746	0.034	0.727	
0000	PSJA	441023.0	441023.7	0.722	0.711	0.739	0.028	0.722	
0000	SEOS	441023.0	441023.7	0.666	0.664	0.675	0.011	0.666	
0000	SMAN	441023.0	441023.7	0.676	0.665	0.705	0.040	0.676	
0000	SNJU	441023.0	441023.8	0.814	0.808	1.831	1.023	0.814	
0000	SOMC	441023.0	441023.8	0.827	0.816	0.872	0.056	0.827	
0000	SSAN	441023.0	441023.7	0.718	0.712	0.731	0.019	0.718	
0000	SUNW	441023.0	441023.7	0.699	0.698	1.208	0.510	0.699	
0000	WULJ	441022.0	441022.8	0.823	0.819	1.764	0.945	0.823	
0000	YANP	441022.0	441022.9	0.890	0.883	0.932	0.049	0.890	
0000	YCIG	441023.0	441023.7	0.741	0.720	0.765	0.045	0.741	
0000	YODK	441023.0	441023.7	0.690	0.685	0.720	0.035	0.690	
0000	YYAN	441023.0	441023.7	0.730	0.722	0.773	0.051	0.730	

<그림 2-1> 위성기준점 신호 끊김 및 지연 확인

그림에서 Rcv_Id는 위성기준점 명칭이며 관측데이터의 시각(timestamp)과 수신한 시각(rcvtime)의 시각을 이용하여 신호지연 여부를 판단한다. 그림의 Delay는 신호지연 지연 시간, MinD, MaxD, VarD는 최소 지연시간, 최대 지연시간, 지연시간의 분산을 의미하며 신호 끊김이 발생한 경우 Alarm에 기록이 된다. 일반적으로 0.6초에서 2초 사이의 신호 지연이 발생한다는 점을 고려하여 통계치 분석을 기반으로 신호 지연과 끊김이 적은 위성기준점을 선택하였다.

이와 같은 과정을 통해 선별된 위성기준점을 대상으로 위성기준점의 관측 환경을 고려하여 2차 위성기준점을 선별하였다. 관측 환경의 경우, 위성기준점 주변의 수목이나 건물로 신호 차폐가 발생하지 않는 개활지 환경인지를 확인하였다. 마지막으로 전국토 어디서나 안정적인 성능의 SSR 보정정보를 생성하기 위해서 위성기준점의 분포를 고려하였으며 위성기준점간 거리가 최대 ~100km 이내가 되도록 선별하였다.



서산(SEOS)



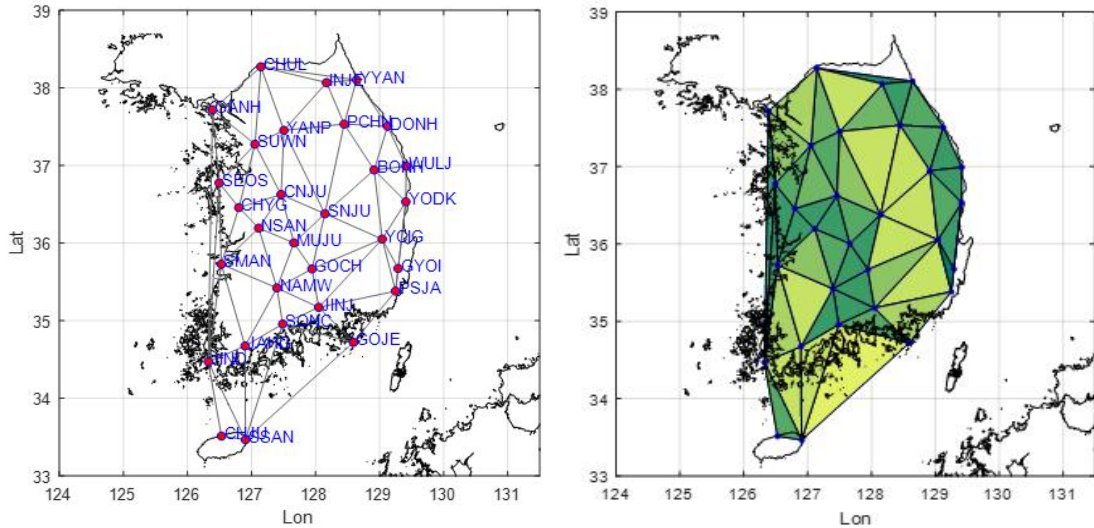
양평(YANP)



울진(WULJ)

<그림 2-2> 위성기준점 구축 환경

이와 같은 과정을 통해 최종적으로 30개의 위성기준점을 선별하였으며 선별된 위성기준점의 위치 및 분포는 다음과 같다.



<그림 2-3> 관측망 현황-30개소

선별된 위성기준점들에 대해 수신기와 안테나의 기종별로 각각 몇 개소인지를 정리하여 <표 2-1>로 나타내었다. 전체 위성 기준점의 수신기와 안테나 정보는 <표 2-2>에서 확인할 수 있으며 수신기와 안테나의 바이어스 정보를 GNSmart 옵션 설정에 반영하였다.

<표 2-1> 수신기/안테나 기종별 수량

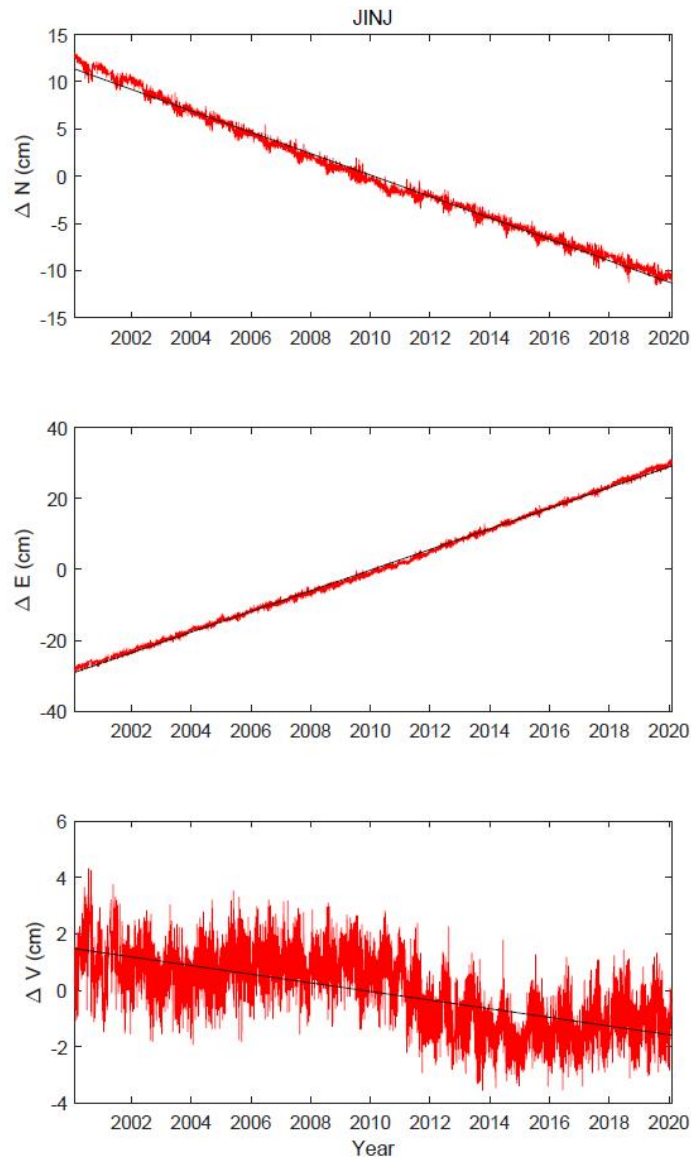
수신기 기종	수량	안테나 기종	수량
Leica GR10	3	LEIAR25.R3 LEIT	3
Leica GR25	1	LEIAR25.R4 LEIT	6
Leica GR50	5	TRM59800.00 SCIS	15
Trimble Alloy	3	TRM59800.80 SCIS	6
Trimble NetR9	18	-	-
합	30	합	30

<표 2-2> 위성기준점의 수신기/안테나 정보

기준국	수신기	안테나	레이돔
BONH	Trimble NetR9	TRM59800.00	SCIS
CHJU	Trimble NetR9	TRM59800.00	SCIS
CHUL	Trimble NetR9	TRM59800.00	SCIS
CHYG	Trimble NetR9	TRM59800.00	SCIS
CNJU	Trimble NetR9	TRM59800.80	SCIS
DONH	Trimble NetR9	TRM59800.00	SCIS
GANH	Trimble NetR9	TRM59800.00	SCIS
GOCH	Trimble NetR9	TRM59800.00	SCIS
GOJE	Leica GR10	LEIAR25.R3	LEIT
GYOI	Trimble Alloy	TRM59800.00	SCIS
INJE	Trimble NetR9	TRM59800.00	SCIS
JAHG	Trimble NetR9	TRM59800.00	SCIS
JIND	Leica GR10	LEIAR25.R3	LEIT
JINJ	Trimble NetR9	TRM59800.80	SCIS
MUJU	Leica GR50	LEIAR25.R4	LEIT
NAMW	Leica GR50	LEIAR25.R4	LEIT
NSAN	Trimble NetR9	TRM59800.80	SCIS
PCHN	Leica GR50	LEIAR25.R4	LEIT
PSJA	Trimble Alloy	TRM59800.00	SCIS
SEOS	Trimble NetR9	TRM59800.80	SCIS
SMAN	Leica GR25	LEIAR25.R4	LEIT
SNJU	Trimble NetR9	TRM59800.80	SCIS
SONC	Leica GR50	LEIAR25.R4	LEIT
SSAN	Trimble NetR9	TRM59800.00	SCIS
SUWN	Trimble NetR9	TRM59800.00	SCIS
WULJ	Trimble NetR9	TRM59800.80	SCIS
YANP	Trimble NetR9	TRM59800.00	SCIS
YCIQ	Trimble Alloy	TRM59800.00	SCIS
YODK	Leica GR10	LEIAR25.R3	LEIT
YYAN	Leica GR50	LEIAR25.R4	LEIT

마지막으로 선별된 위성기준점들에 대해 GIPSY 자료처리를 통해 정밀좌표를 산출하였으며 장기간 시계열 분석으로 데이터 수신 이상여부 및 산출된 좌표의 안정성을 확인하였다. 아래의 <그림 2-4>는 진주(JINJ)의 시계열 분석 결과로 2001년부터 2020년 현재시점까지 위성기준점의 좌표가

특이점 없이 안정적인 것을 확인할 수 있다. 이처럼 선별된 위성기준점에 대해 데이터의 안정성 및 신뢰성을 재확인 하였으며 최종적으로 <그림 2-5>와 같은 네트워크망을 구성하였다.



<그림 2-4> GIPSY 시계열 분석: JINJ

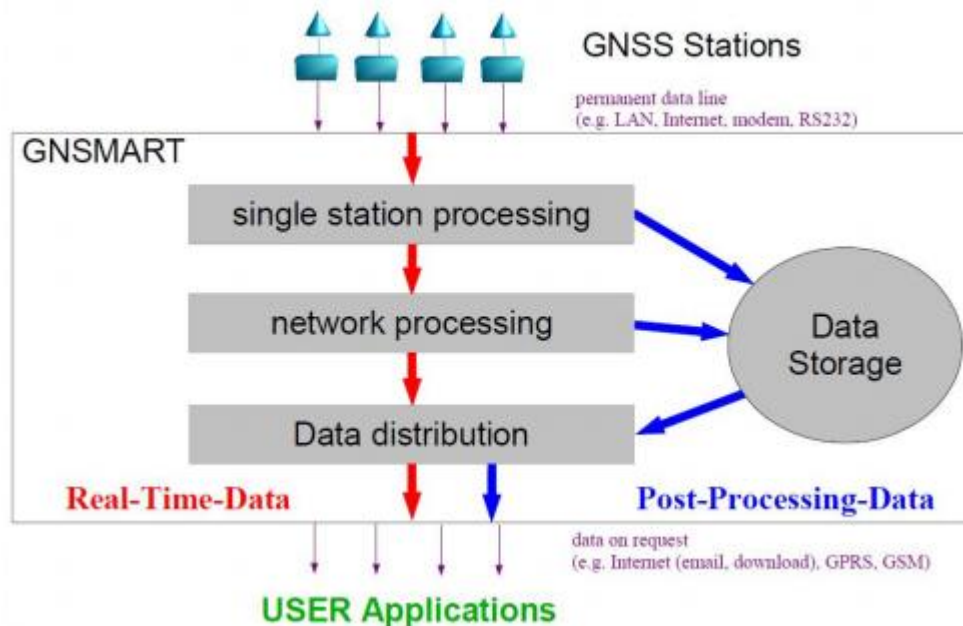
전체 위성기준점은 30개소이며 이온층과 대류권 보정정보의 격자점의 개수는 32개로 위도($33^{\circ} \sim 39^{\circ}$)와 경도($126^{\circ} \sim 130^{\circ}$)에 대해 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 간격으로 생성된다. 한국의 경우, 기하학적으로 직사각형의 형태이므로 격자를 1도 간격으로 설정하였으며 격자의 형태 및 개수에 대해 보정메시지의 전송량과 측위 성능 등 다양한 비교 분석을 수행하여 1도 간격의 격자 형태가 최적의 격자망 구성이라 판단하였다. 격자 정보 외에 위성 궤도 및 시계, 바이어스 등에 대한 자세한 내용은 3장에서 다루도록 한다.



<그림 2-5> GNSmart 네트워크망 구성

나. 최적화 옵션조정 해설서 및 GNSmart 운영관리 매뉴얼

독일 Geo++사에서 개발한 GNSmart는 GNSS 기준국 네트워크를 기반으로 측위오차 요소의 상태를 모니터링 하고 실시간으로 보정정보를 생성하여 사용자에게 제공해주는 프로그램이다. GNSmart는 SSR과 OSR(FKP, VRS)의 생성을 지원하며 시스템 구성은 <그림 2-6>과 같다.



<그림 2-6> GNSmart 시스템 구성도

1) GNSmart 구성

GNSmart는 모듈 단위로 실행된다. 자료처리 단계에 따른 핵심 모듈은 크게 4가지가 있다.

- RCVR_IN: 수신기 접속 및 실시간 데이터 수집
- GPPNET: 상태공간모델링(SSM; State Space Modelling) 수행
- SSRM2FKP: 상태공간모델링을 이용한 FKP 보정정보 생성
- SSRM2G: 상태공간모델링을 이용한 SSRG 보정정보 생성

GNSmart 프로그램은 DOS 명령어로 실행된다. 초기 실행을 위해 DOS 명령어로 옵션을 세팅하고 프로그램이 실행된 후, GUI를 이용하여 프로그램 화면 및 웹에서 설정을 변경할 수 있다. GNSmart 운영을 위해 숙지해야 하는 주요 디렉터리 구조는 다음과 같다.

- C:\geopp\bin: 모듈 및 관련 라이브러리 (*.exe, *.dll, *.jar)
- C:\geopp\logs: GNSmart 로그 파일
- C:\geopp\conf\NGII: 설정 및 배치 파일 (*.bat, *.cfg, *.opt)
- C:\geopp\components: 서드파티 소프트웨어 구성요소 (Apache Tomcat)
- C:\Program Files (x86)\PostgreSQL\data: GNSmart 데이터베이스

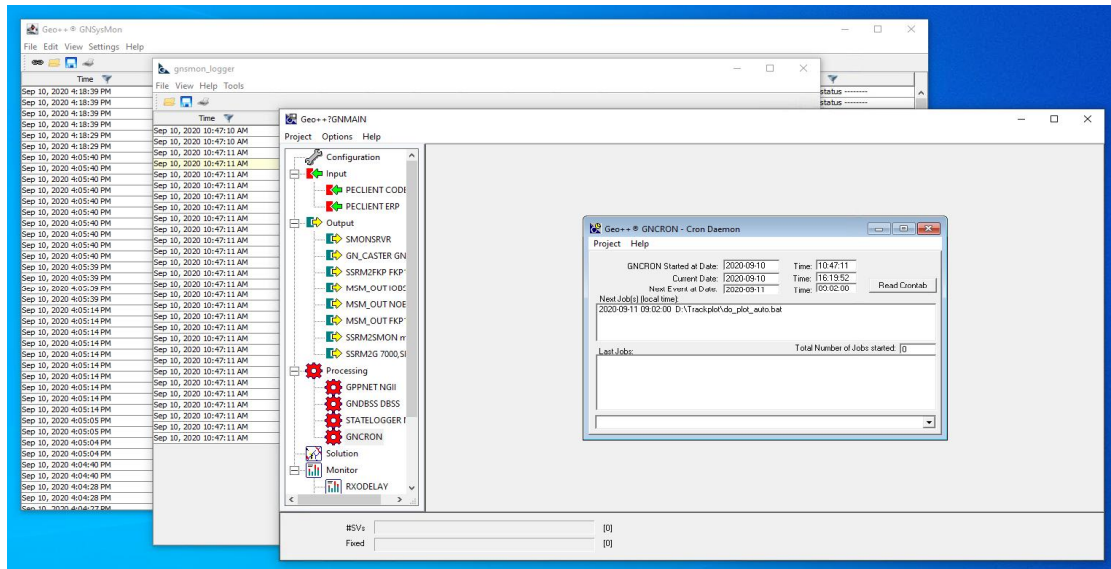
2) GNSmart 설치

GNSmart 설치를 위한 파일은 Geo++ 다운로드 서버(<http://anton.geopp.de/realtime/>)에서 내려 받을 수 있다. 해당 인스톨 파일은 GNSmart와 운영에 필요한 7개의 서드파티 소프트웨어로 구성되어 있으며 설치 순서 및 각 소프트웨어의 용도는 다음과 같다.

- Adopt OpenJDK: Web Service 이용
- Apache Tomcat: Web Service 이용
- PostgreSQL ODBC Driver: 데이터베이스 관리
- Microsoft Visual C++ Redistributables: 모든 프로그램에서 이용
- PostgreSQL 9.5: 데이터베이스 관리
- PostGIS 2.3.0: 데이터베이스 관리
- Sentinel Driver: 라이선스 복제 방지 프로그램
- GNSmart: GNSmart 메인 소프트웨어

3) GNSmart 실행

GNSmart는 배치(batch, .bat 형식) 파일을 통해서 실행되며 화면으로 확인할 수 있도록 설정된 모듈들은 GNMAIN 화면을 통해 확인할 수 있다. 디버깅 메시지와 데이터베이스 연결 관련 정보는 GNSysMON, gnsmon_logger에서 확인할 수 있다. 프로그램 구동에 이상이 없는 경우에는 아래 그림과 같이 GNMAIN, GNSysMON, gnsmon_logger 모듈에 대해서만 실행된다.



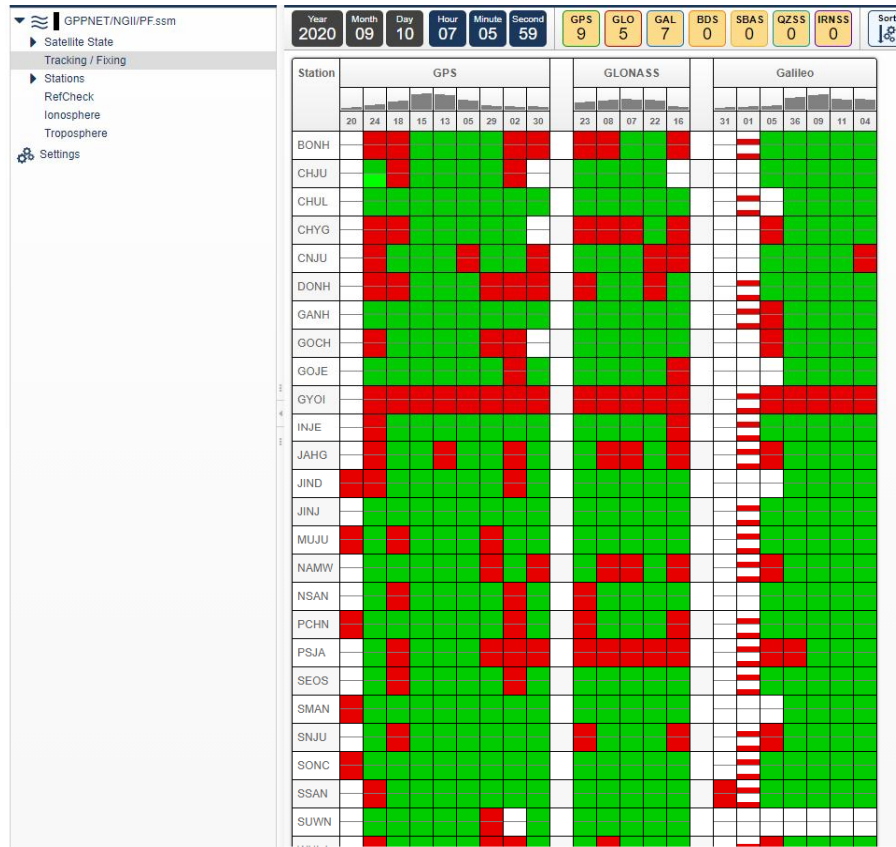
<그림 2-7> GNSmart 메인 구동 화면

수신기 연결이 끊기는 등의 오류가 발생한 경우에는 GNERERROR 모듈도 화면상에서 확인할 수 있다. 수신기 연결 및 상태공간모델링 현황은 웹에서 확인할 수 있으며 GPPRCVR (http://localhost:8080/gpprcvr_servlet)은 각 기준국별로 확인할 수 있다. 웹 화면을 통해 스카이플랏(Sky Plot), PRC, 관측치, 수신기 정보 등의 연결 기준국의 모든 정보를 확인할 수 있으며 예시화면은 아래 <그림 2-8>과 같다.



<그림 2-8> GPPRCVR 화면

상태공간 모델링은 GPPSTATEVIEWER (<http://localhost:8080/gppstateviewer>)에서 확인이 가능하며 기준국별 위성 수신 정보 및 모호정수 추정 결과를 확인할 수 있다. <그림 2-9>는 GPPSTATEVIEWER에서 확인 가능한 모호정수 추정 결과로 관측소와 위성별로 모호정수 추정 결과를 파악할 수 있다. 화면에서 녹색은 모호정수 추정이 완료됨을 의미하며 빨간색은 모호정수 추정중임을 의미한다.



<그림 2-9> GPPSTATEVIEWER

GPPSTATEVIEWER은 GPPNET에서 생성된 상태공간모델링을 가시화시켜주는 역할을 한다. GPPNET는 GNSmart의 핵심 모듈로 디버깅 파일과 데이터베이스를 제외하고 독립적으로 내부 데이터를 활용할 수가 없다. <표 2-3>은 GPPNET 옵션 해설서의 일부이며 디버깅 파일은 <그림 2-10> 예시와 같다. GPPNET 옵션에 대한 자세한 내용은 별책 GNSmart 매뉴얼에서 확인 가능하다.

<표 2-3> GPPNET 옵션 해설서

옵션	설명	파라미터
-GNMP=4	사용할 프로세서의 수 설정	서버의 CPU 코어 수
-E=12	임계 고도각 설정	임계 고도각(°)
-CNO=*,*,*,20	임계 SNR 설정	수신기, 위성군, 신호, 임계 SNR(dBHz)
-NETO=36,127,100	네트워크의 중심이 되는 지점 설정	위도(°),경도(°),고도(m)
-AR_ELE=16,12	모호정수 추정 시 임계 고도각 설정	관측초기 위성 임계 고도각(°), 기타 위성 임계 고도각(°)
-IPR=0	코드 관측치 처리 간격 설정	처리 간격(s) (0=매 초)
-MSOC=*,0.433,0.866	위성 궤도 및 시계 모델 파라미터	위성군, 위성 궤도, 위성 시계

T370553.755: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <JINU> 13 E04 E: 47.7738 TD: 3.3887 DD: 3.0827 WD: 0.3060
T370553.758: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <JINU> 13 E05 E: 17.5845 TD: 8.2178 DD: 7.4719 WD: 0.7459
T370553.761: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <JINU> 13 E01 E: 13.8168 TD: 10.3195 DD: 9.3796 WD: 0.9399
T370553.764: TIMG Updating Epoch finished for Rcvr: <JINU> 13 E01 E: 13.8168 TD: 10.3195 DD: 9.3796 WD: 0.9399
T370553.764: TIMG Finished Epoch for Rcvr: <JINU> 13 E01 E: 13.8168 TD: 10.3195 DD: 9.3796 WD: 0.9399
T370553.764: TIMG Updating Epoch for Rcvr: <NSAN,16> E01 E: 13.8168 TD: 10.3195 DD: 9.3796 WD: 0.9399
T370553.764: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <NSAN> 16 G15 E: 66.9945 TD: 2.7385 DD: 2.4945 WD: 0.2440
T370553.764: TIMG Single Epoch Event 18541,18522 for Rcvr: <GOJE> at: 1283756153000 18746500 1283737406500 1016 1000 1.0160 16884.51 0.9999 32 600.50 57.654 1000
T370553.766: TIMG Single Epoch Event 18530,18522 for Rcvr: <YODK> at: 1283756153000 18746500 1283737406500 1000 1000 1.0000 16885.51 0.9999 -16 600.50 45.561 1000
T370553.767: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <NSAN> 16 G13 E: 69.6497 TD: 2.6886 DD: 2.4491 WD: 0.2395
T370553.768: TIMG Single Epoch Event 18533,18522 for Rcvr: <SUWN> at: 1283756153000 18746500 1283737406500 1000 1000 1.0000 16886.51 0.9999 15 600.50 245.659 1000
T370553.769: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <NSAN> 16 G05 E: 46.5170 TD: 3.4710 DD: 3.1616 WD: 0.3094
T370553.771: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <NSAN> 16 G18 E: 36.4148 TD: 4.2378 DD: 3.8599 WD: 0.3779
T370553.773: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <NSAN> 16 G29 E: 24.0446 TD: 6.1510 DD: 5.6015 WD: 0.5496
T370553.774: TIMG Single Epoch Event 18545,18522 for Rcvr: <BONH> at: 1283756153000 18746500 1283737406500 985 1000 0.9850 16887.51 0.9999 -15 600.50 86.445 1000
T370553.775: TIMG Single Epoch Event 18539,18522 for Rcvr: <JINU> at: 1283756153000 18746515 1283737406485 1015 1000 1.0150 16888.51 0.9999 15 600.50 39.264 1000
T370553.775: TIMG Single Epoch Event 18542,18522 for Rcvr: <GANH> at: 1283756153000 18746515 1283737406485 1000 1000 1.0000 16889.51 0.9999 0 600.50 169.681 1000
T370553.776: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <NSAN> 16 G02 E: 22.2650 TD: 6.6074 DD: 6.0167 WD: 0.5907
T370553.778: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <NSAN> 16 G24 E: 20.2088 TD: 7.2353 DD: 6.5880 WD: 0.6473
T370553.780: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <NSAN> 16 G30 E: 19.2845 TD: 7.5611 DD: 6.8843 WD: 0.6768
T370553.781: TIMG Single Epoch Event 18544,18522 for Rcvr: <CHUL> at: 1283756153000 18746515 1283737406485 1000 1000 1.0000 16890.51 0.9999 0 600.50 60.349 1000
T370553.783: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <NSAN> 16 R07 E: 50.7829 TD: 3.2516 DD: 2.9618 WD: 0.2898
T370553.783: TIMG Single Epoch Event 18545,18522 for Rcvr: <CHJU> at: 1283756153000 18746515 1283737406485 1000 1000 1.0000 16891.51 0.9999 0 600.50 154.471 1000
T370553.784: TIMG Single Epoch Event 18474,18460 for Rcvr: <PSJA> at: 1283756153000 18746515 1283737406485 984 1000 0.9840 16892.51 0.9999 -16 600.50 55.361 1000
T370553.784: TIMG Single Epoch Event 18542,18522 for Rcvr: <GOCH> at: 1283756153000 18746515 1283737406485 1000 1000 1.0000 16893.51 0.9999 0 600.50 197.365 1000
T370553.787: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <NSAN> 16 R22 E: 47.9933 TD: 3.3897 DD: 3.0876 WD: 0.3021
T370553.787: TIMG Single Epoch Event 18543,18522 for Rcvr: <DONG> at: 1283756153000 18746515 1283737406485 1000 1000 1.0000 16894.51 0.9999 0 600.50 136.385 1000
T370553.788: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <INJE> at: 1283756153000 18746515 1283737406485 1000 1000 1.0000 16895.51 0.9999 0 600.50 114.998 1000
T370553.791: TIMG Single Epoch Event 18538,18522 for Rcvr: <NSAN> 16 R08 E: 40.5261 TD: 3.8736 DD: 3.5283 WD: 0.3454
T370553.792: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <NSAN> 16 R23 E: 33.8580 TD: 4.5133 DD: 4.1107 WD: 0.4026
T370553.792: TIMG Single Epoch Event 18544,18522 for Rcvr: <CHYG> at: 1283756153000 18746531 1283737406469 1000 1000 1.0000 16897.51 0.9999 0 600.50 43.011 1000
T370553.792: TIMG Single Epoch Event 18531,18522 for Rcvr: <YCIG> at: 1283756153000 18746531 1283737406469 1000 1000 1.0000 16898.51 0.9999 0 600.50 184.840 1000
T370553.795: TIMG Single Epoch Event 18543,18522 for Rcvr: <CNJU> at: 1283756153000 18746531 1283737406469 1000 1000 1.0000 16899.51 0.9999 0 600.50 166.889 1000
T370553.795: TIMG Single Epoch Event 18537,18522 for Rcvr: <NANM> at: 1283756153000 18746531 1283737406469 1000 1000 1.0000 16900.51 0.9999 -16 600.50 21.030 1000
T370553.795: TRP Tropo Corr 2122 370551.000 for Rcvr: <NSAN> 16 R16 E: 18.9770 TD: 7.6765 DD: 6.9892 WD: 0.6872
T370553.796: TIMG Single Epoch Event 18536,18522 for Rcvr: <PCHN> at: 1283756153000 18746531 1283737406469 1016 1000 1.0160 16901.51 0.9999 16 600.50 57.309 1000

<그림 2-10> GPPNET 디버깅 파일 예시

GPPNET을 통해 생성된 정보는 FKP 모델링에 사용되며 이 과정은 SSRM2FKP 모듈에서 진행된다. SSRM2FKP는 디버깅에 필요한 유의미한 정보들이 저장되지 않아 별도의 저장은 하지 않으며 CUI를 통해 확인이 가능하다. <표 2-4>는 SSRM2FKP 모듈에 대한 옵션 해설서의 일부이며 디버깅 예시는 <그림 2-11>이다. SSRM2FKP를 통해 생성된 정보는 MSM_OUT을 통해 FKP, VRS 서비스를 할 수 있다. MSM_OUT은 사용자들이 늘어남에 따라 모듈이 추가되는 RTCM_OUT과는 달리 하나의 MSM_OUT에서 다수의 사용자 처리가 가능하며, 최대 사용자 수는 서버의 성능에 따라 다르다.

<표 2-4> SSRM2FKP 옵션 해설서

옵션	설명	파라미터
-FKPM	FKP 모델링 시 모호정수 미해결 위성도 진행	-
-TI,ND=100	대류권 모델링 시 사용 기준국 반경 설정	기준국 반경 (km)
-II,ND=100	이온층 모델링 시 사용 기준국 반경 설정	기준국 반경 (km)
-d	디버깅 실시	-

```

T374877.8: THREAD Status: Type: 1 ID: 0 IDLE: 62 Where: 11400
T374877.9: MAIN: GEN2FKP: Returned 0 and took 93 ms
T374879.7: MAIN: GEN2UseSt: 2122 374877.0
T374879.8: MAIN: GEN2FKP: Returned 0 and took 94 ms
T374881.8: MAIN: GEN2UseSt: 2122 374879.0
T374881.9: MAIN: GEN2FKP: Returned 0 and took 94 ms
T374883.9: MAIN: GEN2UseSt: 2122 374881.0
T374884.0: MAIN: GEN2FKP: Returned 0 and took 78 ms
T374886.8: MAIN: GEN2UseSt: 2122 374884.0
T374886.9: MAIN: GEN2FKP: Returned 0 and took 109 ms
T374887.8: THREAD Status: Type: 1 ID: 0 IDLE: 969 Where: 3001
T374888.8: MAIN: GEN2UseSt: 2122 374886.0
T374888.9: MAIN: GEN2FKP: Returned 0 and took 78 ms
T374891.0: MAIN: GEN2UseSt: 2122 374888.0
T374891.1: MAIN: GEN2FKP: Returned 0 and took 94 ms
T374893.3: MAIN: GEN2UseSt: 2122 374890.0
T374893.4: MAIN: GEN2FKP: Returned 0 and took 94 ms
T374895.9: MAIN: GEN2UseSt: 2122 374893.0
T374896.0: MAIN: GEN2FKP: Returned 0 and took 94 ms

```

<그림 2-11> SSRM2FKP 디버깅 예시

MSM_OUT은 RTCM MSM을 기본값으로 사용하므로 3개의 NTRIP 스트림으로 구성하였다. 디버깅 시 사용자에게 제공되는 관측치 정보들도 함께 제공이 되어 이를 저장하도록 설정이 되어있다. 스트림별 옵션 해설서는 <표 2-5>, 디버깅 예시는 <그림 2-12>이다.

<표 2-5> 스트림별 옵션 해설서

스트림	옵션	설명
공통	+NetRes	네트워크 잔차 출력
	-ANT	기준국 관측치에 PCV 보정 적용
VRS	-allMSM	위성 수가 많을 경우 분할하여 MSM 생성
VRS_legacy, FKP	-MSM=4,NONE	이전 RTCM 3로 출력 파라미터: NONE - MSM 사용 안함 4 - MT 1004, 1012로 출력

```

RTCM 3 - MSM Observations <MSM prepared for encoding>
System: GALILEO
ReferenceStationID: 4095
GNSS Epoch Time: 435600.000 (GALILEO time)
Epoch Week: 1098
Epoch Time: 435600.000 (GALILEO time)
MultipleMessageBit: 0
IssueOfDataStation: 0
Reserved (7bits): 0x37
ClockSteeringIndicator: 0
ExternalClockIndicator: 0
DivFreeSmoothingIndicator: 1
SmoothingInterval: 7 (Unlimited)
SatelliteMask (bits): 10100011000010100000100000 00000000000000000000000000000000 (PRN 1..32 33..64)
SignalMask (bits): 00001000000000001000100010000000 = SignalIDs: 5 16 20 24
CellMask (bits): 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111
#max. Cells/msg: 36
#used Signals/msg: 36
#max. Signals/SV: 4
#SVs: 9
PRN #ms rRge rDop Ext sig raw PseudoRange[m] raw PhaseRange[m] LTI CumLockT H CNR[dBHz] raw Doppl[m/s] Type SignalDescription
E 1 88 612 n/a n/a 5 +2252 26560949.382 +72759 26560949.7695 15 2958.001 0 42 42.50 -436 +67.9564 (1X) E1 B+C
16 +2440 26560952.757 +72712 26560949.7432 15 2958.001 0 45 45.30 n/a n/a (7X) E5b I+Q
20 +2501 26560953.840 +72782 26560949.7827 15 2958.001 0 48 48.30 n/a n/a (8X) E5a+b I+Q
24 +2558 26560954.851 +72758 26560949.7692 15 2958.001 0 44 44.00 n/a n/a (5X) E5a I+Q
E 3 88 891 n/a n/a 5 -6936 26642466.922 -216595 26642469.9259 15 7436.001 0 37 37.60 -12751 -176.2751 (1X) E1 B+C
16 -6734 26642470.527 -214969 26642470.8337 15 7436.001 0 39 39.80 n/a n/a (7X) E5b I+Q
20 -6661 26642471.832 -215273 26642470.6641 15 7436.001 0 43 43.00 n/a n/a (8X) E5a+b I+Q
24 -6598 26642472.968 -214766 26642470.9472 15 7436.001 0 39 39.20 n/a n/a (5X) E5a I+Q
E 7 90 121 n/a n/a 5 +3921 27016815.995 +128128 27016817.4623 14 438.001 0 34 34.70 +1101 +567.1101 (1X) E1 B+C
16 +4259 27016822.020 +128212 27016817.5093 14 438.001 0 38 38.80 n/a n/a (7X) E5b I+Q
20 +4285 27016822.485 +128263 27016817.5379 14 438.001 0 42 42.80 n/a n/a (8X) E5a+b I+Q
24 +4356 27016823.758 +128223 27016817.5156 14 438.001 0 39 39.50 n/a n/a (5X) E5a I+Q
E 8 77 486 n/a n/a 5 +4564 23226385.135 +151615 23226388.2402 15 6558.001 0 47 47.20 +480 +302.0481 (1X) E1 B+C
16 +4693 23226387.454 +153284 23226389.1724 15 6558.001 0 48 48.20 n/a n/a (7X) E5b I+Q
20 +4745 23226388.382 +153470 23226389.2760 15 6558.001 0 52 52.00 n/a n/a (8X) E5a+b I+Q
24 +4808 23226389.499 +153560 23226389.3264 15 6558.001 0 49 49.10 n/a n/a (5X) E5a I+Q

```

<그림 2-12> MSM_OUT 디버깅 예시

이전 모듈들이 실행된 후 SSRG 관련 모듈이 실행된다. SSRG를 생성하는 SSRM2G는 GPPNET의 상태공간 모델링을 이용하며 SSRM2G는 MSM_OUT을 거치지 않고 NTRIP Server와 연결이 된다. <표 2-6>는 SSRM2G 옵션 해설서의 일부이며 디버깅 예시는 <그림 2-13>과 같다. 위와 같이 수신기 연결 및 상태공간모델링은 웹 서비스를 이용하여 GUI 기반에서 확인할 수 있다. 이 외의 정보들은 CUI 혹은 디버깅 파일 통해 확인이 가능하다. 웹 서비스 및 NTRIP은 초기 설정이 필요하며 이와 관련한 내용은 별책에서 자세히 다루도록 한다.

<표 2-6> SSRM2G 옵션 해설서

옵션	설명
-G=cfg\ngii.grd	SSRG 격자점 설정
-CTI	대류권/이온층 메시지 통합
-SRVG=10007	SSRG 전달 포트 설정
+SSRG	SSRG 저장

```

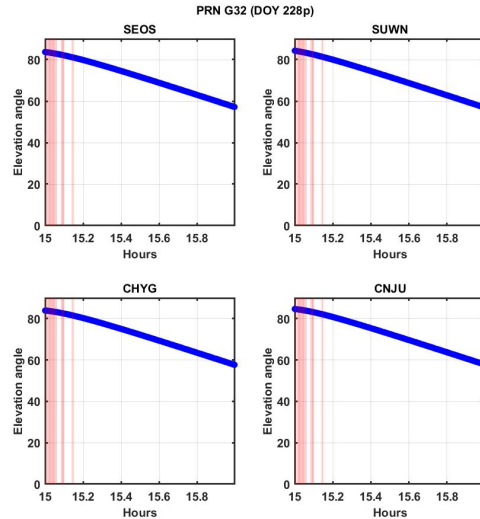
RTCM 3 - SSRG TropoIono Message <4090_2_006>
Version: 1
System: 2 (GALILEO)
Time of week [s]: 255598
Update Interval [s]: 1 [idx=0] (offset: 0s)
Update Interval Class: A [0]
MultipleMessageInd: 0
Reserved: 0
Number of stations: 26
[##] Typ Lat[deg] Lon[deg] Hgt[m] Tropo[m] TropoWet #SV PRN STEC[TECU] ...
[00] 0 +33.000000 +126.000000 +0.000 +2.6810 +0.2104 4 E02 +4.9383 E11 +18.4101 E25 +9.3576 E30 +11.8059
[01] 0 +34.000000 +126.000000 +0.000 +2.6830 +0.2128 3 E02 +4.9341 E11 +17.9313 E25 +9.2755
[02] 0 +35.000000 +126.000000 +0.000 +2.6782 +0.2084 3 E02 +4.9458 E11 +17.5069 E25 +9.3030
[03] 0 +36.000000 +126.000000 +0.000 +2.6744 +0.2049 4 E02 +4.9803 E11 +17.0976 E25 +9.3932 E30 +10.9898
[04] 0 +37.000000 +126.000000 +0.000 +2.6744 +0.2054 4 E02 +4.9804 E11 +16.8491 E25 +9.4705 E30 +10.7953
[05] 0 +38.000000 +126.000000 +0.000 +2.6819 +0.2133 3 E02 +4.9794 E11 +16.7357 E25 +9.5949
[06] 0 +33.000000 +127.000000 +0.000 +2.7178 +0.2466 4 E02 +5.0063 E11 +18.2174 E25 +9.3222 E30 +11.9554
[07] 0 +34.000000 +127.000000 +0.000 +2.7152 +0.2443 4 E02 +4.9824 E11 +17.7508 E25 +9.3320 E30 +11.6820
[08] 0 +35.000000 +127.000000 +0.000 +2.7110 +0.2406 3 E02 +4.9841 E11 +17.3464 E25 +9.3554
[09] 0 +36.000000 +127.000000 +0.000 +2.7111 +0.2411 4 E02 +4.9856 E11 +16.9044 E25 +9.4467 E30 +11.0981
[10] 0 +37.000000 +127.000000 +0.000 +2.7050 +0.2353 4 E02 +4.9732 E11 +16.6514 E25 +9.5527 E30 +10.9551
[11] 0 +38.000000 +127.000000 +0.000 +2.7080 +0.2387 4 E02 +4.9785 E11 +16.5072 E25 +9.6841 E30 +10.7999
[12] 0 +39.000000 +127.000000 +0.000 +2.7016 +0.2328 3 E02 +4.9493 E11 +16.2586 E25 +9.8848
[13] 0 +34.000000 +128.000000 +0.000 +2.7465 +0.2750 3 E02 +5.0230 E11 +17.5516 E25 +9.3255
[14] 0 +35.000000 +128.000000 +0.000 +2.7419 +0.2709 4 E02 +5.0363 E11 +17.1801 E25 +9.3763 E30 +11.5441
[15] 0 +36.000000 +128.000000 +0.000 +2.7464 +0.2757 4 E02 +5.0003 E11 +16.8005 E25 +9.4732 E30 +11.3055
[16] 0 +37.000000 +128.000000 +0.000 +2.7388 +0.2686 4 E02 +4.9628 E11 +16.4829 E25 +9.6506 E30 +11.1206
[17] 0 +38.000000 +128.000000 +0.000 +2.7243 +0.2545 4 E02 +4.9695 E11 +16.3075 E25 +9.8629 E30 +10.9900
[18] 0 +34.000000 +129.000000 +0.000 +2.7808 +0.3087 3 E02 +5.0537 E11 +17.3461 E25 +9.3340
[19] 0 +35.000000 +129.000000 +0.000 +2.7714 +0.2998 3 E02 +5.0520 E11 +16.9460 E25 +9.3901
[20] 0 +36.000000 +129.000000 +0.000 +2.7907 +0.3195 4 E02 +5.0437 E11 +16.6060 E25 +9.5119 E30 +11.4556
[21] 0 +37.000000 +129.000000 +0.000 +2.7707 +0.2999 3 E02 +4.9293 E11 +16.3698 E25 +9.7915
[22] 0 +38.000000 +129.000000 +0.000 +2.7587 +0.2883 3 E02 +4.9046 E11 +16.1457 E25 +10.0340
[23] 0 +35.000000 +130.000000 +0.000 +2.8232 +0.3510 3 E02 +5.0764 E11 +16.7558 E25 +9.4607
[24] 0 +36.000000 +130.000000 +0.000 +2.8368 +0.3650 3 E02 +5.0530 E11 +16.4237 E25 +9.6089
[25] 0 +37.000000 +130.000000 +0.000 +2.8052 +0.3338 3 E02 +4.9548 E11 +16.1815 E25 +9.8721
T255600.6: wrote 980 bytes of RTCM3 4090.2.6 SSRG-TropoIono data
T255600.6: wrote 435 bytes of RTCM3 4090.2.6 SSRG-TropoIono data
T255600.6: wrote 1011 bytes of RTCM3 4090.2.6 SSRG-TropoIono data
T255600.6: wrote 229 bytes of RTCM3 4090.2.6 SSRG-TropoIono data
T255600.6: wrote 811 bytes of RTCM3 4090.2.6 SSRG-TropoIono data

```

<그림 2-13> SSRM2G 디버깅 예시

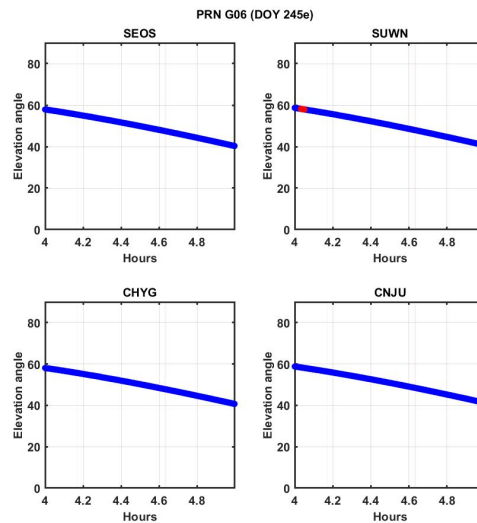
GNSmart 모듈에 옵션 설정은 보정정보의 성능을 결정짓는 중요한 요소이다. 옵션 설정이 최적화 되지 않으면 서버 내 안정화 문제가 발생하여 강제 종료가 되기도 하고 보정정보 중 일부가 누락되어 서비스 운영에 문제가 발생하기도 한다. 이러한 이유로 각 보정정보별 생성과정의 특징을 고려하여 이를 옵션 설정에 반영하는 것은 매우 중요한 과정이다.

각 보정정보들의 최적화 과정을 살펴보면, 위성 궤도 및 시계 보정정보는 떠오르는 위성고도각을 고려하여 모호정수를 추정하도록 하였으며, 바이어스 보정정보는 코드 관측치를 매초 처리하여 보정정보 생성에 안정성을 높였다. 이온층과 대류권 보정정보의 경우, 보정정보 생성 모델의 미분 지수와 기준거리 따른 성능 테스트를 진행하여 최적 옵션을 확인하였으며 최적화 과정 이후, 특정 격자점 인근 기준국의 통신이 안정적이지 않은 상황에서도 보정정보는 정상적으로 생성되는 것을 확인하였다. <그림 2-14>는 최적화 이전, GPS 위성 32번의 격자점(위도 37°, 경도 127°)에 대한 이온층 보정정보이다. 테스트 일자 2020년, 8월 15일(DOY 228)이며 좌측 상단부터 오른쪽 하단으로 서산(SEOS), 수원(SUWM), 청양(CHYG), 제주(CHJU) 순이다. 각 그래프의 파란색 선은 위성의 고도각을 나타내며 빨간색 박스는 이온층 보정정보가 생성되지 않은 부분을 나타낸 것이다. 최적화 이전에는 격자점 인근의 기준국 4곳에서 모두 위성의 고도각이 높음에도 이온층 보정정보가 생성되지 않는 문제가 발생하였다.



<그림 2-14> 최적화 이전 이온층 보정정보: GPS 32

최적화 과정 이후, 이온층 보정정보를 확인하여 <그림 2-15>로 나타내었다. 앞서 확인한 최적화 이전 분석과 동일한 격자와 기준국이며 테스트 일자는 2020년 9월 1일(DOY 245), GPS 06번 위성이다. 각 기준국에서의 위성 고도각을 파란색으로 나타냈으며 빨간색은 해당 위성의 모호정수가 추정되지 않았음을 의미한다.



<그림 2-15> 최적화 이후 이온층 보정정보: GPS 06

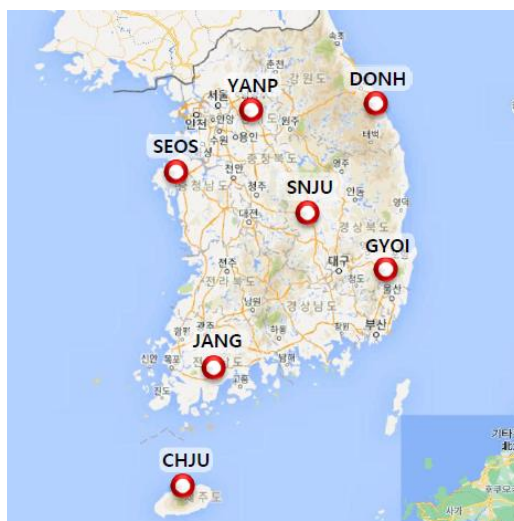
최적화 과정 이후에는 격자점 인근의 일부 기준국에서 모호정수가 해결되지 않은 경우에도 이온층 보정정보는 이상없이 정상적으로 생성되는 것을 확인하였다.

2. 개선된 관측망을 이용한 현장 측위테스트

개선된 관측망을 이용하여 생성되는 SSR 보정정보의 성능 비교를 위해 현장 테스트를 수행하고 측위성능을 확인하였다. 측위테스트는 ‘SSR’과 ‘서버에서 OSR(FKP)로 변환한 SSR’을 이용하였다. 전국 권역에서의 SSR 측위 안정성을 확인하기 위해 국토지리정보원의 위성기준점 중 지역별로 임의로 7곳(양평, 서산, 동해, 장흥, 제주, 상주, 경주외동)을 선정하여 전 국토를 대상으로 측위 성능의 안정성을 확인하였으며, 측위 장비별 성능 확인을 위해 2주파 수신장비, 1주파 수신장비, 스마트폰을 사용하여 장비별 성능을 비교하였다. 기존의 OSR과의 성능 비교를 위해 도심지 환경에서 GNSmart의 GNSS SSR과 기존 OSR을 사용하는 테스트를 각각 수행하여 측위 정확도 및 안정성을 비교하였다. 또한 SSR의 주행분야 활용 가능성 평가를 위해 이동측위를 수행하여 VRS 기준으로 측위 정확도를 확인하였다. 추가적으로 현재 일본에서 서비스 중인 QZSS의 CLAS와 국토지리정보원의 SSR의 측위 성능 비교분석을 수행하였다. 이 과정에는 위성기준점 관측데이터를 활용하였다.

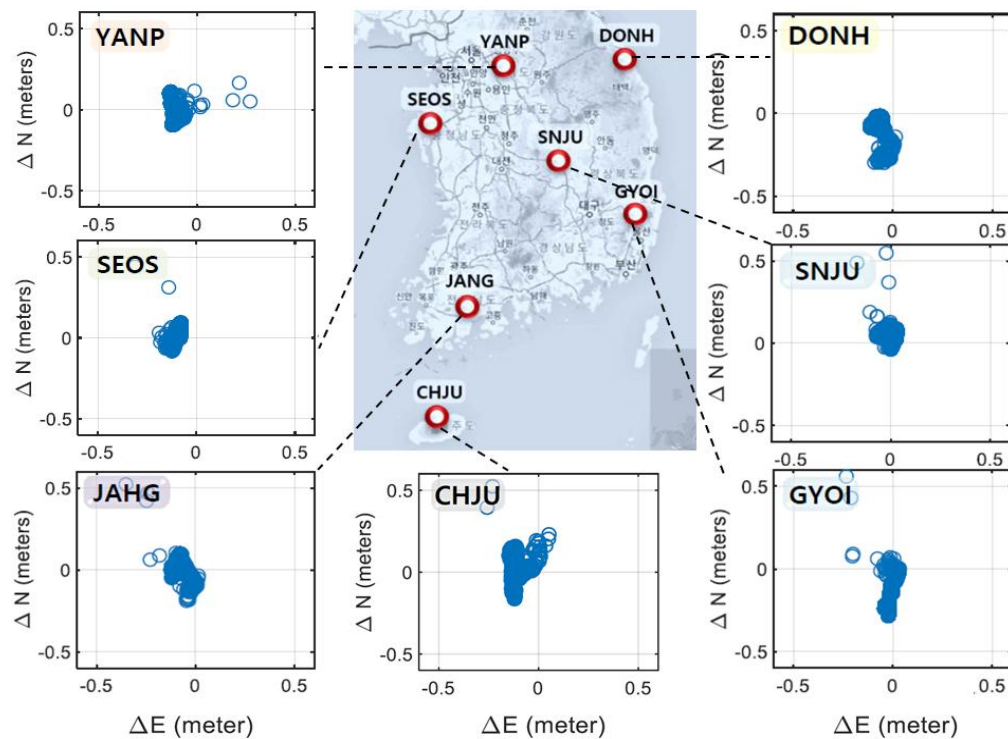
가. 전국 권역에서의 측위 안정성 테스트

전국권역에서의 SSR 측위의 안정성을 확인하기 위해 지역별 국토지리정보원의 위성기준점 데이터를 활용하여 SSR 측위를 수행하고 측위 정확도 및 안정성을 확인하였다. 각 도별로 1곳 또는 2곳을 임의로 선택하였으며, 선택된 위성기준점은 경기도의 양평(YANP), 충청도의 서산(SEOS), 강원도의 동해(DONH), 전라도의 장흥(JANG), 제주도의 제주(CHJU), 경상도의 상주(SNJU)와 경주외동(GYOI)으로 총 7곳이다. 선택된 위성 기준점들의 위치는 <그림 2-16>과 같다.



<그림 2-16> 테스트 지역으로 선택된 위성기준점 7곳

테스트 일자 2020년 9월 2일(DOY 246) 0시~1시(a시간)이며, GIPSY 기반으로 처리한 정밀 좌표를 기준으로 RMSE와 표준편차를 확인하였다. 이 과정에는 GPS, GLONASS, Galileo 3가지의 위성군을 사용하였으며 1주파 SSR 측위를 수행하였다. <그림 2-17>은 각 지역에 대해 확인한 측위 정확도이다.

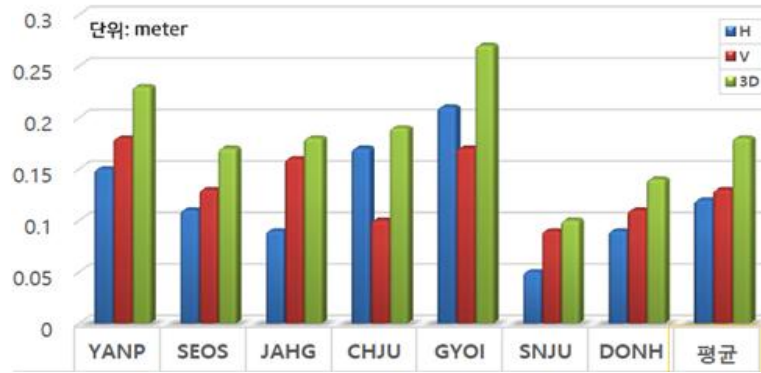


<그림 2-17> 지역별 측위 정확도(수평, RMSE)

수평 오차 그래프에서 수평 오차가 수십 cm 이상인 일부 측위 결과를 확인할 수 있는데, 이는 SSR 측위 알고리즘의 필터 초기화로 인한 결과이다. 위치 해는 일정 시간을 거쳐 기준 좌표로 수렴하게 된다. <그림 2-18>은 지역별 SSR 측위의 수평 및 수직 방향, 3차원에서의 RMSE를 가시적으로 나타내며, <표 2-7>에는 각 RMSE 수치가 정리되어 있다.

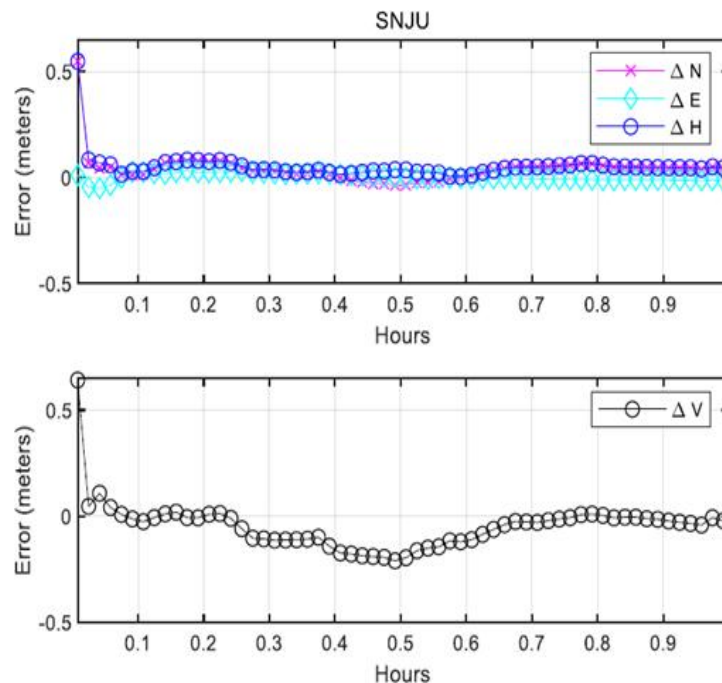
<표 2-7> 지역별 SSR 측위 통계 수치(RMSE)

방향 (단위:meter)	위성 기준점							평균
	YANP	SEOS	JAHG	CHJU	GYOI	SNJU	DONH	
H	0.15	0.11	0.09	0.17	0.21	0.05	0.09	0.12
V	0.18	0.13	0.16	0.10	0.17	0.09	0.11	0.13
3D	0.23	0.17	0.18	0.19	0.27	0.10	0.14	0.18

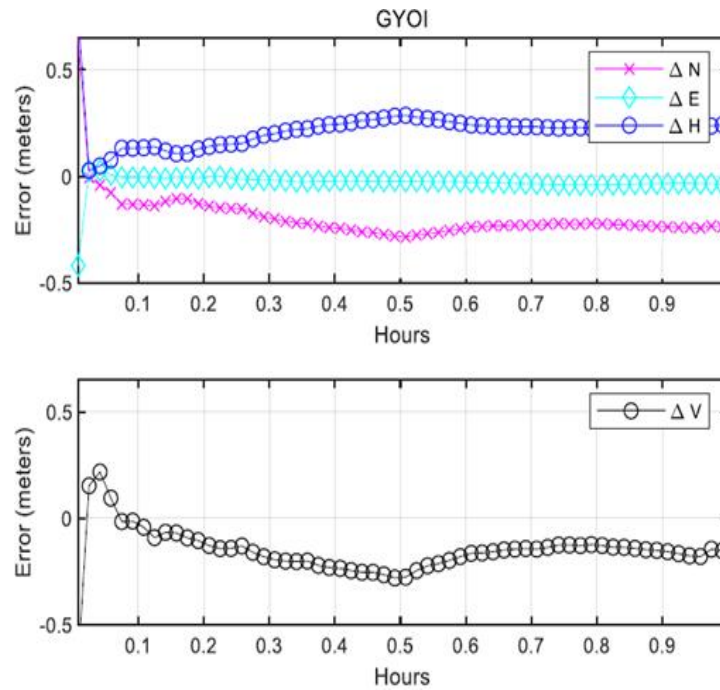


<그림 2-18> 지역별 SSR 측위 통계 그래프(RMSE)

전국 권역 위성기준점에 대해 SSR을 이용한 측위 성능은 기준점에서 평균적으로 수평 0.12m, 수직 0.13m, 3차원 0.18m RMSE 수준을 보였다. 산출된 7곳의 수평/수직 RMSE를 보면, 상주가 0.05/0.09m로 정확도가 가장 높았으며 경주외동이 0.21/0.17m로 정확도가 가장 낮았다. 이 두 곳의 위성기준점에 대한 시계열 결과는 <그림 2-19>와 <그림 2-20>이다. 각 그림의 상단에 위치한 그래프는 수평 오차와 함께 남북과 동서 방향으로의 오차를 보여주며, 하단에 위치한 그래프는 수직 방향 오차를 보여준다.



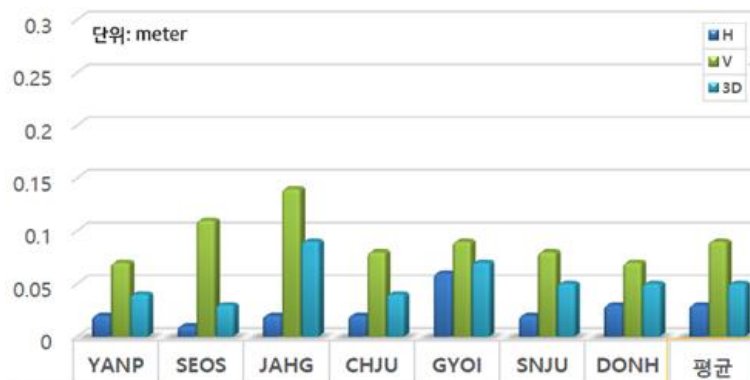
<그림 2-19> 상주-방향 별 시계열 오차 그래프



<그림 2-20> 경주외동-방향 별 시계열 오차 그래프

상주에서 산출된 위치 해는 수평 방향으로 약 0.1시에 기준좌표로 수렴하고 있으며, 수직방향으로 0시에서 약 0.5시까지 약 0.2m 벗어나지만 최종적으로 기준 좌표에 수렴하고 있다. 경주외동에 서의 위치 해는 북쪽 방향과 수직 방향으로 기준좌표에 수렴하지 않았지만, 바이어스가 있는 형태로 정밀하게 산출되고 있음을 볼 수 있다.

<그림 2-21>은 지역별 수행된 측위 오차의 표준편차를 가시적으로 나타내며, <표 2-29>는 표준 편차 수치가 정리되어 있다.



<그림 2-21> 지역별 SSR 측위 통계 그래프(표준편차)

<표 2-8> 지역별 SSR 측위 통계 수치(표준편차)

방향 (단위:meter)	위성 기준점							평균
	YANP	SEOS	JAHG	CHJU	GYOI	SNJU	DONH	
H	0.02	0.01	0.02	0.02	0.06	0.02	0.03	0.03
V	0.07	0.11	0.14	0.08	0.09	0.08	0.07	0.09
3D	0.04	0.03	0.09	0.04	0.07	0.05	0.05	0.05

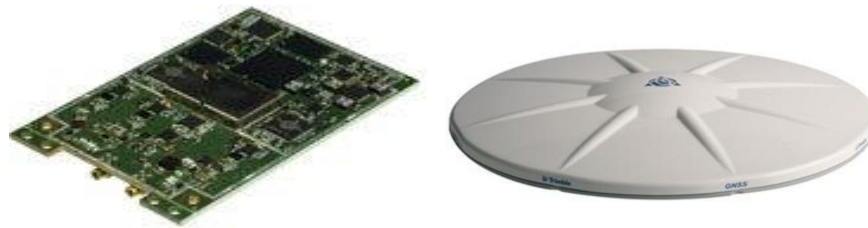
측위 오차의 표준편차는 7곳의 위성 기준점에서 평균적으로 수평 0.03m, 수직 0.09m, 3차원 0.05m 수준을 보였다. 측위 정확도가 가장 우수했던 상주에서의 표준 편차는 수평/수직 방향으로 0.02/0.08m이며, 측위 정확도가 가장 저조했던 경주외동에서의 표준 편차는 수평/수직 방향으로 0.06/0.09m이다. 7곳에서의 표준편차는 전체적으로 RMSE에 비해 낮은 수치인 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 전국권역을 대상으로 한 SSR 측위는 평균적으로 수평/수직 0.12/0.13m RMSE 수준의 정확도 확보가 가능했으며, 경주 외동에서 수평 0.21m, 수직 0.17m로 최대 RMSE 수준을 보였으나 이는 바이어스가 포함된 정밀한 결과임을 확인할 수 있다.

나. 수신 장비별 테스트(2주파/1주파/스마트폰)

본 절에서는 SSR 측위의 수신장비별 성능 비교를 위해 2주파 수신장비, 1주파 수신장비, 스마트폰에 대한 SSR 측위를 수행하였다. 동일한 SSR이라도 측지장비에 따라 그 성능이 다를 수 있으며 특히 저가형의 GNSS 수신장비가 탑재된 스마트폰의 경우, 관측치의 낮은 품질 등으로 높은 측위 정확도를 확보하는 것에 어려움이 따른다.

1) 2주파 수신 장비

본 테스트에 사용한 장비는 Septentrio사의 AsteRx4 수신기와 Trimble사의 TRM57971.00 안테나이다. Geo++사의 'SSR2OBS' 통해 SSR 보정정보를 OSR 형태로 변형하여 2주파 처리를 하였다. 사용한 위성군은 GPS와 GLONASS이다. 테스트 일자는 2020년 9월 4일(DOY 248)이며 인하대학교 4호관 옥상에 설치된 기준점을 대상으로 수행하였다. 정확도 분석을 위한 기준좌표는 GIPSY 6.4 기반의 온라인 정밀 자료처리 서비스인 APPS로부터 취득되었다.



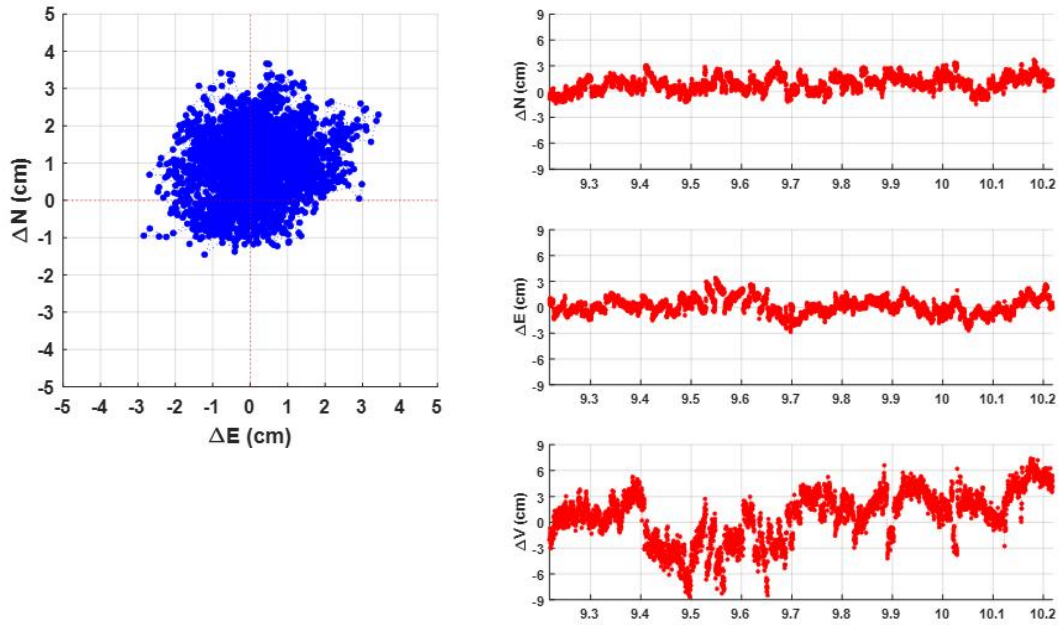
<그림 2-22> 2주파 SSR 측위 테스트 장비(좌: AsteRx4, 우: TRM57971.00)

기선 거리 및 수신기의 정적/동적 상태 설정 기능에 따른 측위 성능 차이를 확인하기 위해 기선거리와 설정 상태를 다르게 하여 각 1시간씩 3회의 정지측위를 수행하였다. 각 테스트 별 측위 시간 및 기선 거리, 설정된 수신기 상태는 <표 2-9>와 같다.

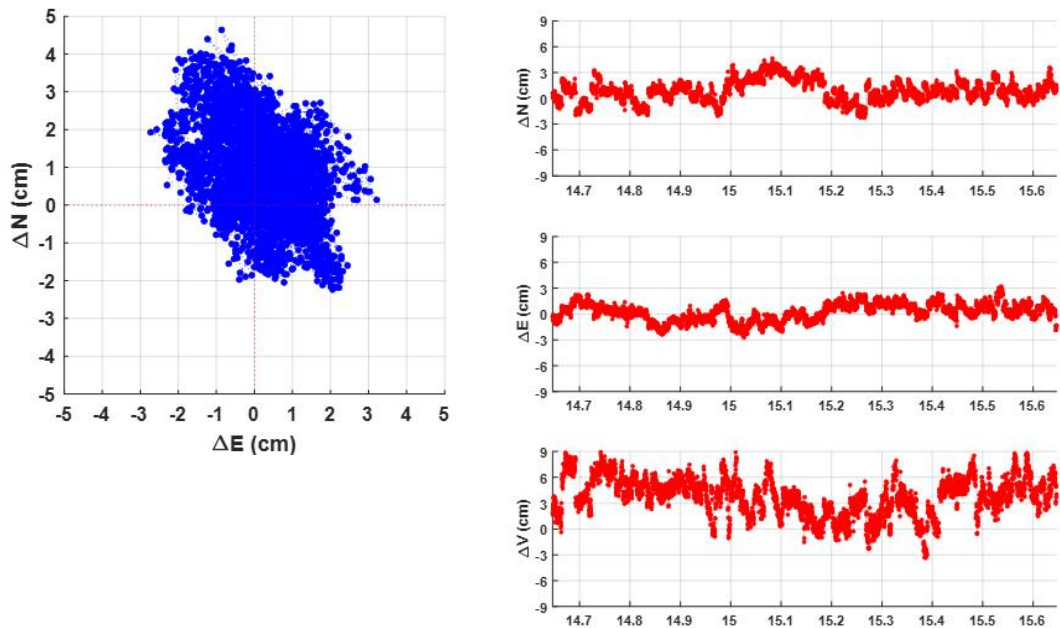
<표 2-9> 2주파 측위 테스트 - 측위 시간 및 기선 거리, 설정된 수신기 상태

테스트 #	측위 시간(UTC)	기선 거리	정적/동적 상태 설정
테스트-1	9.2 ~ 10.2 시	10 km	Automotive
테스트-2	14.65 ~ 15.65 시	10 km	Static
테스트-3	15.90 ~ 16.89 시	20 km	Static

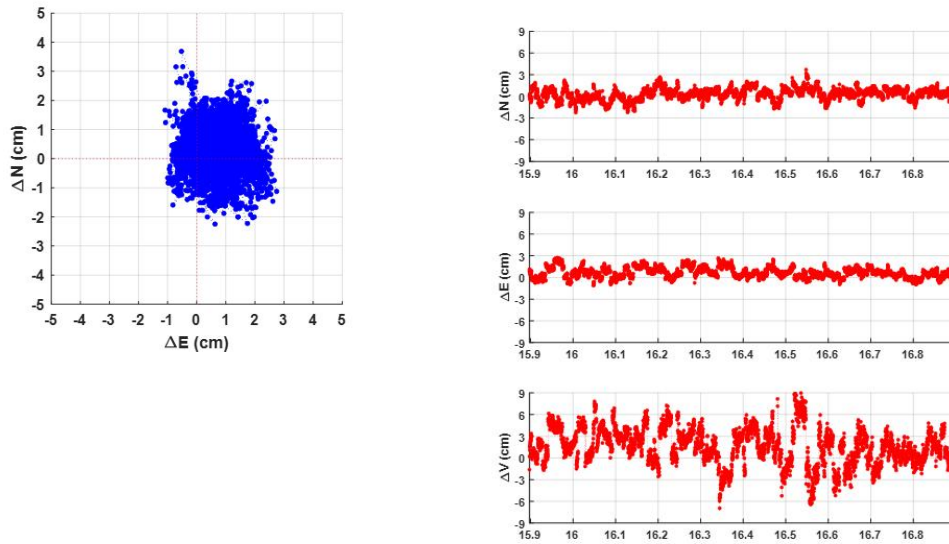
〈그림 2-23〉, 〈그림 2-24〉, 〈그림 2-25〉는 순서대로 테스트-1, 2, 3의 측위 정확도를 나타낸다. 각 그림의 왼쪽 그래프는 수평 정확도이며, 오른쪽 그래프는 위에서 순서대로 남북, 동서, 수직 방향으로의 시계열 오차이다. 각 테스트에 사용된 위성수의 평균과 수렴시간은 〈표 2-10〉와 같다.



〈그림 2-23〉 2주파 SSR 측위 오차(테스트-1)



〈그림 2-24〉 2주파 SSR 측위 오차(테스트-2)



<그림 2-25> 2주파 SSR 측위 오차(테스트-2)

<표 2-10> 2주파 SSR 측위 수렴시간

테스트-#	사용 위성 수(GPS+GLONASS)			수렴 시간	
	최소	최대	평균	SPP → FIX	FLOAT → FIX
테스트-1	9	12	10	1 초	-
테스트-2	9	12	11	2 초	-
테스트-3	9	14	11	3 초	1 초

테스트-1, 2에서 사용된 위성 수는 최소 9개에서 최대 12개로 동일하지만, 테스트-1의 평균 위성 수는 10개이며, 테스트-2의 평균 위성 수는 11개이다. 테스트-3에서는 최소 9개에서 최대 14개까지 위성이 사용되었으며, 평균 11개의 위성이 사용되었다. 기선거리가 10km인 테스트-1과 테스트-2에서는 SPP 모드에서 FIX 모드로 수렴되는데 소요된 시간은 각각 1초와 2초이며, FLOAT 측위 모드 과정을 거치지 않았다. 반면에 기선거리가 20km인 테스트-3 같은 경우, SPP 모드에서 FIX 모드까지 3초가 소요되었으며, 테스트-1, 테스트-2와 달리 1초의 FLOAT 모드 과정을 거쳐 FIX 모드로 수렴되었다. <표 2-11>에는 각 테스트에서 방향 별 산출된 수평/수직/3차원 RMSE 및 기준좌표로의 바이어스가 정리되어 있다.

<표 2-11> 2주파 SSR 측위 정확도 통계치

테스트-# (단위: cm)	RMSE			바이어스			
	H	V	3D	N	E	V	3D
테스트-1	1.6	3.0	3.4	0.9	0.1	0.7	3.0
테스트-2	1.8	4.3	4.7	0.9	0.2	3.7	4.3
테스트-3	1.0	3.0	3.2	0.3	0.7	1.6	2.8

2주파 신호를 이용한 SSR 측위를 수행한 결과, 모든 측위 정확도는 수평 1.8cm 이내, 수직 4.3cm 이내의 수준을 보였다. 3회의 테스트 중, 테스트-3은 수평/수직/3차원에서 1.0/3.0/3.2 cm로 가장 높으며, 테스트-2는 수평/수직/3차원에서 1.8/4.3/4.7로 가장 측위 정확도가 낮다.

2) 1주파 수신 장비

본 테스트에서는 NovAtel사의 PwrPak7 수신기와 Javad사의 GrAnt-G3T 안테나를 사용했다. 위의 두 장비들은 2주파 신호 수신 및 기록이 가능한 장비이나, 테스트에서는 기록된 신호 중 1주파 신호만을 사용하였다.



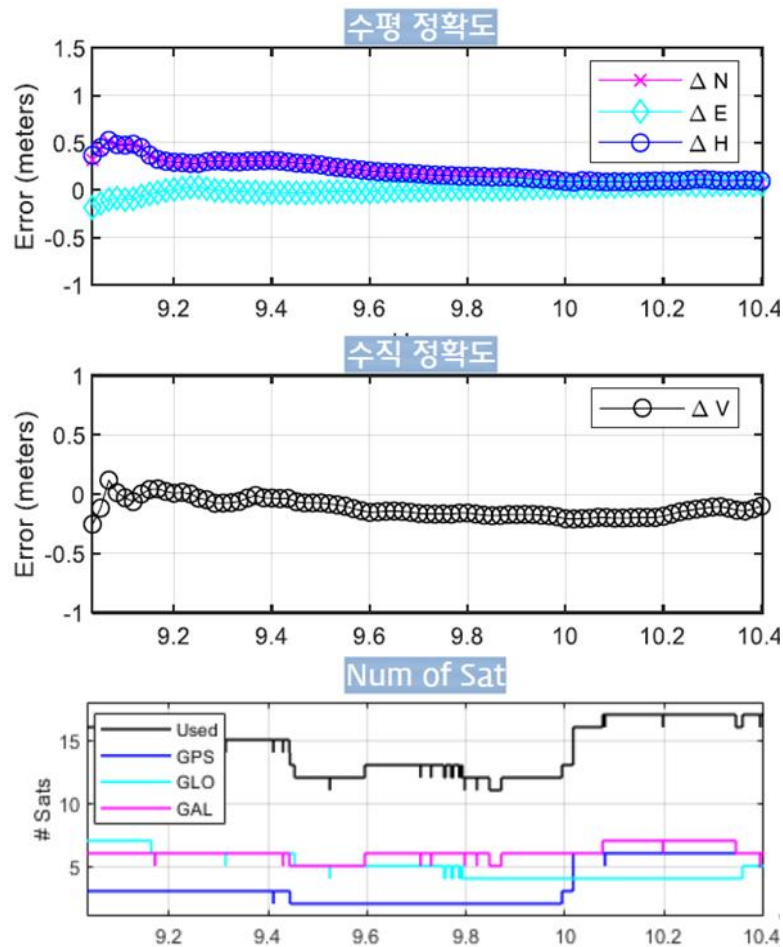
<그림 2-26> 1주파 SSR 측위 테스트 장비(좌: PwrPak7, 우: GrAnt-G3T)

1주파 신호를 이용한 SSR 측위 테스트에서는 2주파 테스트와 달리 테스트의 OSR 형태가 아닌 SSR 보정정보를 사용하였으며, GPS/GLONASS/Galileo 신호를 사용하였다. 테스트 장소 및 일자는 2주파 테스트 조건과 동일하며, 테스트 시간은 UTC 기준 9.03 ~ 10.40시이다.

<그림 2-27>은 1주파 SSR 측위 테스트의 오차 및 사용 위성 수를 나타낸다. 상단의 그래프는 수

평 및 북, 동쪽 방향으로의 오차를 보여주며, 중간에 위치한 그래프는 수직 방향으로의 오차를, 하단의 그래프는 사용된 전체 위성 수와 함께 시스템 별 위성 수를 나타낸다.

추가적으로 1주파 SSR 측위 성능의 비교를 위해 SSR을 적용하지 않은 1주파 측위를 수행하였으며, 그 결과 1주파 SSR 미적용 측위 정확도는 수평/수직 방향으로 2.72/5.33m의 수준을 보였다. 1주파를 이용한 SSR 측위 정확도는 수평/수직 방향으로 0.23/0.14m 수준을 보였으며, SSR 미적용 측위 정확도보다 수평 방향으로 2.49m, 수직 방향으로 5.19m 향상되었다.



<그림 2-27> 1주파 SSR 측위 오차 및 사용 위성 수

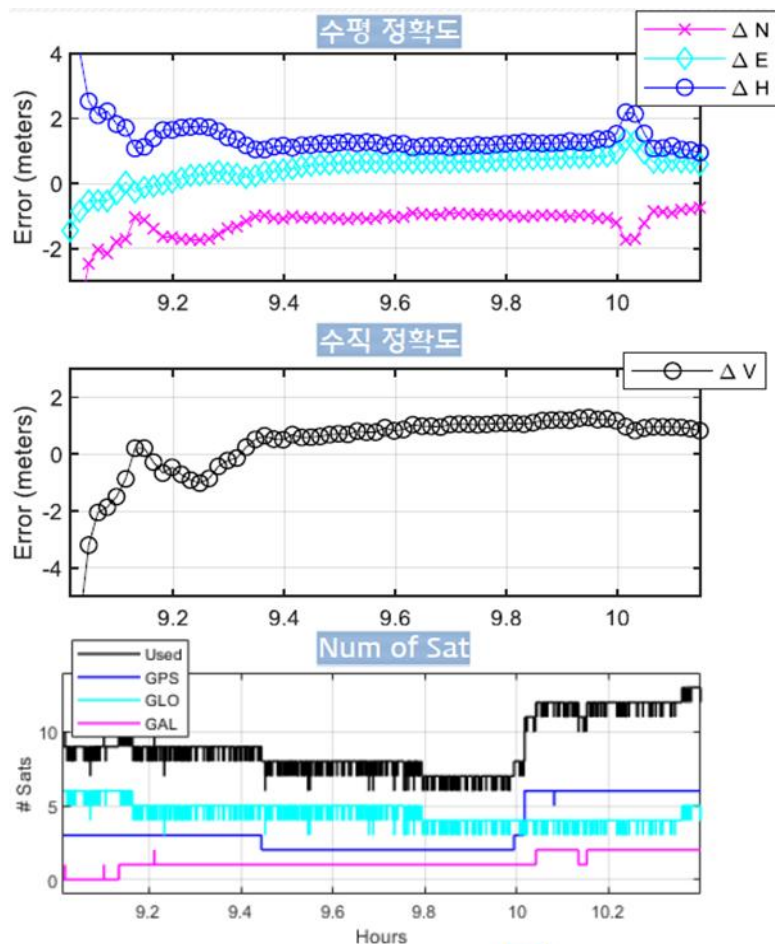
3) 스마트 폰

스마트폰의 측위 성능 테스트에서는 Xiaomi사의 MI8 모델을 사용하였다. MI8은 Snapdragon 845 칩이 탑재되어 있으며, 해당 칩은 GPS/GLONASS/Galileo 뿐만 아니라 Beidou/QZSS/SBAS 신호 수신이 가능하다. 스마트폰 SSR 측위 테스트에는 1주파 테스트와 동일하게 GPS/GLONASS/Galileo의 1주파 신호가 사용되었다. 테스트 장소 및 일자는 앞 선 테스트

와 동일하며 테스트 시간은 UTC 기준 9.03 ~ 10.15시이다. <그림 2-29>는 스마트폰을 이용한 SSR 측위의 성분별 오차 및 사용 위성 수를 나타낸다. 1주파 테스트와 마찬가지로 SSR을 적용하지 않은 스마트폰 측위를 수행하였으며, 그 정확도는 수평/수직 방향으로 3.48./6.57m 수준을 보였다.



<그림 2-28> 스마트폰 SSR 측위 테스트 장비(M8)



<그림 2-29> 스마트폰 SSR 측위 오차 및 사용 위성 수

스마트폰을 이용한 SSR 측위를 수행한 결과, 측위 정확도는 수평 방향으로 1.44m, 수직 방향으로 1.18m 수준을 보였으며, SSR 미적용 측위 정확도보다 수평 방향으로 2.04m, 수직 방향으로 5.39m 향상되었다.

1주파와 스마트폰 측위에 대해 SSR 적용에 따른 측위 정확도의 향상 정도를 <표 2-12>에 정리하였다. SSR을 적용하지 않은 경우 1주파와 스마트폰의 측위 정확도는 유사한 수준이다. 그러나 SSR을 적용한 경우 1주파 측지장비는 수평방향 ~23cm, 스마트폰은 ~1.44m 수준으로 1주파 측지장비가 측위 정확도 향상 정도가 매우 높았으며 이는 스마트폰 관측치의 낮은 품질로 인한 한계인 것으로 판단된다.

<표 2-12> SSR 적용에 따른 측위 정확도

측지장비 (단위:meter)	SSR 미적용		SSR 적용	
	수평	수직	수평	수직
1주파 측위	2.49	5.19	0.23	0.14
스마트폰	2.04	5.39	1.44	1.18

다. 도심지 환경에서의 SSR 및 기존 OSR 측위 성능 비교

본 절에서는 도심지 환경에서의 SSR 보정정보를 사용한 측위 성능과 OSR 보정정보를 사용한 측위 성능을 비교하였다. 도심지는 고층 빌딩이나 수목 등이 다수 위치하고 있기 때문에, 개활지에 비해 위성 가시성이 낮고 다중 경로 오차가 발생할 확률이 매우 높다. 이와 같은 도심지 조건을 고려하여 인천 송도 내 2곳의 테스트 장소를 선정하였으며, UTC 기준 2020년 9월 4일(DOY 248)에 각 장소에서 SSR 및 OSR 측위를 동시에 1회씩 수행하였다. <표 2-13>에는 자세한 테스트 장소와 측위 시간이 정리되어 있다.

<표 2-13> 도심지 내 SSR, OSR 측위 성능 테스트 장소

테스트-#	주행 구간	시간 (UTC)
테스트-1	인천 연수구 인하대학교 산학 협력관	6.64 ~ 6.97 시
테스트-2	인천 연수구 송도14공영주차장	8.99 ~ 9.16 시

도심지 내 SSR 및 OSR 측위 성능 테스트는 정지 상태에서의 측위로 수행되었다. OSR 측위는 Septentrio사의 PolaRx3e Pro 수신기와 국토지리정보원에서 운영하는 VRS 서비스(GPS/GLONASS 2주파)를 사용하였다.



<그림 2-30> Septentrio PolaRx3e Pro

SSR 측위는 PwrPak7 수신기에서 획득한 GPS/GLONASS/Galileo 1주파 데이터를 사용하였다. 안테나의 모델 차이로 인한 측위 성능의 차이를 배제시키기 위해 Javad의 GrAnt-G3T 안테나에 분배기를 연결하여 각 수신기가 동일한 신호를 사용하도록 하였다. 측위 성능을 확인하기 위한

기준좌표는 국토지리정보원의 VRS 서비스로 수렴된 좌표들을 평균하여 사용하였다.

1) 테스트-1

테스트-1 장소에는 4~5층 높이의 건물들이 위치하고 있어, 다중 경로 오차가 다수 발생하는 환경이다. <그림 2-31>은 테스트-1의 관측 환경을 보여준다.

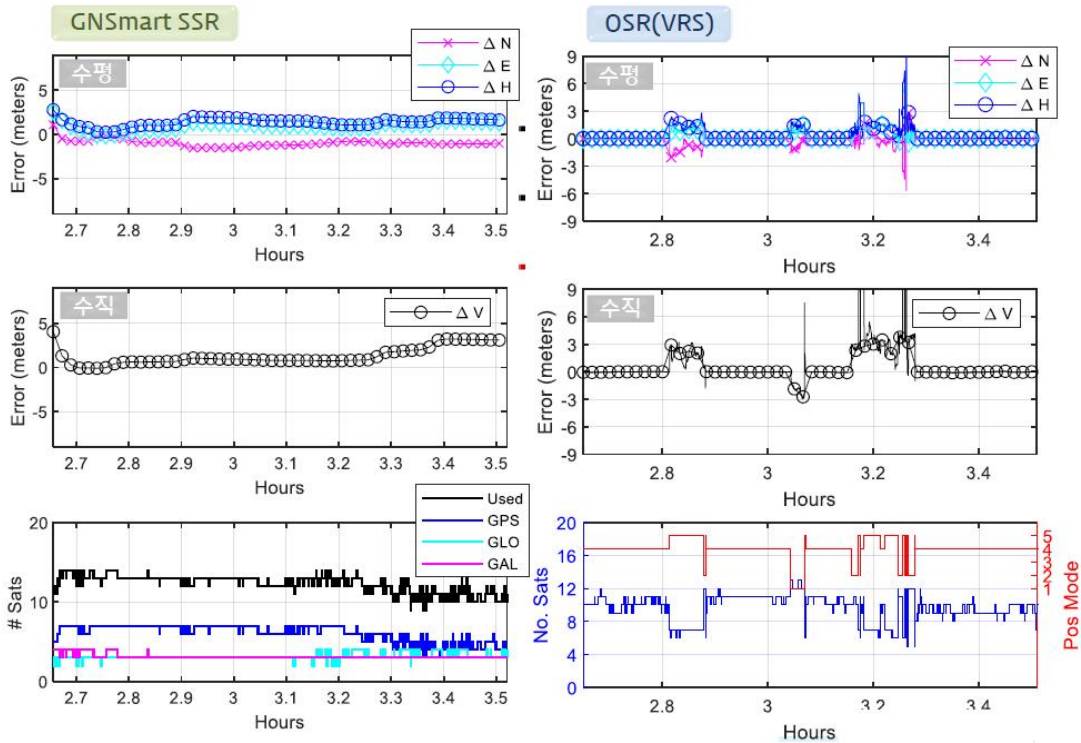


<그림 2-31> 도심지 내 측위 성능 테스트 관측 환경(테스트-1)

<그림 2-32>는 관측 환경-1에서 수행된 SSR 측위와 OSR 측위의 성분 별 오차 및 사용 위성 수를 나타낸다. 측위 오차와 관련된 통계치는 <표 2-14>에 정리하였다. <그림 2-32> 중 OSR의 PosMode 그래프는 NMEA에 기록된 측위 모드 지시자를 의미한다. PosMode 수치가 의미하는 측위 모드는 <표 2-15>에 설명되어 있다.

<표 2-14> 도심지 내 SSR, OSR 측위 오차 통계(관측 환경-1)

측위 방법 (단위: meter)	RMSE		표준 편차		최대치	
	ΔH	ΔV	ΔH	ΔV	ΔH	ΔV
SSR	1.5	1.6	0.45	1.0	2.8	4.1
OSR(VRS)	1.1	1.7	1.0	1.7	9.4	16.4



<그림 2-32> 도심지 내 SSR, OSR 측위 결과(관측 환경-1)

<표 2-15> PosMode에 따른 측위모드

PosMode 수치	측위 모드
0	Fix not valid
1	SPP
2	DGPS
4	RTK FIX
5	RTK FLOAT

OSR 측위에서는 최대 12개의 위성까지 사용되었지만, SSR 측위는 OSR 측위와 달리 3개의 위성 군을 사용하기 때문에 최대 14개의 위성까지 사용하는 것을 볼 수 있다. SSR 측위 RMSE 같은 경우, 수평 방향으로 OSR 측위 RMSE에 비해 0.4m 높으나 수직 방향으로 0.1m 낮다. 반면에 SSR 측위의 표준 편차는 OSR 측위의 표준편차에 비해 수평/ 수직 방향으로 0.55/0.70m 낮아 더 정밀한 것을 볼 수 있다. 또한 SSR 측위의 수평/수직 최대 오차는 2.8/4.1m까지 증가했으며, OSR 측위의 최대 수평/수직 오차는 9.4/16.4m까지 증가하였다. 이를 보아, 도심지 내 측위 안정성 방 면에서 SSR 측위가 OSR 측위에 비해 더 우수하다고 볼 수 있다.

2) 테스트-2

테스트-2의 측위 장소 같은 경우, 주변으로 15층 이상의 고층 빌딩들이 다수 위치하고 있어 위성 가시성이 매우 낮은 환경이다. <그림 2-33>은 테스트-2 측위 장소의 관측 환경을 보여준다.

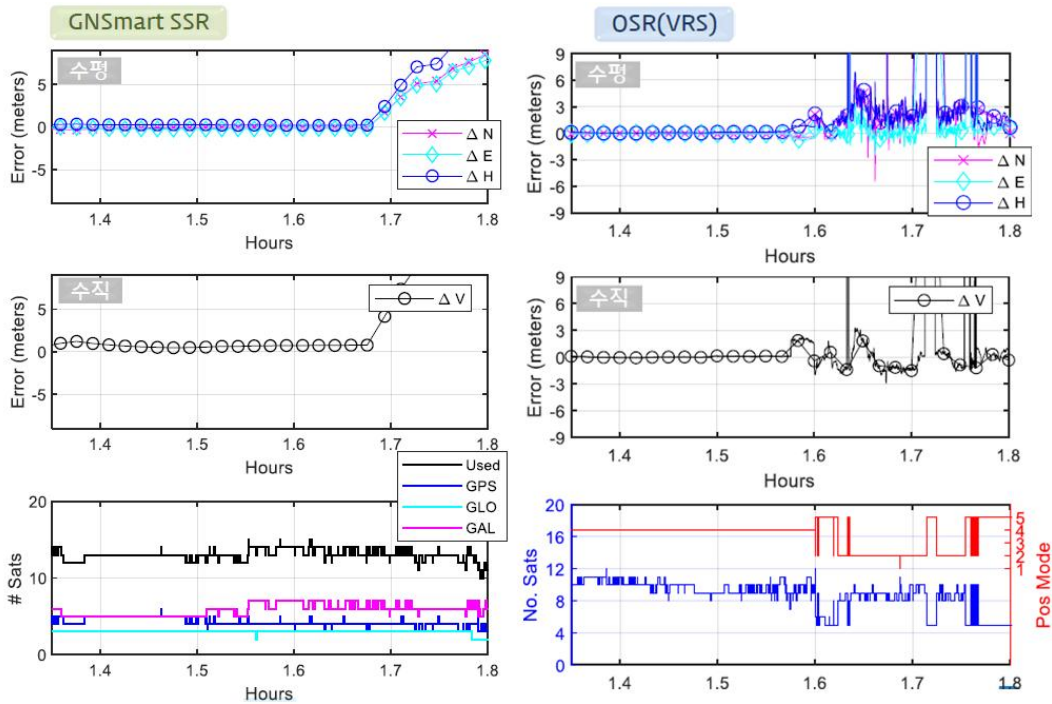


<그림 2-33> 도심지 내 측위 성능 테스트 관측 환경(테스트-2)

<그림 2-34>는 테스트-2에서 수행된 SSR 측위와 OSR 측위의 성분 별 오차 및 사용 위성 수를 나타낸다. 측위 오차와 관련된 통계치는 <표 2-16>에 정리되어 있다.

<표 2-16> 도심지 내 SSR, OSR 측위 오차(관측 환경-2, 단위: m)

측위 방법 (단위: meter)	RMSE		표준 편차		최대치	
	H	V	H	V	H	V
SSR	2.9	4.2	0.3	0.7	9.5	13.3
OSR(VRS)	11.1	5.2	10.9	5.1	90.3	45.5



<그림 2-34> 도심지 내 SSR, OSR 측위 결과(관측 환경-2)

테스트-2같은 경우, SSR 측위의 모든 오차 통계치가 OSR 보다 준수하다. SSR 측위의 RMSE는 OSR 측위의 RMSE에 비해 수평/수직 방향으로 8.2/1.0 m 낮았으며, 표준 편차 같은 경우 OSR 측위에 비해 10.6/4.4 m 낮은 결과를 보인다. 특히 SSR 측위의 수평/수직 오차의 최대치는 9.5/13.3 m인 반면에, OSR의 수평/수직 오차는 최대 90.3/45.5 m까지 급증하였다. 이와 같은 OSR 측위 오차의 급증은 1.6시 이후 사용 위성 수가 최소 가시 위성 수인 5까지 감소하여 발생한 것으로 보인다.

결과적으로 도심지 내 SSR 측위 정확도는 OSR 측위 정확도에 비해 준수한 것으로 보이며, 측위 안정성 방면에서도 3개의 위성 군을 사용하는 SSR 측위가 OSR 측위에 비해 우수하다고 볼 수 있다.

라. 이동 측위 분야 활용 가능성 확인

본 절에서는 차량 주행 환경에서 SSR, VRS 측위를 수행한 후, 그 결과 비교를 통해 SSR 보정정보의 이동 측위 분야 활용 가능성을 확인하였다. 일반적으로 국토지리원의 VRS로 수렴된 좌표는 관측 환경과 주변 기준국 망의 배치에 따라 수cm 이내의 측위 정확도를 보인다. 그러므로 본 테스트에서는 개활지의 주행 환경에서 동시에 VRS 측위 및 SSR 측위를 수행 한 후, 그 성능 비교를 통해 이동 환경에서의 SSR의 활용 가능성을 간접적으로 평가하였다. 차량 주행 테스트는 2020년 8월 19일(DOY 232)에 송도에서 총 2회 수행되었으며, 주행 구간 및 시간은 <표 2-17>에 정리하였다.

<표 2-17> 이동 측위 테스트 구간 및 시간

테스트-#	주행 구간	주행 거리	시간(UTC)
테스트-1	인천신항대로 송도5교 ~인천신항교 구간	약 10km (5.0km 1회 왕복)	6.64 ~ 6.97 시
테스트-2	컨벤시아대로 400번길 ~아카데미로271번길	약 4km (1.9km 1회 왕복)	8.99 ~ 9.16 시

VRS 측위가 SSR 측위 성능의 기준이 되기 때문에, VRS 측위가 정밀하게 산출되는 FIX 구간에 대해서만 SSR 측위와 VRS 측위의 비교를 수행하였다. VRS 측위에는 GPS와 GLONASS의 2주파 신호가 사용되었으며, SSR 측위에는 GPS와 GLONASS의 1주파 신호가 사용되었다. VRS 측위는 PolaRx3e Pro 수신기를 이용해 수행되었으며, SSR 측위를 위한 관측 데이터는 1주파 수신기인 JAVAD사의 Alpha를 사용하여 취득되었다. 안테나 모델 차이로 인한 측위 성능 차이를 배제시키기 위해, VRS 측위 및 SSR 측위는 하나의 안테나로부터 분배된 동일한 신호를 사용하였다. 안테나는 GrAnt-G3T 모델을 사용하였다. 각 테스트에서는 위치해 추정 필터의 초기화를 위해 약 5~10 분가량 정지 상태에서 관측 데이터를 취득한 후, 주행 측위를 시작하였다.



<그림 2-35> JAVAD Alpha

1) 테스트-1

〈그림 2-36〉은 테스트-1의 주행 구간을 나타낸다. 주행 측위는 북동쪽에서 시작하여 1-2-3의 경로를 거쳐 다시 시작점으로 돌아오는 직선 구간의 도로를 대상으로 수행되었다.



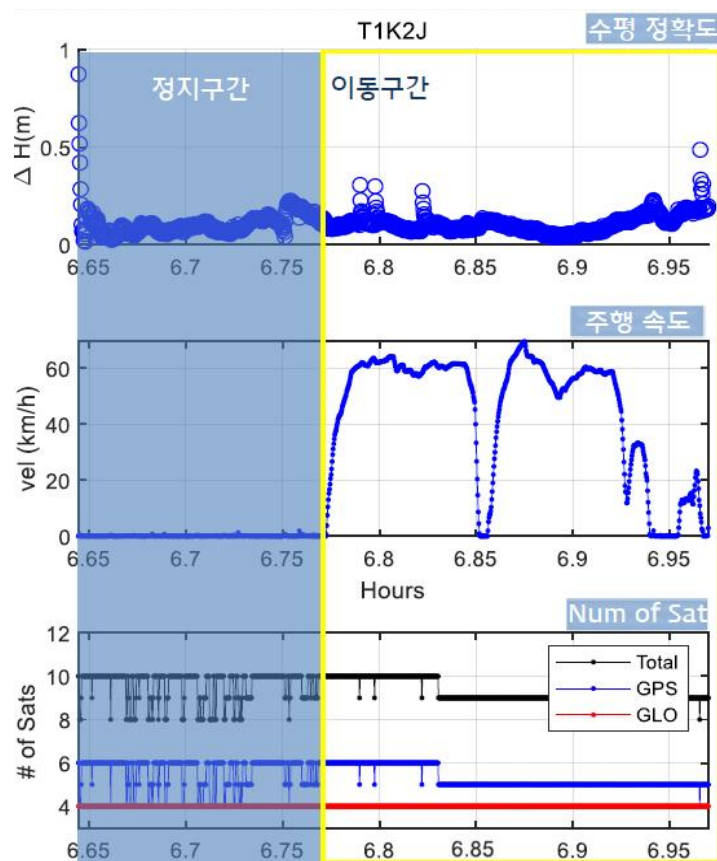
〈그림 2-36〉 주행 구간(테스트-2)

주행 구간의 남동 방향으로는 바다, 북동 방향으로는 갯벌, 혹은 갈대밭이 위치하고 있다. 모든 주행 구간의 인근에는 건물이 없지만, 인천신항으로 가는 대형 트레일러 차량들의 통행이 많은 편이다. 〈그림 2-37〉은 테스트-1의 관측 환경을 보여준다.



<그림 2-37> 주행 구간의 관측 환경(테스트-1)

테스트-1의 측위 결과는 <그림 2-38>과 같으며 상단에 위치한 그래프는 VRS를 기준으로 한 SSR 측위의 수평 오차, 중간 그래프는 주행 속도, 하단 그래프 사용된 위성 수를 나타낸다.



<그림 2-38> 차량 주행 환경에서의 SSR 측위 결과 (테스트-1)

이동 구간에서 최대 주행 속도는 약 70km/h이며, 약 6.85시의 속도는 유턴으로 인해 0km/h로 감소하였다. 이동 구간에서 사용된 위성은 최소 9개에서 최대 10개까지 사용 되었다. 이동 구간 내에서 VRS 대비 SSR 측위 RMSE는 수평/수직 방향으로 0.11/0.45m 수준을 보였다.

2) 테스트-2

〈그림 2-39〉는 테스트-2의 주행 구간을 나타낸다. 주행 측위는 남동쪽에서 시작하여 1-2-3의 경로를 거쳐 다시 시작점으로 돌아오며 수행되었다.

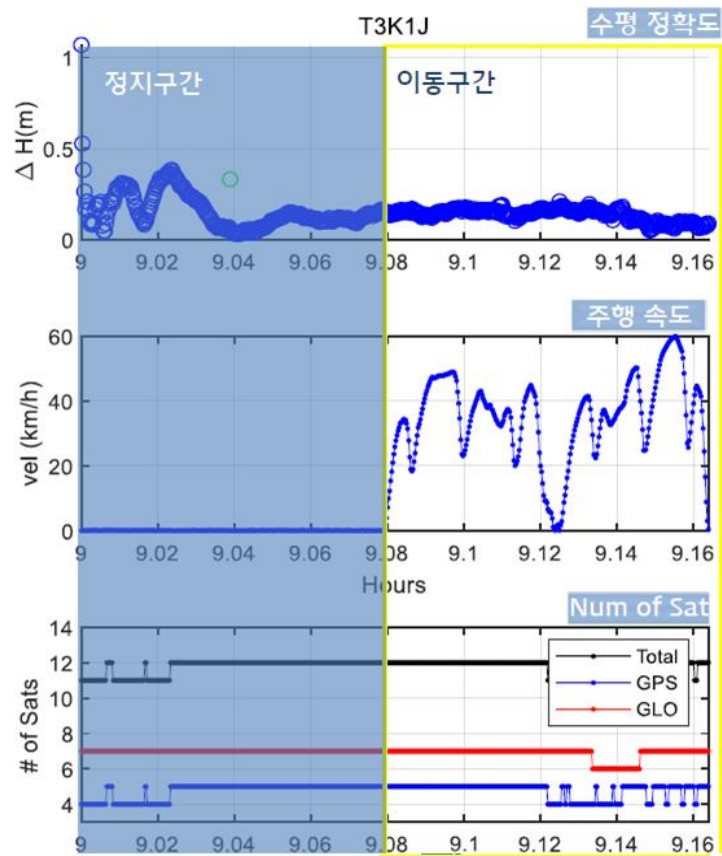


〈그림 2-39〉 주행 구간(테스트-2)

1,3 구간의 남서 방향으로는 바다, 북동 방향으로는 가로수가 위치하고 있으며, 2 구간에서는 북서, 남동 방향으로 가로수가 위치하고 있다. 주행 구간 인근에는 건물이 없고 통행 차량이 적어 위성 가시성이 좋은 편이다. 〈그림 2-40〉은 테스트-2의 관측 환경을 보여주며, 〈그림 2-41〉은 주행 측위 결과를 보여준다.



<그림 2-40> 주행 구간의 관측 환경(테스트-2)



<그림 2-41> 차량 주행 환경에서의 SSR 측위 결과(테스트-2)

이동 구간에서 최대 주행 속도는 약 60km/h이며, 약 9.12시의 속도는 유턴으로 인해 0km/h로 감소하였다. 또한 주행 속도의 급변 구간을 다수 확인할 수 있는데, 이는 주행 구간에 위치한 과속

방지턱 구간과 동일하다. 이동 구간에서 사용된 위성 수는 12개이며, 변동 없이 안정적으로 확보되는 것을 볼 수 있다. 이동 구간 내에서 VRS 대비 SSR 측위 RMSE는 수평/수직 방향으로 0.15/0.46m 수준을 보였다.

두 테스트의 결과를 통해, 주행 측위 환경에서 SSR 측위는 VRS 측위를 기준으로 수평 방향 0.11~0.15m 수준의 정확도를 보였으며, 수직 방향 0.45~0.46m 수준의 정확도를 보였다. 협력 자율주행, 군집 주행 등 발전된 자율주행기술을 적용하기 위해선 0.1~0.5m 이내의 측위 정확도가 요구되는 것을 고려한다면, 이동 측위 환경에서의 SSR 보정정보 활용은 충분히 가능할 것으로 보인다.

3. 국토지리정보원 SSR과 QZSS CLAS의 측위 성능 비교

본 절에서는 국토지리정보원의 SSR 서비스 성능과 일본의 SSR 서비스인 CLAS(Centimeter-Level Augmentation Service) 성능을 비교하였다. 일본전역을 대상으로 하는 CLAS 서비스는 2018년 1월에 시작되었으며, QZSS의 L6 밴드를 통해 방송되고 있다. CLAS 서비스는 Compact SSR 포맷을 이용하여 SSR 보정정보를 제공하고 있으며, Compact SSR 포맷에 대한 자세한 설명은 4장 1절에서 다룬다.

SSR 측위 성능의 비교를 위해 각 서비스 대상 지역에서 SSR 측위를 수행하고 산출좌표의 정확도 확인하였다. SSR 측위는 각 서비스 대상 지역 내 위치한 위성 기준점에서 수행되었으며, 위성 기준점은 <그림 2-42>와 같이 각 서비스 지역 내 3곳씩 선정되었다.



<그림 2-42> 한국 및 일본 내 선정된 위성 기준점의 위치

각 위성 기준점은 관측환경을 고려하여 총 6곳이 선정되었다. 선정된 한국 지역 기준점은 국토지리정보원에서 상시 관측소로 운영 중인 YANP(양평), SEOS(서산), SUWN(수원)이며, 선정된 일본 지역 기준점은 IGS(International GNSS Service)에서 상시 관측소로 운영 중인 STK2(신토츠키와), ISHI(이시오카), TSK2(츠크바)이다. 각 위성 기준점의 관측 환경은 <그림 2-43>을 통해 확인할 수 있다.



YANP



STK2



SUWN



ISHI



SEOS



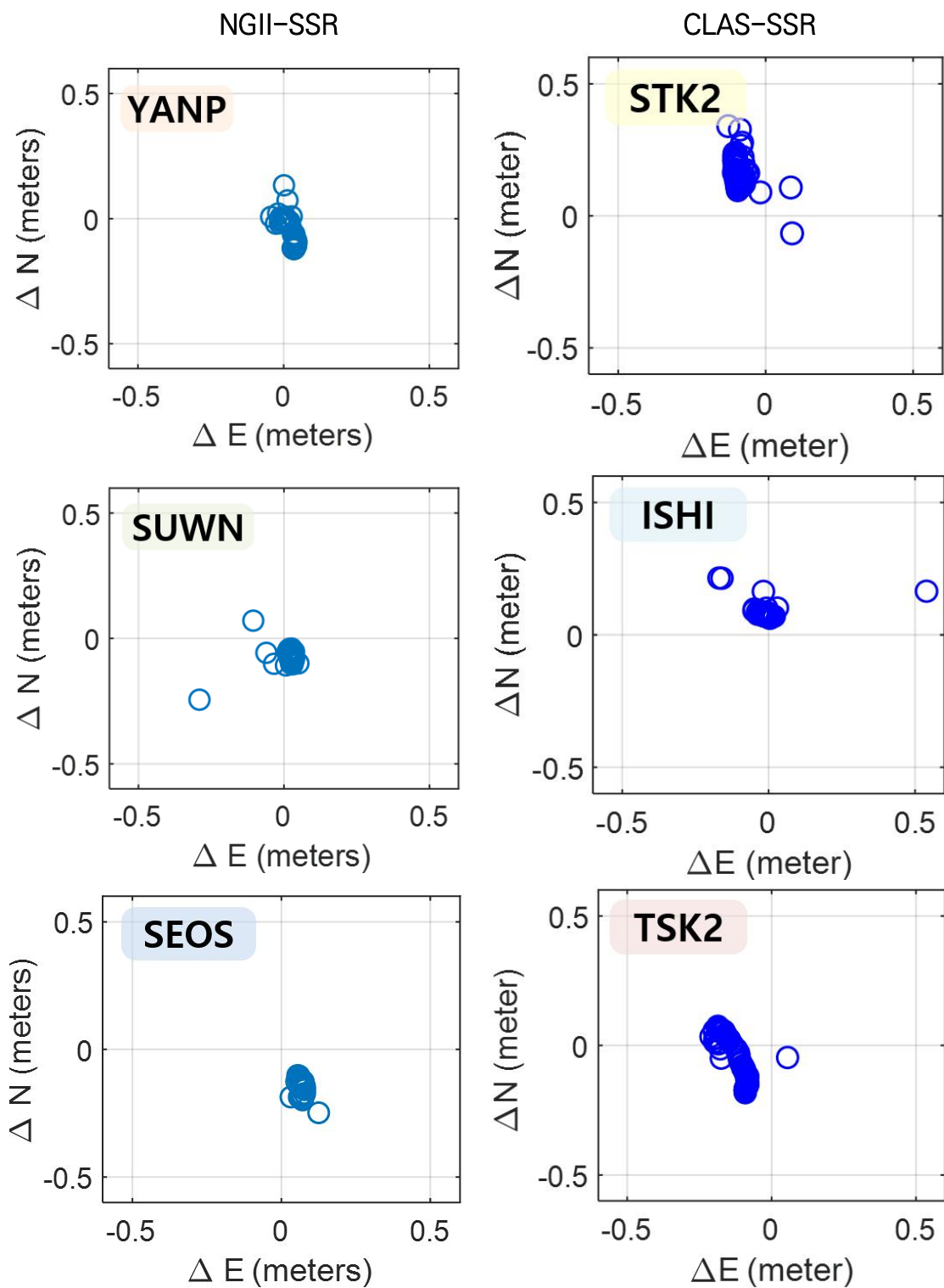
TSK2

<그림 2-43> 선정된 한국 및 일본 위성 기준점 관측 환경(좌 : 한국, 우 : 일본)

각 SSR 측위는 아카이브 데이터를 이용한 정지 측위로 수행되었다. 한국에 위치한 기준점에서의 관측 데이터는 국토지리정보원에서 운영 중인 국토정보플랫폼으로부터 취득되었으며, 일본에 위치한 기준점의 관측 데이터는 CDDIS(Crustal Dynamics Data Information System)에서 운영 중인 FTP(File Transfer Protocol) 서버로부터 취득하였다. CLAS 서비스의 측위 성능 확인을 위해 Compact SSR 메시지의 기록 형식 및 구조, 보정정보의 특징 등 다양한 분석을 수행하였으며 분석한 내용을 기반으로 측위 알고리즘을 구현하였다. CLAS의 SSR 보정정보 데이터는 CLAS 아

<그림 2-44> CLAS 아카이브 웹페이지
(<http://sys.qzss.go.jp/dod/en/archives/clas.html>)

NGII	CLAS
------	------



<그림 2-45> SSR 측위 결과
(수평오차, 좌 : 국토지리정보원 SSR, 우 : 일본 CLAS SSR)

국토지리정보원 SSR을 국내 위성기준점에 적용한 경우, RMSE 기준으로 수평과 수직 방향의 정확도는 평균 0.11m, 0.13m이다. 각 기준점별로 살펴보면 YANP는 0.08/0.16m, SUWN은 0.08/0.18m, SEOS은 0.16/0.07m이다. CLAS SSR을 일본 위성기준점에 적용한 경우, RMSE 기준으로 수평과 수직 방향의 정확도는 평균 0.15m, 0.22m이다. 각 기준점별로 살펴보면 STK2는 0.17/0.25m, ISHI는 0.11/0.18m, TSK2는 0.17/0.24m이다. CLAS SSR과 국토지리정보원 SSR을 적용한 각 기준점의 결과를 비교해보면, CLAS SSR은 ISHI, 국토지리정보원 SSR은 YANP에서 측위 성능이 가장 우수하였으나 수치적으로는 YANP이 ISHI보다 정확도가 더 높았다. 전체 평균을 살펴보아도 국토지리정보원 SSR이 CLAS SSR에 비해 향상된 결과를 보이는 것을 확인할 수 있으며 이를 통해 개선된 관측망을 이용하여 생성되는 국토지리정보원 SSR은 CLAS SSR과 동등하거나 혹은 그 이상의 성능을 보이는 것을 확인하였다.

제3장

SSR 보정정보 품질평가 지표 선정 및 개선된 SSR 서비스의 품질검사

-
1. 항법 위성군별, 오차성분별 SSR 보정정보의
품질평가 지표 선정 및 품질검사
 2. SSR 보정정보의 품질관리를 위한 RTCM 메시지 수집·저장, 디코딩,
통계산출 기능 구현

SSR 보정정보 품질평가 지표 선정 및 개선된 SSR 서비스의 품질검사

1. 항법 위성군별, 오차성분별 SSR 보정정보의 품질평가 지표 선정 및 품질검사

SSR 보정정보의 품질 평가를 위해 각 보정정보별 품질 분석을 수행하였다. 위성 궤도 보정정보의 분석으로 항법 위성군별(GPS, GLONASS, Galileo) 정밀궤도력과 비교하는 과정을 수행하였다. 이온층 보정정보 분석의 경우, 전 지구에 대해 격자정보로 제공하는 GIM(Global Ionosphere Model)을 기준으로 보정정보를 비교하였으며 대류권 보정정보의 경우, IGS의 상시관측소에 대해 제공하는 ZPD(Zenith Path Delay)를 기준으로 비교하였다. IGS에서 제공하는 정밀궤도력 및 GIM, ZPD의 경우, 전 세계에 분포하는 IGS 상시 관측소의 데이터를 기반으로 2~3주의 생성기간을 거쳐 제공된다. 그러나 국토지리정보원 SSR 보정정보의 경우, 국내 30개소 위성기준점에서 관측되는 데이터를 기반으로 실시간 생성되고 있다. 이러한 이유로 SSR은 보정정보의 총량은 참값에 가깝지만 각 개별 오차요소는 기준값과 비교하여 바이어스가 존재한다. 따라서 IGS 보정정보와 비교하는 경우, 수치적으로는 오히려 정확도가 낮아지는 경우도 발생하며 따라서 수치 비교보다 전체적인 보정 값의 흐름이 비슷한 경향으로 나타나는가를 확인하는 것이 필요하다.

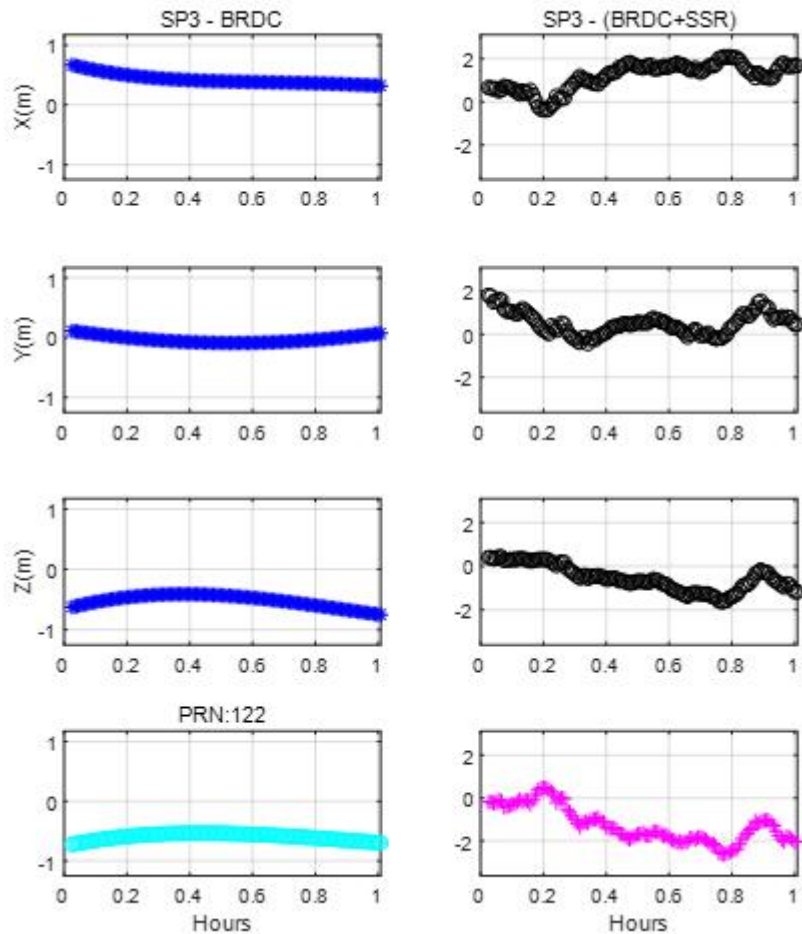
가. 위성단 보정정보의 항법 위성군별 특징 분석

위성궤도 보정정보의 특징 분석을 위해 IGS에서 제공하는 정밀궤도력(.SP3)을 기준으로 SSR 보정정보 적용 전과 후를 비교하였다. SP3 파일에서 제공하는 위성 위치의 경우, 위성의 위상 중심의 값으로 제공된다. 그러나 방송궤도력의 위성 위치는 위성의 질량중심으로 제공되며 위성단 보정정보의 비교 분석을 위해 정밀궤도력의 위상 중심 위치를 질량 중심의 위치로 보정하는 과정을 우선 수행하였다.

정밀궤도력은 ftp.gfz-potsdam.de에서 제공하는 .SP3 파일을 이용하였다. 해당 ftp에서는 1일 단위로 모든 위성군에 대한 정밀궤도력을 하나의 파일로 제공하고 있다. 테스트 일자 2020년 8월 12일 (DOY225), a시간(UTC, 00:00:00~00:59:59)이다.

1) GPS 위성궤도 비교

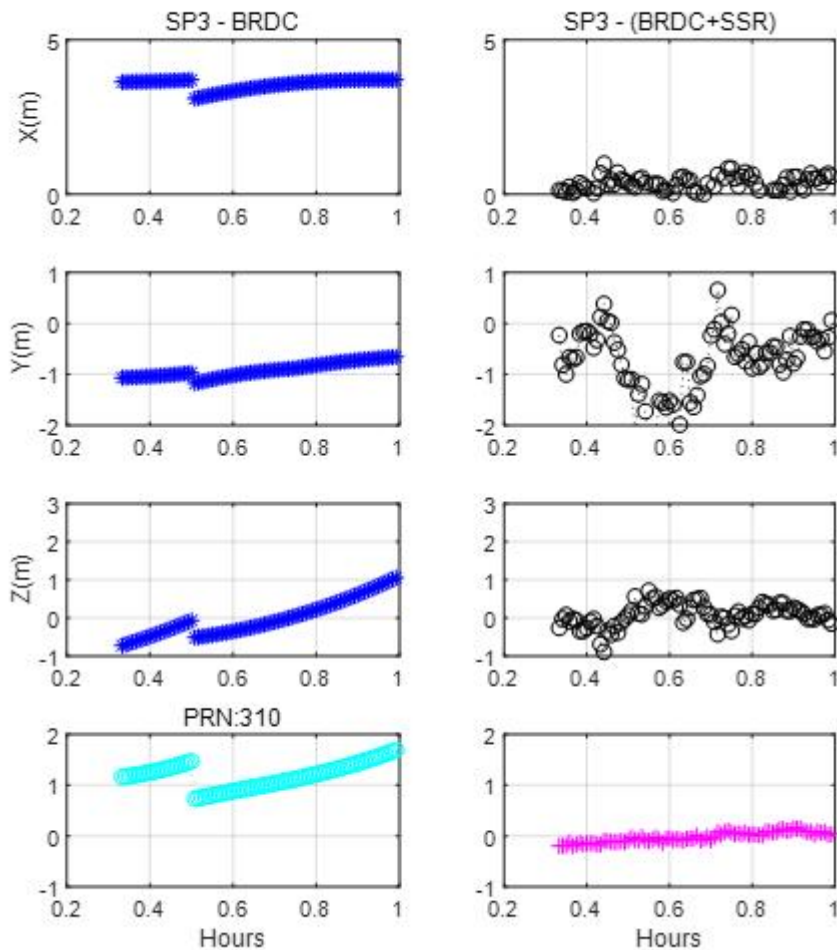
GPS 방송궤도력은 2시간 간격으로 갱신이 되며, 테스트 데이터 분석에는 IOD 갱신에 따른 특징은 확인할 수 없었다. <그림 3-1>은 GPS 위성 11번에 대한 SSR 적용 전과 후의 정밀궤도력과 비교한 결과이다. 왼쪽 그림이 방송궤도력과 정밀궤도력의 차이, 오른쪽 그림이 방송궤도력에 SSR을 적용한 후 정밀궤도력과 비교한 결과이며 제일 상단을 1행이라 하였을 때, 1행은 위성 궤도의 X축, 2행은 Y축, 3행은 Z축이며 마지막 행은 X, Y, Z축의 차이를 시선방향 벡터로 변환한 값에 해당한다. SSR 적용에 따른 정밀궤도력과의 차이는 SSR 적용 전 0.42m, SSR 적용 후 1.64m로 SSR 적용 후 오히려 정밀궤도력과의 차이가 증가하였다. 해당시간에 관측된 전체 GPS 위성에 대한 평균을 확인해보면 SSR 미적용 0.50m, SSR 적용 1.76m이며 앞서 확인한 바와 같이 SSR 적용 후 오히려 차이가 증가하였다.



<그림 3-1> 위성궤도 분석: GPS 11

2) GLONASS 위성궤도 비교

GLONASS 방송궤도력은 30분 간격(15분, 45분)으로 갱신이 된다. 방송궤도력과 정밀궤도력을 비교해보면 방송궤도력이 갱신되는 30분 시점에 차이 값이 끊어지는 현상이 나타났다. SSR을 적용 한 후, 정밀궤도력과 비교해보면 단절 현상 없이 차이 값이 완만한 모양으로 나타나는 것을 확인 하였다. <그림 3-2>는 GLONASS 10번 위성의 비교분석 결과이다. GLONASS 10번의 경우, 정밀 궤도력과의 차이가 SSR 미적용 1.2m, SSR 적용 0.1m였다. SSR 적용 후, 정밀궤도력과의 차이가 확연히 줄어들었으나 해당시간에 관측된 전체 GLONASS 위성에 대한 평균을 확인해보면 SSR 미 적용 0.49m, SSR 적용 1.03m로 GPS 위성과 마찬가지로 보정 후 오히려 정밀궤도력과의 차이가 증가하였다.

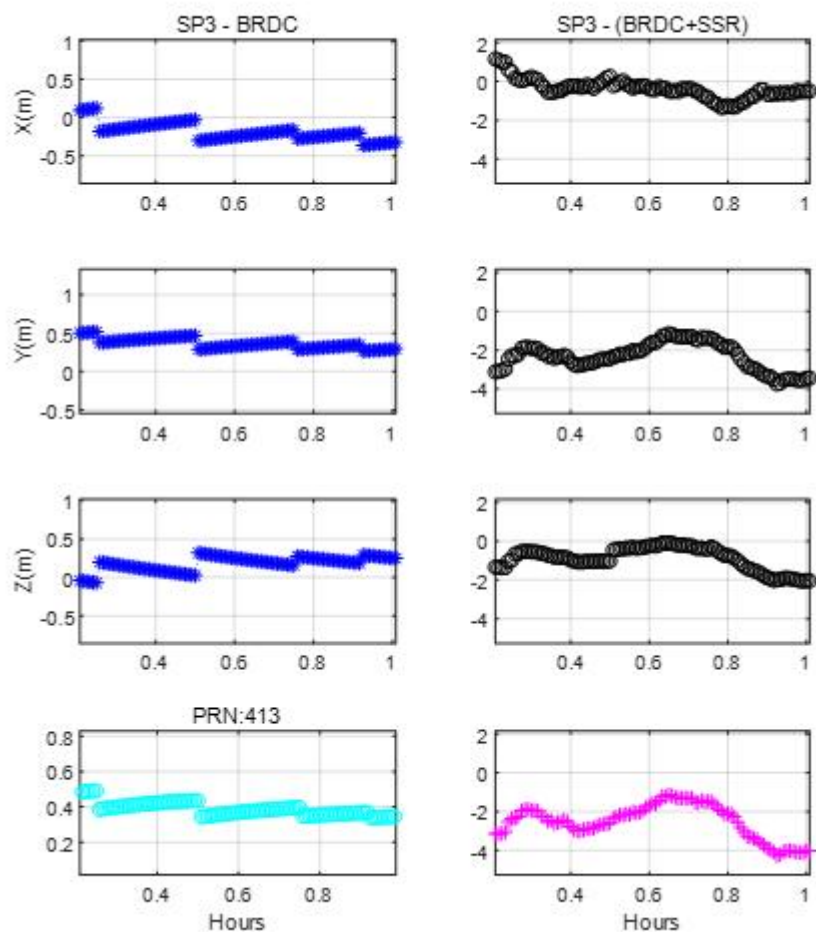


<그림 3-2> 위성궤도 분석: GLONASS 10

3) Galileo 위성궤도 비교

Galileo의 방송궤도력 경우, 제공 간격이 정확하게 정의되어 있지 않으며 IS-GPS-200H 문서에 fit interval 또는 transmission interval로 갱신된다고 명시되어 있다. brdm 파일이나 직접 수신기를 통해 궤도력 데이터를 받아보면 Galileo의 방송궤도력은 10분 간격으로 갱신되고 있다.

방송궤도력과 정밀궤도력을 비교해보면 방송궤도력이 갱신되는 간격으로 차이 값이 끊어지는 패턴이 확인되며 SSR 보정 후, 끊어지는 현상없이 차이가 완만한 패턴으로 나타났다. 아래의 <그림 3-3>은 Galileo 13번 위성의 분석 결과이다. Galileo 13번의 경우, 정밀궤도력과 방송궤도력의 차이가 SSR 미적용일 경우 0.39m, SSR을 적용한 경우 2.99m였다. 해당시간에 관측된 전체 Galileo 위성에 대한 평균을 확인해보면 SSR 미적용 0.28m, SSR 적용 2.53m로 앞 과정에서 확인한 GPS와 GLONASS 위성과 마찬가지로 보정 후 오히려 정밀궤도력과 차이가 증가하였다.



<그림 3-3> 위성궤도 분석: Galileo 13

나. 이온층 보정정보의 특징 분석

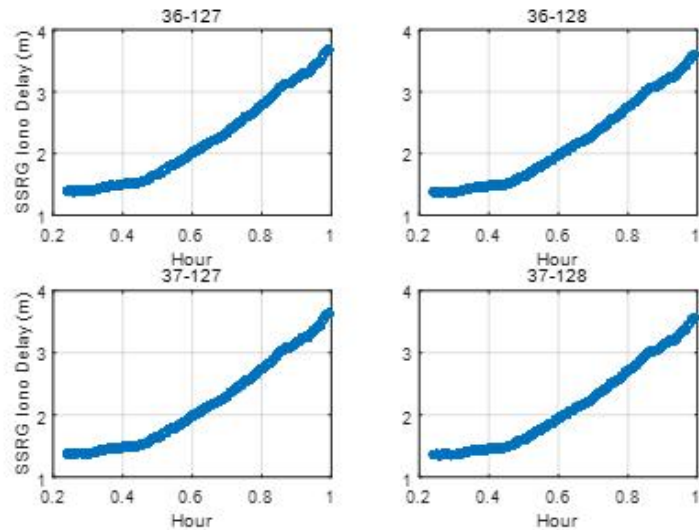
SSR 이온층 보정정보의 특징 분석을 위해 SSR 이온층 보정정보와 IGS의 GIM 모델을 비교하였다. GIM 모델은 자유전자가 450km 상공의 단일층에 밀집되어 있다고 가정하고 천정방향에 대한 총전자수 (VTEC, Vertical Total Electron Contents)를 제공하며 단위는 TECU이다. 1TECU는 L1 주파수에서 대략 0.164m의 거리오차로 환산된다. GIM 모델은 전 지구를 위경도 $2.5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 의 격자로 나누어 2시간 간격의 IONEX (IONosphere Exchange) 포맷으로 제공한다.

2020	7	25	0	0	0	EPOCH OF CURRENT MAP									
87.5-180.0 180.0						LAT/LON1/LON2/DLON/H									
66	67	67	67	68	68	68	68	68	68	68	67	67	67	66	66
66	65	64	64	63	62	61	60	60	59	58	57	57	56	55	55
55	54	54	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	54	54
54	55	55	56	56	56	57	57	57	58	59	60	61	61	62	62
63	64	64	65	65	66	66	66	66							
85.0-180.0 180.0						LAT/LON1/LON2/DLON/H									
72	72	73	73	74	75	75	75	75	75	75	75	74	74	73	72
71	70	69	67	66	65	63	62	60	59	57	55	54	52	51	50
49	49	48	47	47	47	47	47	47	48	48	48	49	50	50	51
52	52	53	54	55	55	56	57	57	58	59	60	61	62	63	64
65	66	67	68	68	69	70	71	72							
82.5-180.0 180.0						LAT/LON1/LON2/DLON/H									
75	76	77	78	79	79	80	81	82	82	82	82	81	80	79	78
77	75	73	72	69	67	65	63	61	59	56	54	52	50	48	46
46	45	44	44	44	43	44	44	44	45	45	46	48	48	49	51
52	52	54	54	55	56	57	57	58	59	60	61	62	64	65	66
67	67	68	69	70	71	72	73	75							

<그림 3-4> GIM 파일 예시

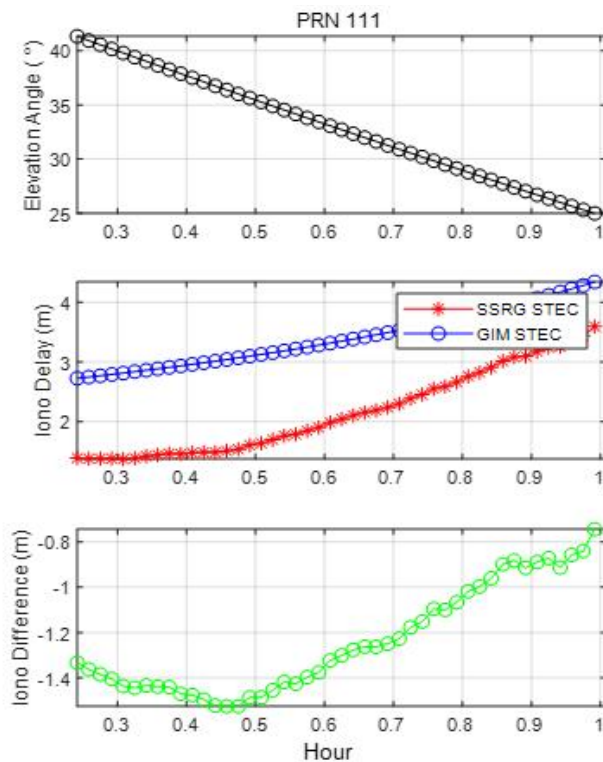
SSR의 이온층 보정정보는 시선방향에 대한 보정량(STEC, Slant TEC)으로 제공되며 따라서 GIM 모델의 VTEC을 STEC으로 계산하는 과정을 수행하였다. 이 과정으로 위성신호가 450km 상공의 가상의 이온층을 통과하게 되는 지점 (IPP, Ionospheric Pierce Point)의 좌표를 계산하여 IPP 지점의 VTEC을 산출하고 이온층 사상함수를 이용하여 STEC을 산출하였다.

대전의 IGS 상시관측소 위치를 기준으로 이온층 보정정보를 비교하였으며 아래의 <그림 3-5>는 대전 주변 4개의 격자점에 대한 SSR 이온층 보정정보를 확인한 결과이다. 격자점 별로 STEC 값의 눈에 띄는 차이는 확인되지 않았으며, 기준위치 주변 4개의 격자점에 대해 역거리가중치 방법을 사용하여 대전 기준국 위치에 대한 STEC 값을 산출하였다.



<그림 3-5> 대전기준: SSR 이온층 격자값 확인

<그림 3-6>은 GPS 11번 위성에 대해 GIM과 SSR을 비교한 결과이다. 상단 그래프는 위성의 고도각, 중앙의 그래프는 SSR과 GIM의 STEC이며 빨간색 별표가 SSR, 파란색 동그라미가 GIM에 해당한다. 하단의 그래프는 SSR과 GIM의 차이를 나타낸 것이다.



<그림 3-6> IGS GIM과 SSR의 이온층 오차 비교: GPS 11
(상: 위성고도각, 중: SSR과 GIM의 STEC, 하: SSR과 GIM의 차이)

SSR과 GIM의 이온층 보정정보는 위성의 고도각이 낮아지면서 점차 증가하는 형태로 나타났으며 SSR과 GIM의 STEC값은 전체적인 경향은 비슷하지만 바이어스가 있는 형태로 나타났다. 이를 수치로 확인해보았을 때, 분석 시간 전체에 대한 평균 차이는 -1.24m이다.

다. 대류권 보정정보의 특징 분석

SSR 대류권 보정정보와 IGS의 ZPD를 비교하여 SSR 대류권 보정정보의 특징을 분석하였다. IGS에서는 등록된 504개의 상시관측소 중 활동 중인 430 여 개소에서 데이터를 정기적으로 수집하고 처리하여 ZPD 산출물을 만들어낸다. ZPD 생성에는 약 3주간의 시간이 소요된다. 우리나라의 경우 대전(DAEJ)과 수원(SUWM)이 10년 이상동안 IGS 기준국의 역할을 하고 있다.

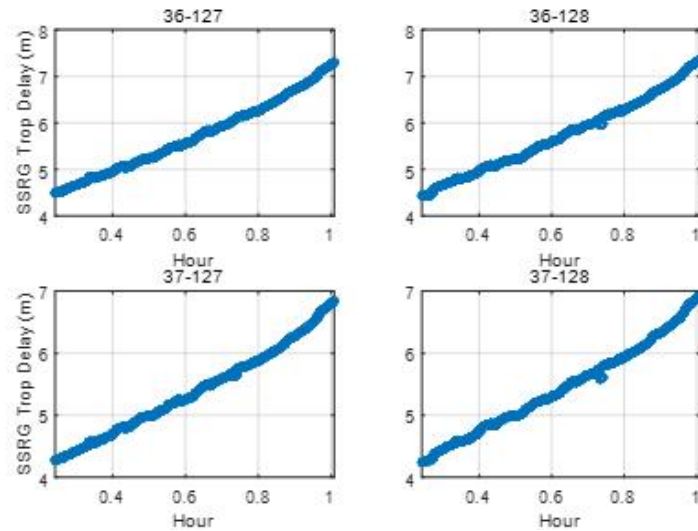
IGS에서 제공하는 ZPD는 대류권의 건조지연(ZHD, Zenith Hydrostatic Delay)과 습윤지연(ZWD, Zenith Wet Delay)이 고려된 대류권 총 지연량(ZTD, Zenith Total Delay)에 해당한다. ZPD 파일은 <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/troposphere/zpd>에서 다운로드할 수 있으며 일단위로 제공하고 있다. 아래의 <그림 3-7>은 ZPD 파일의 예시이다.

+TROP/SOLUTION,J							
*SITE	EPOCH	TROTOT	STDDEV	TGNTOT	STDDEV	TGETOT	STDDEV
DAEJ	20:175:00000	2446.7	3.5	-0.400	0.419	-0.409	0.523
DAEJ	20:175:00300	2446.5	3.3	-0.398	0.399	-0.417	0.506
DAEJ	20:175:00600	2446.4	3.1	-0.396	0.393	-0.425	0.498
DAEJ	20:175:00900	2446.3	2.9	-0.391	0.372	-0.431	0.479
DAEJ	20:175:01200	2445.7	2.7	-0.387	0.365	-0.437	0.469
DAEJ	20:175:01500	2445.2	2.5	-0.379	0.345	-0.453	0.449
DAEJ	20:175:01800	2444.2	2.3	-0.371	0.338	-0.468	0.440
DAEJ	20:175:02100	2443.1	2.3	-0.349	0.324	-0.477	0.421
DAEJ	20:175:02400	2442.6	2.2	-0.328	0.325	-0.486	0.414
DAEJ	20:175:02700	2442.1	2.2	-0.300	0.313	-0.489	0.395
DAEJ	20:175:03000	2442.0	2.2	-0.271	0.317	-0.492	0.389
DAEJ	20:175:03300	2441.7	2.1	-0.259	0.308	-0.479	0.373
DAEJ	20:175:03600	2440.9	2.2	-0.247	0.315	-0.467	0.369

<그림 3-7> ZPD 파일 예시

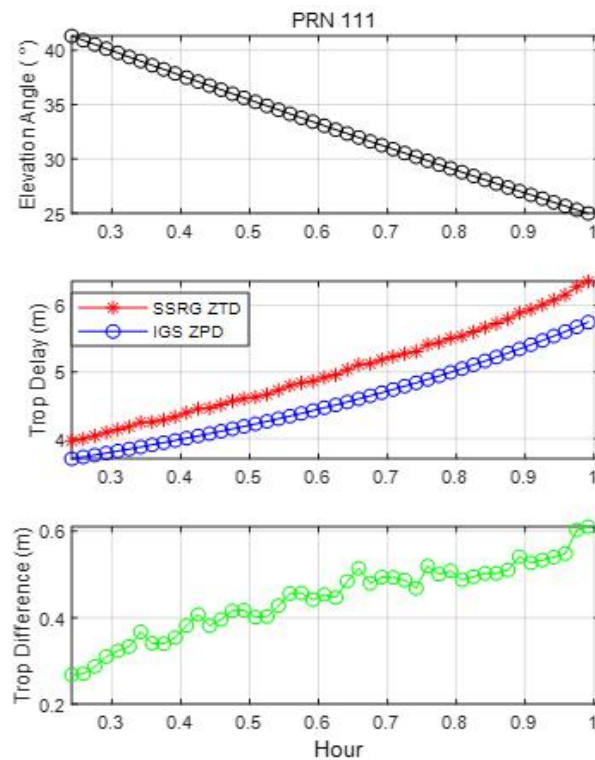
ZPD의 대류권 지연량은 +TROP/SOLUTION으로 시작하며 총 8개의 열이 제공되는데 1열부터 8열까지는 각각 (1열) 관측소 명칭; (2열) 시간(년도 끝 2자리:DOY:초); (3열) 대류권총지연량(TROTOT); (4열) TROTOT의 표준편차; (5열) 남북방향 대류권총지연량 기울기(TGNTOT); (6열) 남북방향 기울기의 표준편차; (7열) 동서방향 대류권총지연량 기울기(TGETOT); (8열) 동서방향 기울기의 표준편차이다. 각 물리량의 보다 구체적인 내용은 Bar-Sever et al.(1998)을 참고하면 된다. 이 분석에서는 “3열”에 있는 TROTOT을 사용하며 그 단위는 mm이다.

SSR 대류권 보정정보의 경우, ZTD와 ZWD가 제공되며 ZTD와 ZWD의 차이로 ZHD를 계산한다. 아래의 <그림 3-8>은 대전 주변 4개의 격자점에 대한 SSR의 대류권 보정정보를 확인한 결과이다.



<그림 3-8> 대전기준: SSR 대류권 격자값 확인

SSR의 대류권 보정정보와 ZPD를 비교하였으며 그 결과는 <그림 3-9>와 같다. <그림 3-9>에서 상단 그래프는 위성의 고도각, 중앙의 그래프는 SSR 대류권 정보와 ZPD의 차이이며 빨간색 별표가 SSR, 파란색 동그라미가 ZPD이다. 하단의 그래프는 SSR과 ZPD의 차이를 나타낸 것이다.



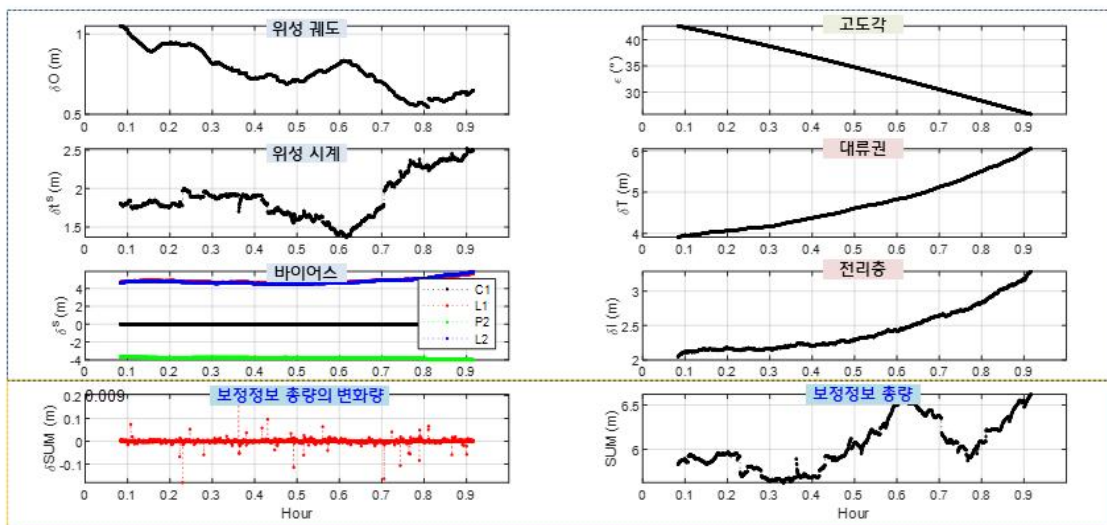
<그림 3-9> IGS GIM과 SSR의 대류권 오차 비교: GPS 11
(상: 위성고도각, 중: SSR과 GIM의 STEC, 하: SSR과 GIM의 차이)

대류권 보정정보의 분석 결과, 이온층 보정정보와 마찬가지로 위성의 고도각이 낮아지면서 점차 증가하는 형태로 나타나며 SSR과 ZPD의 전체 시계열 패턴은 비슷하지만 바이어스가 있는 형태로 나타났다. 바이어스 값을 수치적으로 확인해보면 평균 0.45m 였다.

라. SSR 보정정보 품질 분석

앞서 설명한 바와 같이 SSR 보정정보의 각 개별 오차요소에는 바이어스가 존재한다. 따라서 각 개별 오차요소를 IGS의 보정정보 또는 보정모델과 비교하는 과정을 정확한 품질평가로 판단하기에는 어려움이 따른다. 따라서 본 과정에서는 SSR 보정정보를 보정정보의 총량 관점에서 분석하였다. 이 때 보정정보의 총량은 사용자의 위치가 고려된 시선방향에 대한 값이다. 보정정보의 총량의 경우, 실시간으로 비교할 수 있는 기준치가 존재하지 않기 때문에 보정정보의 변화량을 분석하였으며 보정정보 변화량이 임계치 이상이 되었을 때, 보정정보의 안정성이 떨어지는 것으로 판단하였다.

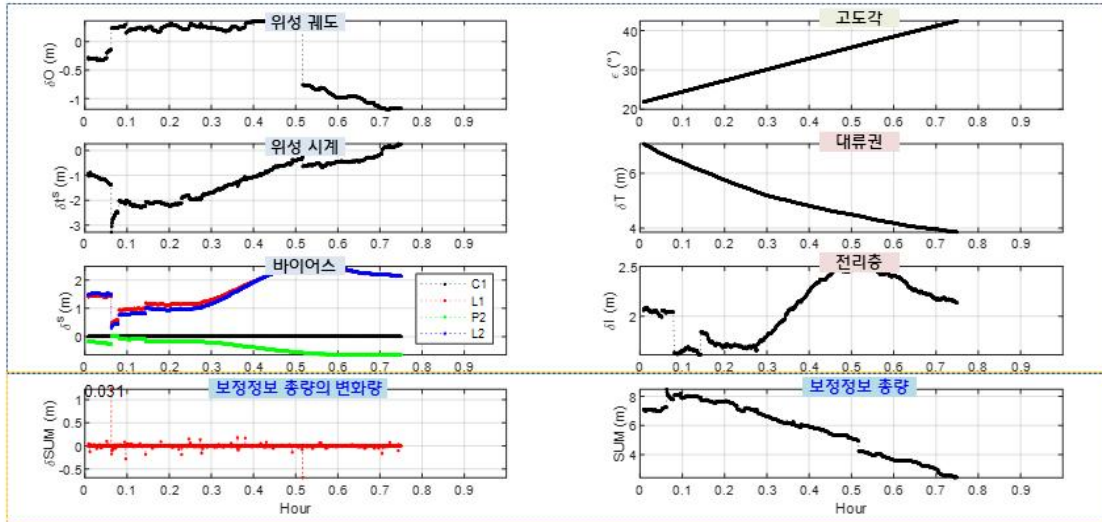
GPS에 대한 오차 총량 분석을 <그림 3-10>에 나타내었다. 그림은 GPS 11번 위성에 대한 결과이며 오른쪽 상단 그래프는 분석 시간 동안에 위성의 고도각, 오른쪽 하단 그래프는 각 보정정보의 총량, 왼쪽 하단 그래프는 보정정보 총량의 변화량에 해당한다.



<그림 3-10> 보정정보 총량 분석: GPS 22

GPS 11번 위성의 보정정보 총량은 5.5m~6.5m 사이의 값을 가지며, 이에 대한 변화량을 확인해보면 모든 시간에서 20cm 이내의 값을 보이며, 전체 평균으로 확인하였을 때 0.9cm로 보정정보의 변화량이 매우 안정적인 것으로 확인되었다.

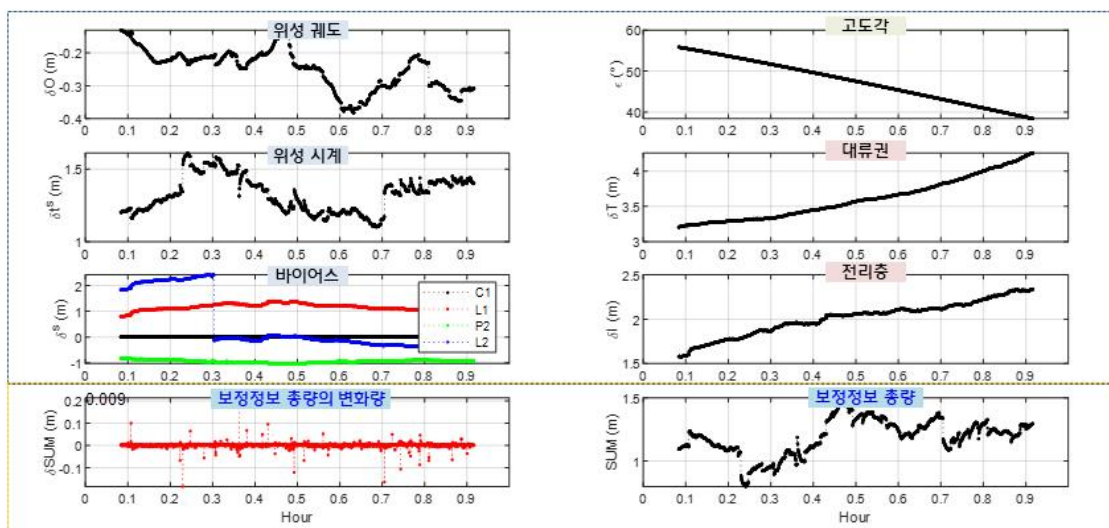
동일한 과정에 대해 GLONASS 위성을 분석하여 <그림 3-11>에 나타내었다. 그림은 GLONASS 04번 위성에 대한 결과이며 그래프의 배치는 GPS와 같다.



<그림 3-11> 보정정보 총량 분석: GLONASS 04

해당 GLONASS의 경우, 보정정보의 총량은 8m에서 위성 고도각이 점차 높아지면서 3.5m 정도로 줄어들었으며 개별 요소별로 살펴보았을 때, 방송궤도력이 갱신되는 시점의 위성 궤도 보정정보가 점프하는 현상이 확인되었다. 또한 0.1h 전후에 이온층 보정정보가 끊어지는 현상이 발생하였는데, 바이어스 보정정보에서 이를 상쇄하는 방향으로 보정정보가 제공되어, 보정정보 총량 분석에는 이온층 오차가 끊어졌던 크기가 보상된 것을 확인하였다.

마지막으로 Galileo 위성을 분석하여 <그림 3-12>에 나타내었다. 그림은 Galileo 02번 위성에 대한 결과이며, 그래프의 배치는 위의 두 그림과 동일하다.



<그림 3-12> 보정정보 총량 분석: Galileo 02

해당 Galileo 위성의 경우, 보정정보의 총량은 1m~1.5m 사이의 크기를 가지며, 오른 쪽 하단의 보정정보 총량 그래프를 보면 여러 시점에서 끊어지는 현상이 발견된다. 왼쪽 하단의 총량의 변화량을 살펴보았을 때 분석 시간 전체에서 변화량이 20cm 이내의 값을 보이며, 전체 변화량의 평균은 0.9cm로 매우 안정적인 것으로 파악되었다.

이와 같은 보정정보 총량의 변화량을 기준으로 보정정보의 품질을 평가하는 방법은 실시간으로 분석이 가능하나, 보정정보 변화량의 임계치를 설정하는 것에 있어서는 장기간 분석이 필요할 것으로 판단된다. 또한 보정정보 변화량이 임계치 이상으로 감지되었을 경우에 대해 사용자단 알고리즘에서 통제가 가능한지에 대한 여부도 분석이 필요할 것으로 보인다.

2. SSR 보정정보의 품질 관리를 위한 RTCM 메시지 수집·저장, 디코딩, 통계산출 기능 구현

GNSmart를 통해 생성된 SSR 보정정보를 저장하고 이를 자동으로 디코딩하는 프로그램을 구현하였다. 보정정보는 1시간 단위로 .srg 형태로 저장되며 이를 디코딩하여 위성 궤도와 위성 시계, 위성 바이어스, 이온층, 대류권 보정정보로 나누어 .mat 형태로 결과를 저장하였다.

가. RTCM 메시지 수집 및 저장

GNSmart에서는 GPPNET을 이용하여 상태공간 모델링을 하며, 모델링된 결과를 이용하여 SSRM2G를 통해 SSRG를 생성한다. 디버깅 파일과 SSRG 파일이 생성되는 경로는 다음과 같으며 각 경로에 대해 연도(yyyy, 4-digit)와 일자(doy, 3-digit)로 하위 경로가 생성된다.

- SSRM2G 디버깅 파일 경로: D:\Data\ssrm2g
- SSRG 파일 경로: D:\Data\SSRG



<그림 3-13> 파일 저장 경로

저장된 파일은 1시간 단위로 분할되어 있으며 다음 <그림 3-14>과 <그림 3-15>와 같이 저장된다.

SSRM2G_7000_SRG2_244u.dbg	9/1/2020 5:59 AM	DBG File	50,972 KB
SSRM2G_7000_SRG2_244v.dbg	9/1/2020 6:59 AM	DBG File	45,201 KB
SSRM2G_7000_SRG2_244w.dbg	9/1/2020 7:59 AM	DBG File	44,043 KB
SSRM2G_7000_SRG2_244x.dbg	9/1/2020 8:59 AM	DBG File	43,959 KB
SSRM2G_7000_SRG2_245a.dbg	9/1/2020 9:59 AM	DBG File	47,559 KB
SSRM2G_7000_SRG2_245b.dbg	9/1/2020 10:59 AM	DBG File	38,682 KB
SSRM2G_7000_SRG2_245c.dbg	9/1/2020 11:59 AM	DBG File	43,344 KB
SSRM2G_7000_SRG2_245d.dbg	9/1/2020 12:59 PM	DBG File	51,684 KB
SSRM2G_7000_SRG2_245e.dbg	9/1/2020 1:59 PM	DBG File	71,533 KB
SSRM2G_7000_SRG2_245f.dbg	9/1/2020 2:59 PM	DBG File	31,938 KB
SSRM2G_7000_SRG2_245g.dbg	9/1/2020 3:59 PM	DBG File	26,494 KB
SSRM2G_7000_SRG2_245h.dbg	9/1/2020 4:59 PM	DBG File	28,157 KB

<그림 3-14> 디버깅 파일 저장

SRG2245a.srg	9/1/2020 9:59 AM	SRG File	9,095 KB
SRG2245b.srg	9/1/2020 10:59 AM	SRG File	7,580 KB
SRG2245c.srg	9/1/2020 11:59 AM	SRG File	8,240 KB
SRG2245d.srg	9/1/2020 12:59 PM	SRG File	9,740 KB
SRG2245e.srg	9/1/2020 1:59 PM	SRG File	13,208 KB
SRG2245f.srg	9/1/2020 2:59 PM	SRG File	5,950 KB
SRG2245g.srg	9/1/2020 3:59 PM	SRG File	4,939 KB
SRG2245h.srg	9/1/2020 4:59 PM	SRG File	5,337 KB
SRG2245i.srg	9/1/2020 5:59 PM	SRG File	4,977 KB
SRG2245j.srg	9/1/2020 6:59 PM	SRG File	4,872 KB
SRG2245k.srg	9/1/2020 7:59 PM	SRG File	5,083 KB
SRG2245l.srg	9/1/2020 8:59 PM	SRG File	5,163 KB
SRG2245m.srg	9/1/2020 9:59 PM	SRG File	4,906 KB
SRG2245n.srg	9/1/2020 10:59 PM	SRG File	5,170 KB
SRG2245o.srg	9/1/2020 11:59 PM	SRG File	5,140 KB
SRG2245p.srg	9/2/2020 12:59 AM	SRG File	5,502 KB
SRG2245q.srg	9/2/2020 1:59 AM	SRG File	5,686 KB
SRG2245r.srg	9/2/2020 2:59 AM	SRG File	5,954 KB
SRG2245s.srg	9/2/2020 3:59 AM	SRG File	6,134 KB
SRG2245t.srg	9/2/2020 4:59 AM	SRG File	5,649 KB
SRG2245u.srg	9/2/2020 5:59 AM	SRG File	5,390 KB
SRG2245v.srg	9/2/2020 6:59 AM	SRG File	5,230 KB
SRG2245w.srg	9/2/2020 7:59 AM	SRG File	5,338 KB
SRG2245x.srg	9/2/2020 8:59 AM	SRG File	5,490 KB

<그림 3-15> SSRG 파일 저장

디버깅 파일은 ASCII로 기록되어 있으며, SSRG는 바이너리로 기록이 되어 있다. 디버깅 파일에는 위성군별 생성된 SSR 정보, 기록된 데이터 용량, 오류 내역들이 기록되어 있다.

```

System:                2 (GALILEO)
Time of week [s]:      267842
Update Interval [s]:   1 [idx=0] (offset: 0s)
Update Interval Class: A [0]
MultipleMessageInd:    0
Reserved:              0
Number of stations:    26
[##] Typ Lat[deg] Lon[deg] Hgt[m] Tropo[m] TropoWet #SV PRN STEC[TECU] ...
[00] 0 +33.000000 +126.000000 +0.000 +2.7104 +0.2785 4 E03 +20.9830 E05 +19.4514 E09 +29.2817 E30 +20.3318
[01] 0 +34.000000 +126.000000 +0.000 +2.6919 +0.2604 4 E03 +21.4368 E05 +19.5845 E09 +28.8471 E30 +20.6104
[02] 0 +35.000000 +126.000000 +0.000 +2.6843 +0.2533 3 E05 +19.7371 E09 +28.3886 E30 +20.8482
[03] 0 +36.000000 +126.000000 +0.000 +2.6782 +0.2476 4 E03 +22.3307 E05 +19.8811 E09 +27.9306 E30 +21.0491
[04] 0 +37.000000 +126.000000 +0.000 +2.6519 +0.2216 4 E03 +22.9054 E05 +19.9614 E09 +27.5229 E30 +21.3057
[05] 0 +38.000000 +126.000000 +0.000 +2.6472 +0.2173 4 E03 +23.5778 E05 +20.1072 E09 +27.1040 E30 +21.5426
[06] 0 +33.000000 +127.000000 +0.000 +2.7064 +0.2740 4 E03 +20.8850 E05 +19.2386 E09 +28.8716 E30 +20.6186
[07] 0 +34.000000 +127.000000 +0.000 +2.6929 +0.2608 4 E03 +21.2923 E05 +19.3824 E09 +28.4120 E30 +20.8655
[08] 0 +35.000000 +127.000000 +0.000 +2.6763 +0.2446 4 E03 +21.7073 E05 +19.5351 E09 +27.9668 E30 +21.0962
[09] 0 +36.000000 +127.000000 +0.000 +2.6726 +0.2413 4 E03 +22.1111 E05 +19.6807 E09 +27.4701 E30 +21.3126
[10] 0 +37.000000 +127.000000 +0.000 +2.6626 +0.2318 4 E03 +22.6922 E05 +19.7922 E09 +27.0847 E30 +21.5801
[11] 0 +38.000000 +127.000000 +0.000 +2.6557 +0.2252 4 E03 +23.2956 E05 +19.9401 E09 +26.6421 E30 +21.8193
[12] 0 +39.000000 +127.000000 +0.000 +2.6550 +0.2249 3 E05 +20.1112 E09 +26.1600 E30 +22.0620
[13] 0 +34.000000 +128.000000 +0.000 +2.6848 +0.2521 2 E05 +19.1975 E09 +28.0270
[14] 0 +35.000000 +128.000000 +0.000 +2.6683 +0.2360 4 E03 +21.6379 E05 +19.3275 E09 +27.5965 E30 +21.3885
[15] 0 +36.000000 +128.000000 +0.000 +2.6809 +0.2491 4 E03 +22.0504 E05 +19.4836 E09 +27.0911 E30 +21.6420
[16] 0 +37.000000 +128.000000 +0.000 +2.6796 +0.2482 4 E03 +22.5127 E05 +19.6381 E09 +26.6631 E30 +21.8619
[17] 0 +38.000000 +128.000000 +0.000 +2.6713 +0.2403 4 E03 +23.0271 E05 +19.8169 E09 +26.1138 E30 +22.0656
[18] 0 +34.000000 +129.000000 +0.000 +2.6849 +0.2517 2 E05 +19.0259 E09 +27.6277
[19] 0 +35.000000 +129.000000 +0.000 +2.6838 +0.2509 4 E03 +21.5849 E05 +19.1674 E09 +27.1805 E30 +21.7592
[20] 0 +36.000000 +129.000000 +0.000 +2.6973 +0.2649 4 E03 +21.9520 E05 +19.3187 E09 +26.6568 E30 +21.9718
[21] 0 +37.000000 +129.000000 +0.000 +2.6875 +0.2555 4 E03 +22.3216 E05 +19.5125 E09 +26.1280 E30 +22.1773
[22] 0 +38.000000 +129.000000 +0.000 +2.6934 +0.2618 4 E03 +22.6541 E05 +19.6336 E09 +25.6397 E30 +22.3919
[23] 0 +35.000000 +130.000000 +0.000 +2.6966 +0.2632 4 E03 +21.4468 E05 +19.0172 E09 +26.7227 E30 +22.0808
[24] 0 +36.000000 +130.000000 +0.000 +2.7024 +0.2694 3 E05 +19.1813 E09 +26.2106 E30 +22.2925
[25] 0 +37.000000 +130.000000 +0.000 +2.7027 +0.2702 2 E05 +19.3612 E09 +25.7081

```

<그림 3-16> 디버깅 파일 예시

나. RTCM 메시지 디코딩

1) RTCM STANDARD 10403.1 for DIFFERENTIAL GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM) SERVICES - VERSION 3

RTCM STANDARD 10403.1 for DIFFERENTIAL GNSS(GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM) SERVICES - VERSION 3(이하 RTCM3++)은 차분 측위를 위해 고안된 규격으로 국제표준기구인 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Services)에 의해 작성되었다. RTCM3++의 규격은 각 기관의 메시지를 구별하기 위해 기관별 메시지 타입을 부여하며 Geo++에 부여된 메시지 타입은 “4090”이다.

2) Geo++의 State Space Representation Generalized Format

상태 공간의 의미는 사용자에게 GNSS 오차를 개별적으로 전달하여 측위 성능을 향상시키는 것으로, SSR(State Space Representation)이라는 용어가 사용된다. SSR의 GNSS 상태 벡터는 기본적으로 다음과 같으며, 각각의 오차들은 다양하고 복잡한 방법들을 통해 모델링 할 수 있다.

- 위성 궤도 오차
- 위성 시계 오차
- 위성 신호 바이어스 오차
- 이온층 오차
- 대류권 오차

SSRG는 여러 SSR 오차들을 일반화된 형식으로 기술하기 위해 Geo++가 고안한 것이다. SSRG 중에는 공간에 따라 변하는 매개변수들이 있다. 이러한 SSRG 매개변수는 근처의 격자점에 대해 정의되며 격자점 크기는 간단한 보간 알고리즘을 사용하여 GNSS 기준국 네트워크 영역 내의 임의의 위치에 대한 매개변수를 예측할 수 있는 방식으로 설계된다.

Geo++의 SSRG를 디코딩하기 위해서 “Geo++ State Space Representation Generalized Format (SSRG) Binary Output from Geo++ GNSMART Document Version 2.6.1 (final) 2018-09-13” 문서를 참고했으며, 방법은 다음과 같다.

- 먼저, RTCM3++에서 정의된 Message Length만큼 SSRG를 디코딩한다.
- Geo++의 독점 메시지 번호인 “4090”과 SSRG를 나타내는 서브 메시지인 “02”를 확인해야 하며 이는 메시지 동기화의 목적으로 사용된다.

- SSRG 메시지 번호인 1~11에 따라 각기 다른 매개변수를 디코딩하며, SSRG 메시지 번호는 다음과 같이 정의된다. 각기 다른 SSRG 매개변수들은 메시지 버전에 따라서 또 다르게 디코딩한다. 메시지 버전은 현재 0~3까지 정의되어 있고, 버전에 따라 오차 외의 정보나 보정정보 제공방식이 조금씩 상이하다.

<표 3-1> SSRG 메시지 번호 및 내용

SSRG 메시지 번호	메시지 이름
SM001	SSRG 궤도 보정
SM002	SSRG 시계 보정
SM003	SSRG 신호 바이어스
SM004	SSRG 대류권 연직 지연량
SM005	SSRG 이온층 위성방향 지연량
SM006	대류권과 이온층 오차
SM007	SSRG 시작 세팅
SM008	SSRG 종료 세팅
SM009	reserved
SM010	SSRG 기준국 잔차
SM011	SSRG 궤도 보정 v2 (obsolete)

- SM001: 위성 궤도 오차의 보정에 관한 정보인 IODE, δ Radial, δ Along-Track, δ Cross-Track을 제공한다.
- SM002: 위성 시계 오차의 보정에 관한 정보인 δ Clock C0, δ Clock C1, δ Clock C2를 제공한다.
- SM003: 위성 신호 바이어스 오차의 보정에 관한 정보인 Signal Code Bias, Signal Phase Bias, Signal Phase Discontinuity Indicator 및 보정정보 생성 당시 기준국의 FIX 정보인 Number of Fixed Stations, Number of Tracked Stations를 제공한다.
- SM004: 버전에 따라 격자점에서의 Troposphere Total Vertical Delay, Troposphere Wet Vertical Delay를 제공한다.
- SM005: 버전에 따라 격자점의 위성별 Ionosphere Slant Delay를 제공한다.
- SM006: GNSMART 세팅에 따라 SM004와 SM005를 결합하여 한 번에 제공하며, 버전에

따라 격자별 Troposphere Total Vertical Delay, Troposphere Wet Vertical Delay 및 격자점, 위성별 Ionosphere Slant Delay를 제공한다.

- SM007: 데이터의 시작 파트이며 메시지 버전, GPS Epoch Time, GPS Week Number 등을 제공한다.
- SM008: 데이터의 종료 파트이며 서브 타입 메시지 개수 등을 제공한다.
- SM010: 기준국에서 위성별 잔차인 Signal Code Residual, Signal Phase Residual 등을 제공한다.

SSRG를 디코딩한 결과를 위성 궤도 오차, 위성 시계 오차, 위성 신호 바이어스 오차, 대류권 오차, 이온층 오차에 대해 행렬 형태로 저장했다. 아래 표들은 각 보정정보들의 디코딩 예시를 나타냈다. 각 표에서 1행을 통해 각 열이 의미하는 바를 확인할 수 있으며 나머지 2~7행을 각 보정정보의 예시이다. 예시에 사용된 데이터는 2020년 09월 01일 (DOY245) 중 SSRG 중 일부이다.

<표 3-2> SSRG-위성 궤도

Time[gs]	PRN	IODE	δ Radial[m]	δ Along-Track[m]	δ Cross-Track[m]
198002	102	42	0.8533	-1.49	1.1728
198002	105	82	0.8646	0.132	0.8412
198002	305	39	-0.1313	1.0216	2.4968
198002	307	39	0.2774	-1.9088	3.3668
198002	407	65	-0.2003	1.292	-1.474
198002	419	69	-0.3902	0.8216	0.3968

<표 3-3> SSRG-위성 시계

Time[gs]	PRN	δ Clock C0	δ Clock C1	δ Clock C2
198002	102	3.1522	0	0
198002	105	0.3941	0	0
198002	305	1.0135	0	0
198002	307	-4.9377	0	0
198002	407	-1.1667	0	0
198002	419	-0.7232	0	0

<표 3-4> SSRG-위성 바이어스

Time[gs]	PRN	Signal Mask	Code Bias[m]	Phase Bias[m]
198002	102	0	0	4.3256
198002	102	11	-3.1	3.6711
198002	305	0	0	1.9961
198002	305	2	-0.11	2.1077
198002	407	2	0	0.3078
198002	407	9	0.86	0.3214

<표 3-5> SSRG-대류권

Time[gs]	Latitude [degree]	Longitude [degree]	Height [m]	Zenith Total Delay [m]	Zenith Wet Delay [m]
198002	33	126	0	2.6512	0.2951
198002	34	126	0	2.6487	0.293
198002	35	126	0	2.6468	0.2914
198002	36	126	0	2.6453	0.2903
198002	37	126	0	2.6446	0.2901
198002	38	126	0	2.6432	0.289

<표 3-6> SSRG-이온층

Time[gs]	Latitude [degree]	Longitude [degree]	Height[m]	PRN	STEC[m]
198002	33	126	0	102	21.4786
198002	33	126	0	105	3.31491
198002	33	126	0	305	18.63419
198002	33	126	0	315	19.54615
198002	33	126	0	407	14.07833
198002	33	126	0	419	-1.82764

제4장

SSR 보장정보 서비스의 활용강화 방안 도출

-
1. SSR 관련 국제표준 현황 파악 및 SSR 수신기 조사
 2. 격자형 'SSR2OSR(FKP)' 생성을 위한 상세전략 도출 및
서비스 구축 타당성·적절성 조사

1. SSR 관련 국제표준 현황 파악 및 SSR 수신기의 조사

RTCM SSR 분과 회의자료 및 공식 표준문건 조사를 통해 SSR 관련 국제표준 제정 현황을 파악하였다. RTCM SSR 표준화 작업은 전체 3단계로 현재 2단계까지 완료되었으며, 3단계 과정이 매우 더디게 진행되고 있어 각 SSR 서비스마다 고유의 포맷으로 SSR 서비스를 운영하고 있는 상황이다. SSR 수신기 관련하여 미국과 유럽, 일본에서 판매되고 있는 수신기의 현황을 조사하였으며 공개된 SSR 포맷인 GNSmart의 SSRG와 SSRZ, QZSS Compact SSR, Sapcorda의 SPARTN 메시지의 표준을 분석하고 각 메시지의 특성을 비교하였다.

가. RTCM SSR 분과 회의자료 및 공식 표준문건 조사를 통한 현황조사

RTCM SSR Working Group은 2007년 조직되어 PPP-RTK 수행에 필요한 보정정보 표준화 작업을 진행 중이다. SSR 보정정보의 표준화를 진행하기 위해서는 RTCM에 SSR 보정정보 전송을 위한 데이터 포맷을 등록하고 정의하는 작업이 필요하다. SSR 표준화 작업은 총 3단계로, 현재 3단계가 진행되고 있으며 각 단계별 표준화 내용은 다음과 같다.

- 1단계(standardized, 2011): 위성 궤도 보정량, 위성 시계 보정량, 위성 코드 바이어스, URA
- 2단계(proposed, 2013): 위성 위상 바이어스, Vertical TEC
- 3단계(In preparation, 2016~): Slant TEC, Troposphere, Compressed Messages

표준화 작업의 1단계는 이중주파수 사용자를 위한 실시간 정밀 절대 측위(DF-RT-PPP, Dual Frequency-Real Time-PPP)를 목표로 한다. 표준화 작업 2단계는 이온층 오차 정보를 수직방향의 TEC 정보로 제공함으로써 단일 주파수 사용자를 위한 실시간 정밀 절대 측위(SF-RT-PPP, Single Frequency-RT-PPP)를 목표로 한다. 표준화 작업 3단계는 시선방향의 TEC 정보와 대류권 지연 정보를 정의함으로써 PPP-RTK를 수행하기 위한 표준화 작업을 완료하는 것을 계획하고 있다. 현재 2단계까지 완료된 상태이며 SSR 보정정보의 규격화와 이를 검증하기 위한 실험 단계를 거쳐 RTCM v.3에 정식 등록되었다.

Parameter Nature	RTCM message	Occurrence (sec)
GPS orbits/clocks	1060	5
Glonass orbits/clocks	1066	5
Galileo orbits/clocks	1243	5
GPS code biases	1059	5
Glonass code biases	1065	5
Galileo code biases	1242	5
GPS phase biases (L1, L2)	1265	5
GPS phase biases (L5)	1265	5
Ionosphere VTEC	1264	60

<그림 4-1> RTCM SSR 표준화 내용

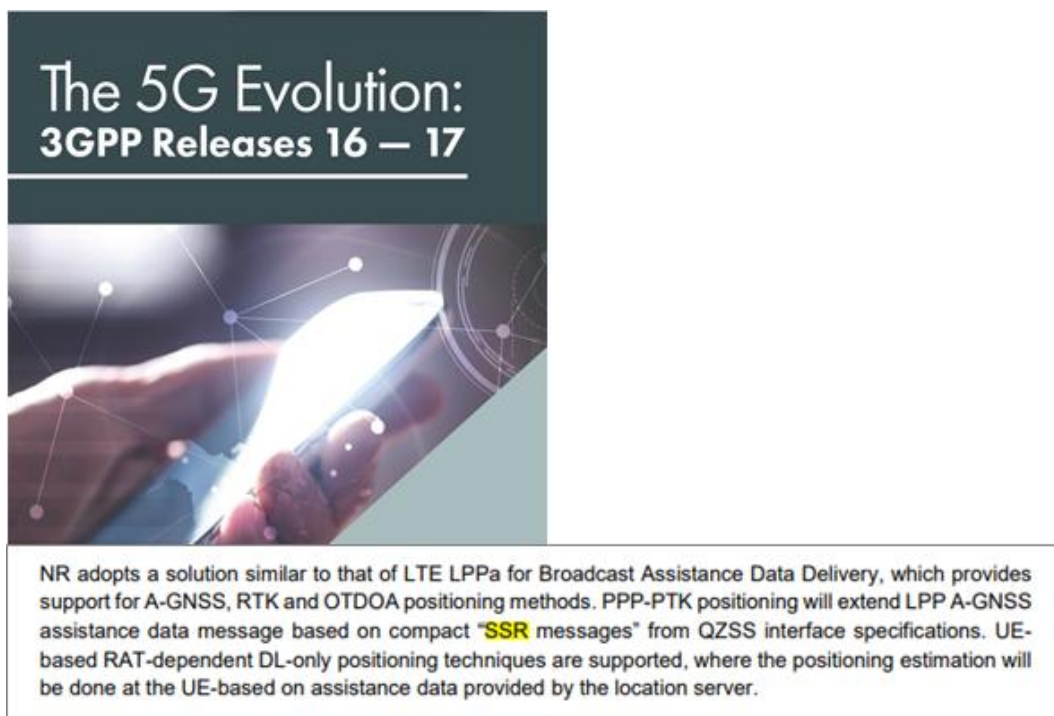
2016년부터 진행되고 있는 표준화 3단계는 그 과정이 매우 더디게 진행되고 있으며 현재 공식 표준의 부재로 각 SSR 서비스마다 고유의 포맷으로 제공하고 있다. 대표적인 SSR 서비스로 IGS에서 제공하는 IGS PPP, QZSS의 CLAS, Geo++의 SSRG, SSRZ 등이 있으며 SBAS 메시지도 각 오차요소 별로 보정량을 제공하므로 SSR 서비스 형태로 볼 수 있다. 대표적인 SSR 상업 서비스로는 Omnistar, StarFire, VeriPos/Terrastar 등이 있다.

<표 4-1> SSR 서비스 종류

서비스 종류	서비스 내용
IGS PPP (Precise Point Positioning)	main state parameter(IGS products), orbits, clocks, (VTEC)
SBAS	main state parameter(IGS products), orbits, clocks, VTEC
QZSS CLAS	Compact SSR(complete states)
Geo++	RTCM3-4090 Geo++ RTCM messages, Geo++ SSRG messages, Geo++ SSRZ format
Sapcorda SPARTN	-
상업서비스	Omnistar, Starfire, Veripos/Terrastar, ConterPoint RTX

최근 SSR 표준 관련 국제 현황을 살펴보면, 현재 개발중인 Galileo의 SSR 서비스 HAS (High-Accuracy Service)가 Compact SSR (RTCM-CSSR) 메시지를 채용하여 서비스될 예정이다. 서비스 예정 시기는 2021년이며 Galileo의 E6B 채널을 통해 전송될 예정이다.

모바일 통신 규약을 제정하는 3GPP가 올해 초 발간한 Release 16을 살펴보면 모바일에서 SSR 메시지를 활용할 수 있도록 공개된 포맷인 Compact SSR 메시지의 형태를 채용할 것으로 파악된다.

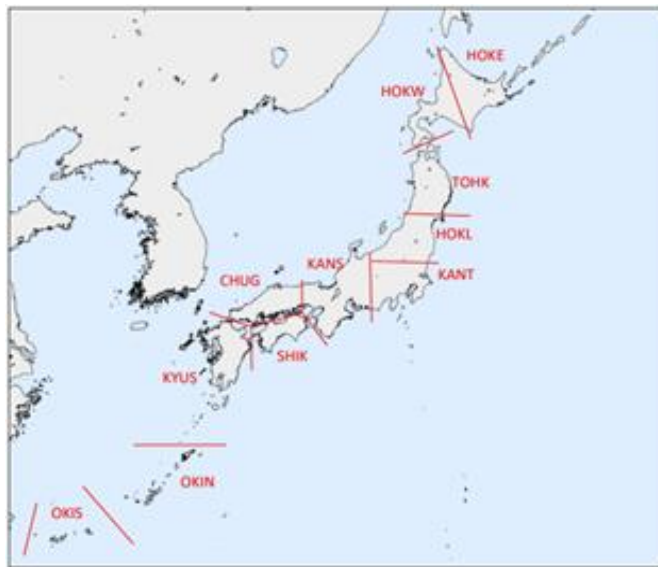


<그림 4-2> 3GPP Releases 16-17

나. SSR 관련 공개 표준분석

1) Compact SSR

일본의 SSR 서비스인 CLAS(Centimeter-Level Augmentation Service)는 QZSS는 위성의 L6E 밴드를 통해 제공된다. CLAS 보정정보를 Compact SSR이며 CLAS는 일본전역에 있는 약 ~1300개의 기준국을 11개의 서브 네트워크로 나누고 각 네트워크 별로 보정정보를 생성하여 서비스하고 있다.



<그림 4-3> CLAS의 네트워크 구성

Compact SSR은 1초당 2000 비트를 전송하기 때문에 대역폭 측면에서 매우 효율적이다. 1초당 전송하는 2000 비트 중에서 49 비트의 헤더 파트, 1695 비트의 데이터 파트, 256 비트의 리드 솔로몬 부호 파트가 순서대로 나온다. 그 중에서 데이터 파트만 모은 1695 비트를 하나의 메시지라고 하면, 다섯 개의 메시지가 모여 하나의 서브프레임이 되고, 여섯 개의 서브프레임이 모여 하나의 프레임이 된다. 하나의 프레임을 위해서는 총 30초 동안 데이터를 수신해야 하며, 하나의 프레임은 총 50850 비트로 구성된다. CLAS는 한 프레임인 30초 동안 Compact SSR 각각의 보정정보를 한번씩 사용자에게 제공한다.

QZSS 홈페이지의 아카이브(<https://sys.qzss.go.jp/dod/en/archives/clas.html>)는 CLAS 데이터를 1시간 간격으로 저장하여 사용자들에게 무료로 제공하고 있다. <그림 4-4>는 아카이브 구성 중 일부를 캡처한 것이다. 'Data Period'에서 CLAS 데이터가 필요한 날짜를 선택하고 'Search' 버튼을 누르면 1시간 단위로 구성된 데이터 목록을 'Data List'에서 확인할 수 있다. 리

스트에 있는 파일은 기준 시간으로부터 1시간 동안의 데이터이다. 'FileName'을 클릭하면 데이터를 다운받을 수 있다.

L6 Signal

Start Epoch

2020 / 08 / 08

End Epoch

2020 / 08 / 08

Clear

Search

Data Select

L6 Signal

Data Period

Start Epoch

2020 / 08 / 08

End Epoch

2020 / 08 / 08

Clear

Search

Data List

L6 Signal

Results from 2020-08-08 to 2020-08-08

<<< page 1 / 1 >>>

ALL <input checked="" type="checkbox"/>	Data Type	Reference Time	Size(byte)	FileName
1 <input checked="" type="checkbox"/>	L6 Signal	2020/08/08 23:00	900000	2020221X.L6
2 <input checked="" type="checkbox"/>	L6 Signal	2020/08/08 22:00	900000	2020221W.L6
3 <input checked="" type="checkbox"/>	L6 Signal	2020/08/08 21:00	900000	2020221V.L6

<그림 4-4> QZSS CLAS 데이터 획득

가) 헤더 부분(Header Part)

CLAS의 헤더 파트에서는 메시지 동기화에 대한 Preamble, 해당 데이터를 전송한 위성 PRN 번호, 보정정보 전송기관과 서브프레임 지시자를 나타내는 L6 Message Type ID 그리고, 메시지의 Health에 대한 정보인 Alert Flag를 제공한다.

<표 4-2> CLAS 메시지 헤더 구성

ID	Name	BIT
1	Preamble	32
2	PRN	8
3	L6 Message Type ID	8
4	Alert Flag	1

나) 데이터 부분(Data Part)

Compact SSR은 RTCM에서 메시지 타입 4073을 준수하며 서브 타입은 1~13으로 정의 된다.

<표 4-3> Compact SSR 메시지의 구성

메시지 번호	메시지 이름	업데이트 간격[sec]	명목 유효 기간[sec]
Sub Type 1	Compact SSR 마스크	30	1
Sub Type 2	Compact SSR 궤도 보정	30	60
Sub Type 3	Compact SSR 시계 보정	5	1
Sub Type 4	Compact SSR 위성 코드 바이어스	30	60
Sub Type 5	Compact SSR 위성 위상 바이어스	30	60
Sub Type 6	Compact SSR 위성 코드와 위상 바이어스	30	60
Sub Type 7	Compact SSR URA	30	60
Sub Type 8	Compact SSR 이온층 보정	30	60
Sub Type 9	Compact SSR 격자점 보정	30	60
Sub Type 10	Compact SSR 서비스 정보	(N/A)	(N/A)
Sub Type 11	Compact SSR 다중 위성군 보정	5 or 30	10 or 60
Sub Type 12	Compact SSR 대기 보정	30	60
(N/A)	Null Message	(N/A)	(N/A)

- Sub Type 1: 현재 제공하는 프레임에서 제공할 위성, 신호, 격자점 등에 대한 정보를 제공한다.
- Sub Type 2: 개별 위성의 IODE와 위성 궤도 오차를 보정하는 Compact SSR δ Radial, Compact SSR δ Along Track, Compact SSR δ Cross Track을 제공한다.
- Sub Type 3: 위성 시계 오차에 대한 보정정보인 Compact SSR δ Clock C0를 제공한다.
- Sub Type 4: 위성 코드 바이어스 오차에 대한 보정정보인 Compact SSR Code Bias를 제공한다.
- Sub Type 5: 위성 위상 바이어스 오차에 대한 보정정보인 Compact SSR Phase Bias를 제공한다.
- Sub Type 6: 네트워크별 위성의 코드와 위상 바이어스 오차에 대한 보정정보인 Compact SSR δ Code Bias, Compact SSR δ Phase Bias를 제공한다.

- Sub Type 7: SSR을 통해 보정한 거리값에 대한 정확도를 나타내는 Users Range Accuracy (URA)를 위성별로 제공한다.
- Sub Type 8: 격자점마다 위성별로 SSR STEC Quality Indicator, STEC Polynomial Coefficients인 C00, C01, C10, C11를 제공한다. STEC Polynomial Coefficients는 STEC Correction Type에 따라 다르게 정의된다.
- Sub Type 9: 격자점 별로 Tropospheric Hydro Static Vertical Delay, Tropospheric Wet Vertical Delay, STEC Residual Correction을 제공한다.
- Sub Type 11: 1번 네트워크 상에서 위성 궤도 보정에 관한 IODE, Compact SSR δ Radial, Compact SSR δ Along Track, Compact SSR δ Cross Track 및 위성 시계 보정에 관한 Compact SSR δ Clock C0를 제공한다.
- Sub Type 12: 대류권 보정에 관련된 Troposphere Quality Indicator, Troposphere Polynomial Coefficients인 T00, T01, T10, T11 및 이온층 보정에 관련된 SSR STEC Quality Indicator, Function Part of STEC, STEC Residual을 제공한다.

다) 디코딩 결과

Compact SSR을 디코딩한 결과를 위성 궤도 오차, 위성 시계 오차, 위성 신호 바이어스 오차, 대류권 오차, 이온층 보정계수, 이온층 오차, 위성 궤도 및 시계 통합 오차에 대한 각각의 행렬 형태로 저장했다. 아래 표들은 각 보정정보들의 디코딩 예시이다. 각 표에서 1행을 통해 각 열이 의미하는 바를 확인할 수 있고, 나머지 2~7행을 통해 각 보정정보의 예시를 나타냈다. 예시에 사용한 보정정보의 일자 는 2020년 08월 12일(DOY225)이다.

<표 4-4> Compact SSR-위성 궤도

Time[gs]	PRN	IOD	δ Radial[m]	δ Along-Track[m]	δ Cross-Track[m]
262800	101	12	-0.6528	0.4416	0.3024
262800	103	66	1.4144	0.1152	0.0384
262800	403	52	0.096	0	-0.3216
262800	421	47	0	-0.0896	-0.1872
262800	501	65	-0.5696	0.3584	-3.4544
262800	502	65	-0.2176	-0.6976	-0.8432

<표 4-5> Compact SSR-위성 시계

Time[gs]	PRN	δ Clock C0
262800	117	0.4944
262800	403	-0.416
262800	421	0.2432
262800	501	0.2192
262800	502	-0.088

<표 4-6> Compact SSR-위성 바이어스

Time[gs]	Network ID	PRN	Signal	Code Bias	Phase Bias	δ Code Bias	δ Phase Bias
262800	6	128	101	0	0	0	0.771
262800	7	128	101	0	0	0	-0.286
262800	12	403	403	0	0	0	0.015
262800	2	403	403	0	0	0	-0.029
262800	12	501	501	0	0	0	-0.768
262800	12	502	501	0	0	0	0.196

<표 4-7> Compact SSR-대류권

Time[gs]	Network ID	Latitude [degree]	Longitude [degree]	Height[m]	ZTD[m]	ZWD[m]
262800	2	26.42	126.87	0	0.072	0.028
262800	2	26.15	127.53	0	0.076	0.032
262800	2	26.69	127.53	0	0.072	0.036
262800	2	26.69	128.18	0	0.072	0.04
262800	2	27.23	128.18	0	0.064	0.04
262800	2	27.23	128.84	0	0.064	0.036

<표 4-8> Compact SSR-이온층 보정계수

Time[gs]	PRN	Network ID	STEC Correction Type	C00	C01	C10	C11
262800	101	2	2	21.9	0.46	-0.52	0.44
262800	103	2	2	17.5	1.06	-0.36	0.42
262800	421	2	2	13.5	-0.22	1.56	-0.72
262800	427	2	2	12.8	-0.36	1.06	-0.6
262800	502	2	2	14.15	-0.54	1.22	-0.68
262800	503	2	2	8	-0.82	1.18	-0.74

<표 4-9> Compact SSR-이온층 STEC

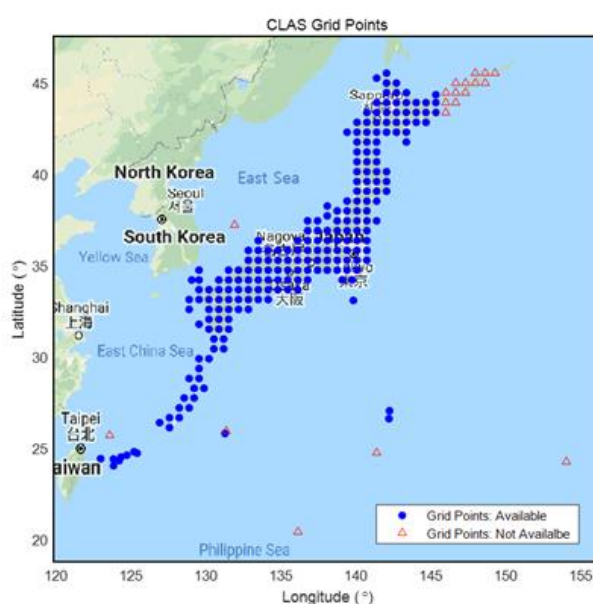
Time[gs]	PRN	Network ID	Latitude [degree]	Longitude [degree]	δSTEC
262800	101	12	27.07	142.2	24.76
262800	103	12	27.07	142.2	22.64
262800	403	12	27.07	142.2	36.08
262800	421	12	27.07	142.2	26.6
262800	501	12	27.07	142.2	8.96
262800	502	12	27.07	142.2	33.36

<표 4-10> Compact SSR-위성 궤도 및 시계 통합오차

Time[gs]	PRN	Network ID	IODE	δAlong Track [m]	δCross rack [m]	δRadial [m]	δClock C0
262825	101	1	12	-0.6528	0.4416	0.3024	-0.3648
262825	103	1	66	1.4208	0.1152	0.0384	-0.3024
262825	421	1	47	-0.0384	-0.064	-0.1424	-1.2256
262825	427	1	52	0.48	0.1856	-0.1344	-0.3104
262825	502	1	65	-0.2176	-0.6976	-0.8432	-0.3088
262825	503	1	65	-0.2176	-0.3328	-0.3680	-0.0944

라) 격자점 구성

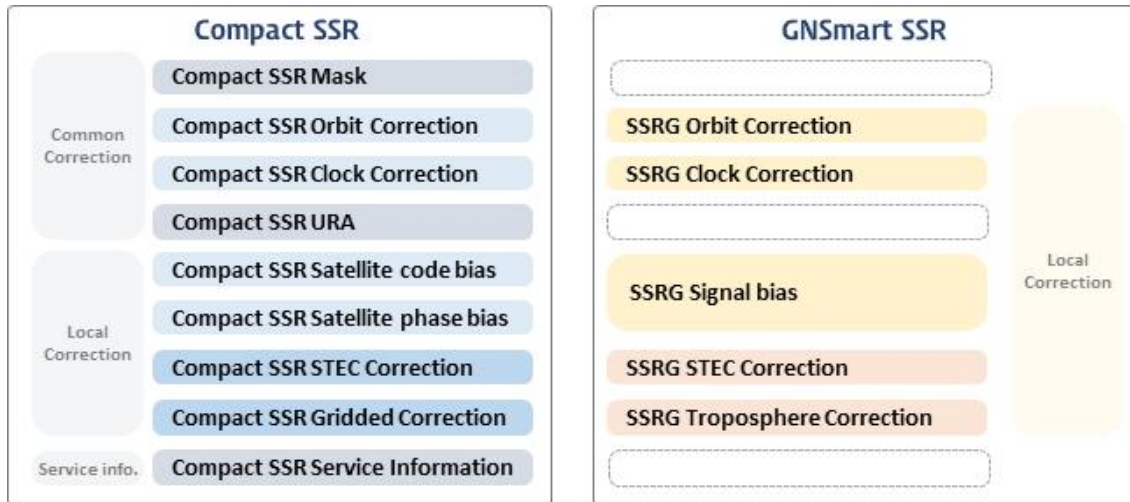
Compact SSR 메시지 중 이온층과 대류권 보정정보는 CLAS의 네트워크와 네트워크에 속한 격자점을 바탕으로 제공한다. 일본 전역을 대상으로하는 CLAS의 네트워크는 총 19개이고, 각각의 네트워크는 1~32개의 격자점으로 이루어져 있다. 그래서 CLAS의 총 격자점의 개수는 231개이다. 현재 1~12번 네트워크의 격자점은 보정정보를 제공하고 있지만, 13~19번 네트워크는 격자점에서의 보정정보를 제공하고 있지 않다. 다음 그림은 CLAS 네트워크 격자점을 나타낸 것이다. 여기서 파란 점은 1~12번 네트워크로 보정정보가 사용가능한 격자점들을 나타내고, 빨간 점은 13~19번 네트워크로 보정정보를 사용할 수 없는 격자점들을 나타낸 것이다.



<그림 4-5> CLAS 격자점의 구성

2) Compact SSR과 GNSmart SSR의 메시지 비교

Compact SSR과 GNSmart SSR은 오차요소를 5가지(위성 궤도, 위성 시계, 위성 바이어스, 이온층, 대류권)로 구분하여 보정정보를 제공한다는 공통점이 있지만 보정 메시지의 형태 및 적용 방법에는 차이가 있다. Compact SSR에서는 위성번호에 대한 Mask 메시지가 제공되며, 위성단 보정정보를 적용하는 경우 Mask 메시지를 참조하여 적용하나 GNSmart SSR에서는 위성 번호를 구분하여 위성단 보정정보를 제공한다. 또한, Compact SSR에서는 Index 형태로 URA(User Range Accuracy) 정보를 제공하나 GNSmart SSR에서는 URA는 제공하지 않는다. Compact SSR과 GNSmart SSR의 보정요소 별 공통점과 차이점은 다음과 같다.



<그림 4-6> Compact SSR과 GNSmart SSR 메시지 비교

(1) 위성 궤도 오차

위성 궤도 오차의 경우, Compact SSR과 GNSmart SSR 보정정보의 형태가 같다. 위성의 PRN 별 IODE, δ Radial, δ Along Track, δ Cross Track을 제공한다.

(2) 위성 시계 오차

GNSmart SSR은 위성 시계 오차의 변화에 대한 세 개의 파라미터를 제공하고 Compact SSR은 하나의 보정정보만 제공한다.

(3) 위성 신호 바이어스 오차

GNSmart SSR는 신호별 코드 의사 거리와 반송파 위상에 대한 바이어스 오차를 제공한다. Compact SSR은 CLAS 가용 지역 내의 코드 의사 거리와 반송파 위상에 대한 바이어스 오차와 네트워크별로 코드 의사 거리와 반송파 위상의 변화에 대한 바이어스 오차를 제공한다. GNSmart SSR는 하나의 서브타입으로 바이어스 오차를 계산할 수 있고, Compact SSR은 세 개의 서브타입으로 바이어스 오차를 계산할 수 있다.

(4) 이온층 오차

GNSmart SSR의 이온층 오차는 격자점의 위성별 STEC을 제공한다. 반면, Compact SSR은 STEC 보정 타입에 따라 이온층 보정계수를 제공하며 STEC 보정 타입이 2일 경우 C00, C01, C10, C11을 제공한다. 이 이온층 보정계수는 네트워크별로 일정한 값을 나타내며 네트워크 내부의 격자점마다 제공하는 δ STEC을 추가로 고려하여 특정 격자점의 위성별 STEC을 최종적으로 산출할 수 있다. GNSmart SSR의 이온층 오차는 하나의 서브 타입을 이용하며 Compact SSR은 두 개의 서브 타입을 이용한다.

(5) 대류권 오차

GNSmart SSR와 Compact SSR 대류권 보정정보의 기본적인 형태는 동일하며 격자점에 따른 ZTD와 ZWD를 제공하는 구조로 구성되어 있다. 하지만, Compact SSR은 주어진 ZTD와 ZWD에 특정 상수를 더하는 것으로 ZTD와 ZWD를 구한다. 대류권 오차는 GNSmart SSR와 Compact SSR 모두 하나의 서브 타입을 이용하여 계산할 수 있다.

<표 4-11> Compact SSR과 GNSmart SSR 메시지 비교

오차	Compact SSR	GNSmart SSR
위성 궤도 오차	IODE, δ Radial, δ Along Track, δ Cross Track	
위성 시계 오차	δ Clock C0	δ Clock C0, δ Clock C1, δ Clock C2
위성 바이어스 오차	Code Bias, Phase Bias, δ Code Bias, δ Phase Bias	Code Bias, Phase Bias
대류권 오차	ZTD, ZWD	
이온층 오차	C00, C01, C10, C11, δ STEC	STEC

2) SPARTN

SPARTN(Safe Position Augmentation for Real Time Navigation)은 SAPCORDA(Safe and Precision CORection DAta)에서 개발한 SSR 포맷으로 SAPCORDA에서 운영하는 SSR 서비스인 SAPA 서비스를 운용하기 위해 제안되었다. SAPCORDA는 Bosch, Geo++, Mitsubishi Electric, Septentrio, u-blox의 조인트 벤처이며 각 회사들이 협업하여 상호 운용성을 테스트하며 그 내용을 바탕으로 SPARTN 규격을 개발하였다.

SAPA 서비스는 SPARTN 메시지를 인터넷 또는 위성의 L-밴드를 통해 방송하며 정밀 측위를 요구하는 다양한 어플리케이션을 대상으로 서비스 중에 있다. 현재 SAPA는 아래 <그림 4-7>과 같이 미국과 유럽 대륙에 대해 서비스 중에 있으며, 향후 더 넓은 지역에 대한 서비스를 계획하고 있다.



<그림 4-7> SAPA 서비스 대상 지역: Europe & USA

SAPA 서비스는 정확도 및 무결성 정보의 유무에 따라 3가지 등급으로 구분된다. 2020년 1월부터 SAPA Premium 서비스가 상용화되었으며 추후 무결성에 관련된 정보 제공을 포함하는 SAPA Premium Plus 서비스를 계획하고 있다. 각 SAPA 등급에 대한 차이는 아래 표 <4-12>와 같다.

<표 4-12> SAPA 서비스 등급별 특징

Grade	SAPA Basic	SAPA Premium	SAPA Premium+
Accuracy	10cm~1m	~10cm	~10cm
Coverage	Europe, USA	Europe, USA	Europe, USA
Data format	SPARTN	SPARTN	SPARTN
Type of stream	broadcast	broadcast	broadcast
Integrity	n/a	n/a	using integrity messages
e.g	Mobile / IoT	Logistics or Mobile / IoT	Automotive / New Mobility, Autonomous Airborne systems

SPARTN은 낮은 대역폭을 이용하는 동시에 다양한 어플리케이션의 SoL(Safety of Life)을 위한 SSR 전송 표준으로 개발되었다. 2019년 3월에는 GPS와 GLONASS에 대한 위성궤도/시계/바이어스(Orbit/Clock/Bias) 보정 메시지 초기 표준을 SPARTN 1.1버전을 통해 공개하였으며, 2019년 6월에는 고정밀 대기 보정 메시지(HPAC, High Precision Atmosphere Correction)와 서비스 지역 정의(GAD, Geographic Area Definition) 메시지 표준을 SPARTN 1.6.2버전을 통해 공개하였다.

2020년 9월까지 공개된 버전은 2019년 12월의 SPARTN 1.8 버전이며, 해당 버전에는 이전 버전들에서 정의된 표준들과 함께 사용자 인증에 관한 메시지 및 기본 정밀 대기 보정 메시지(BPAC, Basic Precision Atmosphere Correction)에 대한 표준이 추가되어 있다. 2020년 9월 이후로 무결성 메시지와 추가될 보정 신호 및 위성 군에 대해 업데이트 될 예정이다.

SPARTN 1.8 버전에 따르면, SPARTN은 5개의 메시지 타입을 정의하여 보정정보 서비스와 관련된 데이터를 제공할 수 있도록 설계되어 있다. 5개의 메시지 타입은 SPARTN에서 정의한 메시지 구조를 통해 송수신되며, 정의된 SPARTN의 메시지 구조는 아래 <그림 4-8>과 같다.

Frame Start (TF001-TF006)	Payload Description Block (TF007-TF015)	Payload (TF016)	Embedded Authentication Data (TF017)	Message CRC (TF018)
------------------------------	---	--------------------	--	------------------------

<그림 4-8> SPARTN 메시지 프레임 레이아웃

메시지 프레임의 5개 구조에는 TF(Transport layer Field) 000~018에 대한 내용이 담겨 있으며, 각각의 TF에 대한 내용은 아래 <표 4-13>과 같다.

<표 4-13> SPARTN 메시지 TF ID

ID (TF)	Name	ID(TF)	Name
001	Preamble	010	Solution ID
002	Message type	011	Solution processor ID
003	Payload length	012	Encryption ID
004	Encryption and authentication flag(EAF)	013	Encryption Sequence Number
005	Message CRC type	014	Authentication Indicator
006	Frame CRC	015	Embedded Authentication Length
007	Message Subtype	016	Message payload
008	Time tag type	017	Embedded Authentication Data
009	GNSS time tag	018	Message CRC

메시지 프레임의 5개 구간 중 첫 번째인 'Frame Start' 구간에는 TF 001~TF 006에 대한 내용이 담겨있으며 해당 구간에서는 프레임의 시작과 메시지 타입, 탑재 메시지에 대한 길이, 메시지 접근 허가 등의 정보를 알린다. 'Payload Description Block' 구간에서는 TF 007~TF 015에 대한 내용이 담겨있으며 메시지가 대상으로 하는 위성 군, 메시지의 타임태그, 보정정보 프로세서에 대한 정보, 메시지 접근 인증 데이터에 관한 정보가 담겨있다.

특히 TF 007에서는 GPS 혹은 GLONASS와 같이 메시지에서 대상으로 할 위성 군을 정의하는데, 현재 SPARTN 1.8 버전에는 GPS와 GLONASS에 대해서만 정의되어 있다. 세 번째 'Payload' 구간은 메시지 타입에 따라 포함되는 내용이 다르며, SSR 보정정보가 실릴 수 있는 구간이기도 하다. 이후, 'Embedded Authentication Data' 및 'Message CRC(Cycle Redundancy Check)' 구간은 인증 데이터 및 메시지의 송수신 오류를 체크하는 CRC 메시지를 포함하고 있다.

SPARTN 1.8 버전에서 사용하고 있는 메시지 타입은 Type 0 ~ Type 4 이다. Type 4 같은 경우 메시지의 암호화 및 인증 지원에 관한 메시지이므로, 실질적으로 SPARTN에서 SSR 보정정보를 제공하기 위해 사용되는 메시지 타입은 Type 0 ~ Type 3 이다. 각 메시지 타입 및 서브 타입에 대한 내용은 아래 <표 4-14>와 같다.

Type 0에서는 대상이 되는 위성의 궤도, 시계, 신호 별 바이어스에 대한 보정정보를 제공한다. 특히 Type 0의 헤더에는 위성 궤도, 시계, 바이어스 각각의 보정정보 제공 유무에 대한 지시자가 정의되어 있어, 이를 통해 Type 0 메시지의 전체 길이를 탄력적으로 구성할 수 있다. 위성 궤도에 대한 보정정보는 Radial, Along-track, Cross-track과 같이 세 방향으로의 미터 단위로 제공되며, 위성 시계에 대한 보정정보도 미터 단위로 제공된다. 바이어스에 대한 보정정보는 각 위성 별 코드 및 위상 관측치에 대해 미터 단위로 포함된다. SPARTN 1.8 버전에서 정의된 코드 관측치의 종류는 GPS 같은 경우 C1C, C2W, C2L까지 정의가 되어 있으며, GLONASS의 경우 C1C, C2C까지 정의되어 있다. 위상 관측치 타입은 GPS는 L1C, L2W, L2L까지 정의되어 있으며, GLONASS는 L1C, L2C까지 정의가 되어있다.

<표 4-14> SPARTN 메시지 타입 및 서브타입

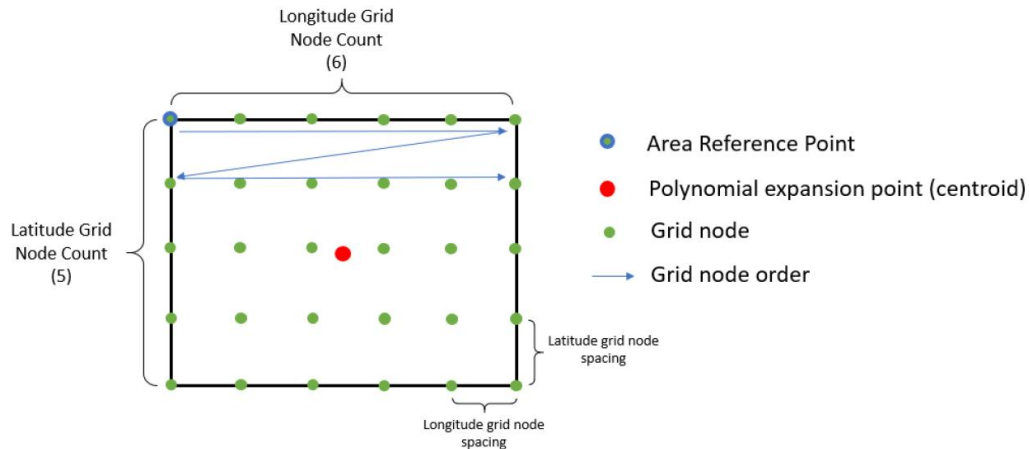
Type	Subtype	Message name
0	0	GPS Orbit/Clock/Bias
	1	GLONASS Orbit/Clock/Bias
	2 to 15	TBD
1	0	GPS HPAC
	1	GLONASS HPAC
	2 to 15	TBD
2	0	GAD
	1 to 15	TBD
3	0	BPAC Polynomial
	1 to 15	TBD
4	0	Dynamic Key Message
	1	Group Authentocation Message
	2 to 15	TBD
5 to 127	TBD	TBD

추가적으로 Type 0에서 제공되는 바이어스 보정정보의 경우, 서비스하고자 하는 관측치의 종류에 따라 블록의 길이를 변형하여 구성할 수 있다. <표 4-15>는 Type 0 메시지에 포함되는 요소들을 간략히 나타낸다.

<표 4-15> SPARTN-Type 0의 구성(OCB 메시지)

Components	Sub-components	Key components
Header block	-	Yaw present, GPS/GLO Ephemeris type, GPS/GLO satellite mask
Satellite block	-	Do Not Use(DNU) flag, OCB present flag and continuity indicators
	Orbit block	IODE, Orbit Corrections
	Clock block	Clock Corrections, User Raging Error(URE)
	Bias block	GPS/GLO phase and code bias coerrors

Type 1은 Type 2에서 정의된 지역을 대상으로 대류권 및 이온층으로 인한 고정밀 대기 보정정보를 제공한다. Type 2에서는 대상으로 하는 지역의 기준 좌표와 경위도 방향으로의 격자 수 및 간격을 정의한다. <그림 4-9>는 대상 지역을 정의하기 위해 Type 2에서 제공하는 기준 좌표 및 격자의 배치를 나타내며, 그림에서 표현된 격자의 진행방향은 격자점의 순서 혹은 번호를 나타내며, 중심점은 Type 1 메시지 사용 시 필요로 하는 요소이다.



<그림 4-9> SPARTN - 격자의 구성

Type 1에서는 대류권 및 이온층 보정정보 제공 유무에 대한 지시자를 제공할 수 있기 때문에, Type 0과 같이 메시지의 전체 길이를 탄력적으로 구성할 수 있다. Type 1의 대류권 블록에서는 지역 내 평균 수직 건조 지연량을 미터 단위로 제공한다. 건조 지연량 외에 대류권 잔차항에 대해서는 지역별 다항식 계수와 격자 별 잔차 성분으로 제공한다. 사용자는 평균 수직 건조 지연량과 잔차 성분을 더한 후, 사상함수를 이용하여 시선 방향으로의 대류권 지연량을 계산하게 된다.

이온층 블록에서는 정의된 지역 내 각 위성별 STEC을 TECU 단위로 계산할 수 있는 다항식 계수를 제공한다. 이 외 잔차항에 대해서 격자 별 위성에 대한 STEC을 TECU 단위로 제공한다. 사용자는 대류권과 마찬가지로 STEC 및 잔차항을 더한 후, TECU 단위를 미터단위로 환산하여 사용하게 된다. <표 4-16>은 Type 1 메시지에 포함되는 요소들을 간략히 나타낸다.

<표 4-16> SPARTN-Type 1의 구성(HPAC 메시지)

Components	Subcomponents	Key components
Header block	-	area count
Atmosphere block	Area data block	Grid points, atmosphere block indicators
	Troposphere data block	Troposphere quality, polynomial coefficient, grid residuals
	Ionosphere data block	Ionosphere quality, polynomial coefficient, grid residuals

Type 3은 기본 정밀 보정 메시지로, HPAC과는 달리 VTEC(Vertical Total Elcetron Content)을 제공한다. VTEC은 특정 높이로 정의된 이온층의 격자점에 대해 제공된다. 또한 Type 2의 지역 정의 정보를 사용하는 것이 아닌 Type 3 메시지 내부에서 자체적으로 대상 지역을 정의한다. 정의된 지역 내의 평균 VTEC을 TECU 단위로 제공하며 잔차항에 대해서는 격자점 별 VTEC을 TECU 단위로 제공한다. 사용자는 IPP(Ionosphere Pierce Point)에서의 STEC을 필요로 한다. 이를 위해 사용자는 IPP 주변 격자의 VTEC을 이용하여 IPP 위치에서의 VTEC으로 보간한 뒤, 사상함수를 통해 STEC으로 계산하여 사용한다. 아래 <표 4-17>은 Type 3 메시지에 포함되는 요소들을 간략히 나타낸다.

<표 4-17> SPARTN-Type 3의 구성(BPAC 메시지)

Components	Subcomponents	Key components
Header block	-	Ionosphere shell height, area count
Atmosphere block	Area data block	Area ID, Definition Area, Average VTEC, Node mask
	VTEC block	Ionosphere quality, grid residuals

다. SSR 수신기 개발 현황 조사

RTCM 공식 표준의 부재로 상용 SSR 서비스는 각자 고유의 포맷으로 서비스를 제공하고 있다. 대표적인 SSR 서비스로 Trimble CenterPointRTX, NovAtel TerraStar, Futro Seastar 등이 있으며 해당 서비스를 사용할 수 있는 대표적인 SSR 수신기들을 조사하고 수신기의 특징 및 서비스 사용료 등을 파악하였다.

1) ARDUSIMPLE의 SimpleRTK2B

SimpleRTK2B는 RTK 수신기가 기지국 없이도 센티미터 수준의 정확도를 달성할 수 있도록 하는 저렴한 SSR 수정 보드이며 u-blox F9P를 기반으로한다. SSR 가용 지역은 SAPCORDA 커비리지인 북미와 유럽 지역 일부이며 정확도는 ~4cm, 초기화시간은 ~60초이다. SSR 서비스 사용료(1년)를 포함한 최소 가격은 최소 가격은 999€이다.



<그림 4-10> ARDUSIMPLE의 SimpleRTK2B

2) NovAtel의 PwrPak7

NovAtel에서는 L-밴드를 통해 방송되는 SSR 서비스인 TerraStar를 운영하고 있다. TerraStar는 3가지 서비스로 나뉘며 서비스별로 정확도 수준은 다음과 같다.

- TerraStar-X : ~2cm
- TerraStar-C Pro : ~2.5cm
- TerraStar-L : ~40cm

TerraStar 서비스를 사용할 수 있는 대표적인 수신기로는 PwrPak7이 있으며 서비스 사용료를 포함한 수신기의 가격은 수 천만원대이다.



<그림 4-11> Novatel PwrPak7

3) Trimble의 NetR9, AG-372, CFG 750 등

Trimble은 전 세계적으로 분포된 자사의 100여개의 기준망을 이용한 CenterPoint RTX라는 명칭의 SSR 서비스를 제공하고 있다. CenterPoint RTX의 정확도는 ~2.5cm 수준이며, 대체로 ~15분 이내의 수렴시간을 가지나 북미 혹은 일부 유럽 지역에서는 2분 이내에 수렴하기도 한다. CenterPoint RTX 서비스를 이용할 수 있는 수신기는 대표적으로 NetR9이 있으며 서비스 사용료를 포함한 수신기의 가격은 수 천만원대이다.



<그림 4-12> Trimble NetR9

4) Fugro의 SEASTAR 9205

Fugro의 Seastar는 주로 근해의 석유 및 가스 산업에서 활용할 수 있는 정밀 위치 서비스를 제공하며 특히, 이동 측위시스템에서 정밀하고 신뢰성이 높은 서비스를 제공한다. Seastar는 보정정보 버전에 따라 제공하는 GNSS 보정정보가 다르며 <표 4-18>에서 서비스별 제공 정보를 확인할

수 있다. Fugro의 Seastar 서비스를 이용할 수 있는 대표적인 수신기로 SEASTAR 9205가 있다. SEASTAR 9205는 G2, G4, XP, XP2 서비스를 지원하고 이중주파수 반송파 위상을 이용한 솔루션을 제공한다. 서비스의 정확도 수준은 수평의 경우 ~10cm, 수직의 경우 ~15cm 이다.

<표 4-18> Fugro Seastar 서비스 종류

서비스 명칭	제공 보정정보	가용 위성군
G2	satellite orbit, clock	GPS, GLONASS
G4	satellite orbit, clock	GPS, GLONASS, Beidou, Galileo
XP	satellite orbit, clock	GPS
XP2	satellite orbit, clock	GPS, GLONASS



<그림 4-13> Fugro SEASTAR 9205

5) Cohac의 Chronosphere-L6

Choah의 Chronosphere-L6 수신기는 QZSS의 CLAS와 MADOCA 서비스를 사용할 수 있는 수신기로 Chronosphere-L6를 통해 획득할 수 있는 정확도 수준은 수평방향 RMS 기준으로 CLAS ~2.2cm, MADOCA는 3.0cm 수준이다. Chronosphere-L6의 가격은 수 천만원대이다.



<그림 4-14> Choah의 Chronosphere-L6

6) OmniSTAR의 OmniSTAR 8200HP

OmniSTAR는 농업분야에 많이 사용되는 서비스로 사용자의 요구사항에 따라 옵션을 선택하여 사용할 수 있다. OmniSTAR의 서비스별 정확도 및 가용 위성군은 다음과 같다.

<표 4-19> OmniSTAR 서비스 종류

서비스 명칭	정확도	가용 위성군
OmniSTAR HP	5~10cm	GPS
OmniSTAR G2	8~10cm	GPS, GLONASS
OmniSTAR XP	8~10cm	GPS

OmniSTAR 서비스를 사용할 수 있는 대표적인 수신기로 OmniSTAR 8200HP가 있으며 서비스 사용료를 포함한 가격은 수 천만원대이다.



<그림 4-15> OmniSTAR 8200HP

2. 격자형 ‘SSR2OSR’ 생성을 위한 상세전략 도출 및 서비스 구축

타당성·적절성 조사

기존 OSR 방식의 측위 사용자가 SSR 보정정보를 활용할 수 있도록 ‘SSR을 격자망 형태의 OSR(FKP)로 변환’하는 방법을 제시하고, 제시한 방법의 측위 성능을 테스트하여 본 방법의 타당성 및 적절성을 확인하였다.

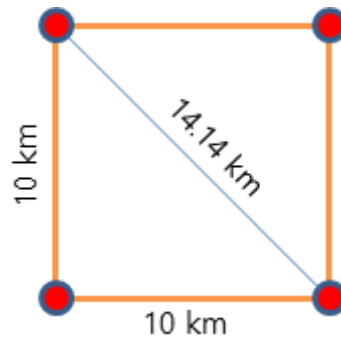
서비스 대상지역인 남한 지역은 기하학적으로 직사각형 형태로 볼 수 있으며, 남한 지역에서 제주도를 제외한 내륙지역의 대략적인 크기는 위도 방향으로 ~400km, 경도 방향으로 ~300km 이다. 해당 지역에 대해 격자형의 ‘SSR2OSR’ 생성을 생성하는 경우, 격자망을 10km단위로 구성한다면 전체 ~1200개 이내의 격자로 전국토를 포함할 수 있다.



<그림 4-16> 서비스 대상 지역

단위격자를 10km로 구성하는 경우, 최대 기선거리는 대각선 길이의 절반인 ~7.2km이다(<그림 4-17> 참고). 일반적으로 저가형의 소형 GNSS 모듈에서 RTK 측량은 기선거리 ~10km 이내에서

가능하므로 격자망을 10km 단위로 구성하면 전국 ‘SSR2OSR’서비스가 가능해진다.



<그림 4-17> 격자생성 예시

격자형의 ‘SSR2OSR’생성을 위해 GNSmart2의 사용자 SW인 ‘SSR2OBS’를 활용하였다. GNSmart2에서는 ‘SSR2OBS’를 이용하여 SSRZ 정보를 각 격자점에서의 관측치로 생성이 가능하다. SSRZ는 모든 위성군(GPS, GLONASS, BDS, Galileo, QZSS 등)과 모든 주파수, 모든 신호 값을 포함한 서비스가 가능하므로 SSRZ를 사용하면 위성 군과 주파수, 신호 값에 상관없이 ‘SSR2OSR’을 생성할 수 있다.

격자점에 대한 ‘SSR2OSR’ 생성은 GNSmart의 -POS 옵션에 해당한다. -POS 옵션에서 생성하고자 하는 격자 위치의 위도와 경도, 고도를 입력하면 입력된 위치에 대한 OSR이 생성되며, 격자망 각 지점에서의 위도와 경도, 고도를 설정하여 격자형의 ‘SSR2OSR’을 생성하였다.

<표 4-20> POS 옵션 입력 예시

```
start rtmr in test -c=127.0.0.1:8100 +R +RD -RD -d -dr +o
-POS=N, 37, 25, 0. 0, E, 127, 35, 0. 0, 100
```

이와 같은 방법으로 생성된 ‘격자점에 대한 SSR2OSR’의 실현 가능성 판단을 위해 기선거리별 측위 성능을 테스트하였다. 테스트 장소를 기준으로 각각 10km와 20km 거리에 격자점을 생성하였으며 기선거리에 따른 측위 정확도 및 수렴 시간을 확인하였다.

- 테스트 일자 및 장소: 2020년 9월 6일 (DOY250), 인하대학교 4호관 옥상
- 테스트 장비: 수신기 Septentrio AsteRx4, 안테나 TRM57971.00
- 성능 확인을 위한 기준좌표: APPS 좌표 처리

테스트는 기선거리 10km인 경우 2회, 20km인 경우 1회로 총 3회 수행하였으며 각 테스트 별로 약 ~1시간 정도 진행하였다. 각 테스트에 대한 결과를 <표 4-21>에 정리하였다. <표 4-21>의 수렴 시간에서 3D → FIX는 좌표가 출력되는 시점부터 측위모드가 FIX가 되는데 까지 소요된 시간이며 FLOAT → FIX는 측위모드가 FLOAT에서 FIX가 되는데 소요된 시간이다.

<표 4-21> 기선거리별 수렴시간 및 측위정확도

기선거리	수렴시간 (단위: 초)		수평 RMS (단위: cm)
	3D → FIX	FLOAT → FIX	
10km	1	0	1.6
	2	0	1.8
20km	3	1	1.0

테스트 결과, 기선거리 20km 까지는 성능의 차이 없이 유사한 수준의 측위 정확도를 확인하였다. 수렴시간의 경우, 기선거리 10km에서는 FLOAT 모드를 거치지 않고 바로 FIX가 되었으며 기선거리 20km에서는 FLOAT 모드를 거치긴 하지만 전체 수렴시간 3초로 매우 빠르게 수렴하는 것을 확인하였다.

본 과정에서는 SSR 보정정보의 효용성을 높이기 위한 방법으로 기존의 OSR 사용자들을 위한 격자망 기반의 'SSR2OSR' 생성 전략을 제시하고 제시한 방법을 테스트하여 실현 가능성을 확인하였다. 이 과정으로 GNSmart의 'SSR2OBS'를 사용하여 격자에 대한 RTK 서비스를 구현하고 기선거리별 테스트를 진행하였다. 테스트 결과, 기선거리에 따른 측위성능의 차이는 확인되지 않았으며 측위 정확도 및 수렴시간을 보았을 때 제시한 '격자망기반 SSR2OSR' 방식은 실현 가능성이 매우 높은 것으로 판단된다. 이 방법이 서비스화 될 경우, 저가형 GNSS 모듈에서 RTK 구현이 가능해지며 특히 GNSmart는 동시접속자 수의 제한이 없기 때문에 무제한 RTK 서비스가 가능해질 것으로 판단된다.

본 사업에서는 신규 도입하여 정식서비스를 앞두고 있는 SSR 방식의 네트워크 RTK 서비스의 품질을 보장하고 안정적인 서비스 제공을 위한 목적으로 국내 환경에 최적화된 SSR 보정정보 생성을 위한 연구개발을 수행하였다. 이를 위한 과정으로 GNSmart2 기반 SSR 서비스 최적화 및 성능 테스트, SSR 보정정보 품질평가지표 선정 및 개선된 SSR 서비스의 품질검사, SSR 보정정보 서비스의 활용강화 방안 도출 등 3가지로 나누어 연구를 수행하였다.

1. GNSmart2 기반 SSR 서비스 최적화 및 성능 테스트

1) 최적의 SSR 생성을 위해 전국에 분포하고 있는 위성기준점 중 관측 환경 및 수신기 사양, 관측망의 분포 등을 고려하여 위성기준점을 선별하고 관측망을 구성하였다. 관측망 별 생성되는 보정정보의 성능을 비교하고 국내 환경을 고려하여 대류권, 이온층 등 각 오차 보정정보의 품질을 개선하여 측위 성능을 향상시켰다. GNSmart의 성능 개선 과정 및 최적화 관련 과정은 옵션 조정 해설서 및 운영 관리 매뉴얼로 작성하였다.

2) 개선된 관측망을 이용하여 현장 측위테스트를 수행하고 측위 성능을 확인하였다. 측위테스트는 ‘SSR’ 또는 ‘서버에서 OSR(FKP)로 변환한 SSR’을 이용하였으며 총 5 가지의 테스트를 수행하여 다양한 방법으로 SSR의 성능을 확인하였다.

가. 전국 권역에서의 측위 안정성 테스트

국토지리정보원에서 운영 중인 위성 기준점 중, 각 지역별 분배된 7개의 위성기준점(양평, 서산, 동해, 장흥, 제주, 상주, 경주외동)을 대상으로 SSR 측위를 수행하였다. 그 결과, 전국권역에서 수행된 SSR 측위의 정확도는 평균적으로 수평 0.12m, 수직 0.13m 수준의 결과를 보였다. SSR 측위 정확도가 가장 높은 지역은 상주이며, 상주에서의 측위 정확도는 수평 0.05m, 수직 0.09m 수준을 보였다. SSR 측위 정확도가 가장 낮은 지역은 경주외동으로, 경주외동에서의 측위 정확도는 수평 0.21m, 수직 0.17m 수준을 보였다. 경주외동의 측위 결과는 상대적으로 정확도가 낮지만 바이어스와 함께 정밀하게 수렴되었다는 것을 고려한다면, 개선된 SSR 보정정보는 전국권역에서 안정성을 보인다.

나. 수신 장비별 테스트(2주파/1주파/스마트폰)

2주파 및 1주파 GNSS 수신장비와 스마트폰으로 기록된 관측치를 이용하여 SSR 측위를 수행하

였다. 그 결과, 3회에 걸쳐 수행된 2주파 SSR 측위 정확도는 모두 수평 1.8cm, 수직 4.3cm 이내 수준을 보였으며, 1회 수행된 1주파 SSR 측위 정확도는 수평 23cm, 수직 14cm 수준을 보였다. 마지막으로 1회 수행된 스마트폰 SSR 측위 정확도는 수평 144cm, 118cm 수준을 보였다.

다. 도심지 환경에서의 SSR 및 기존 OSR 측위 성능 비교

도심지 환경에서 SSR 측위 및 OSR 측위를 수행하였으며, OSR 측위에는 국토지리정보원의 VRS 서비스를 사용하여 수행되었다. 2곳의 도심지 환경에서 SSR 측위 및 OSR 측위를 수행한 결과, SSR 측위 정확도는 수평에서 1.5m, 2.9m, 수직에서 1.6m, 4.2m 수준을 보였으며, 최대 오차 같은 경우 수평에서 2.8m, 9.5m, 수직에서 4.1m, 13.3m를 보인다. 반면에 OSR 측위 정확도는 수평에서 1.1m, 11.1m, 수직에서 1.7m, 5.2m 수준을 보였으며, 최대 오차 같은 경우 수평에서 9.4m, 90.3m, 수직에서 16.4m, 45.5m 수준을 보인다. 이를 보아, 도심지 내 SSR 측위 성능은 정확도 및 안정성 방면에서 OSR 측위 성능에 비해 우수한 것으로 확인된다.

라. 이동측위 분야 활용 가능성 확인

주행 환경에서 동시에 수행된 SSR 측위와 VRS 측위를 비교하여 이동 측위 분야에서의 SSR 서비스 활용 가능성을 확인하였다. 2회의 주행 테스트 결과, SSR 측위는 VRS 측위를 기준으로 수평 0.11m, 0.15m 수준의 정확도를 보였으며, 수직 0.45m, 0.46m 수준의 정확도를 보였다. VRS 측위 정확도가 수 cm인 점과 자율주행기술에서 요구하는 측위정확도가 0.1~0.5m 수준인 것을 고려한다면, SSR 서비스는 이동측위 분야에서 충분히 활용 가능할 것으로 보여진다.

4) 국토지리정보원 SSR과 QZSS CLAS의 측위 성능 비교

국토지리정보원의 SSR을 이용한 측위와 일본의 CLAS를 이용한 SSR 측위를 각 서비스 대상 지역의 위성 기준점 3곳에서 수행한 후, 두 SSR 측위 성능을 비교하였다. 그 결과, 국토지리정보원의 SSR을 이용한 측위 정확도는 평균적으로 수평 0.11m, 수직 0.13m 수준을 보였으며, 일본의 CLAS를 이용한 측위 정확도는 평균적으로 수평 0.15m, 수직 0.22m 수준을 보였다. CLAS 측위가 수행된 기준점 중 한 곳에서의 측위 정확도는 국토지리정보원의 SSR을 이용한 측위 정확도 보다 우수한 경우도 있었지만, 이는 수평 방향으로만 0.05m 정확한 수준이다. 결과적으로 국토지리정보원의 SSR 측위 성능은 일본 CLAS의 측위 성능과 최소 동등하거나 우수한 것으로 보여진다.

2. SSR 보정정보 품질평가지표 선정 및 개선된 SSR 서비스의 품질검사

1) SSR 보정정보의 품질 평가를 위해 각 보정정보별 품질 분석을 수행하였다. 위성 궤도의 SSR 보정정보 분석을 위해 항법 위성군별(GPS, GLONASS, Galileo) 정밀궤도력과 비교하는 과정을 수행하였다. 이온층 보정정보 분석의 경우, 전 지구에 대해 격자정보로 제공하는 GIM (Global

Ionosphere Model)을 기준으로 보정정보를 비교하였으며 대류권 보정정보 분석의 경우, IGS의 상시관측소에 대해 제공하는 ZPD를 기준으로 비교하였다. IGS에서 제공하는 위성궤도 SP3 및 이온층 GIM, 대류권 ZPD의 경우 전 세계에 분포하는 IGS 상시 관측소의 데이터를 기반으로 2~3주의 생성기간을 거쳐 제공된다. 그러나 국토지리정보원의 SSR 보정정보의 경우, 국내 30개의 위성 기준점에서 관측되는 데이터를 기반으로 실시간 생성된다. 따라서 각 오차에 대한 총량은 참값에 가깝지만 각 개별 오차요소에는 바이어스가 존재한다. 이러한 특징으로 IGS의 보정정보와 비교할 때, 수치적으로는 오히려 정확도가 낮아지는 경우도 발생하나 전체적인 보정값의 흐름이 같은 패턴으로 지속되는 것을 확인하는 것이 필요하다.

2) GNSmart를 통해 생성된 SSR 보정정보를 저장하고 이를 자동으로 디코딩하는 프로그램을 구현하였다. 보정정보는 1시간 단위로 .srg 형태로 저장되며 이를 디코딩하여 위성 궤도와 위성 시계, 위성 바이어스, 이온층, 대류권 보정정보로 나누어 .mat 형태로 저장하였다. 디코딩된 파일을 이용하여 보정정보의 통계 산출 확인 및 측위 성능 분석이 가능하다.

3. SSR 보정정보 서비스의 활용강화 방안 도출

1) RTCM SSR 분과 회의자료 및 공식 표준문건 조사를 통해 SSR 관련 국제 표준 제정 현황을 파악하였다. RTCM SSR 표준화 작업은 전체 3단계로 현재 2단계까지 완료되었으며, 3단계 과정이 매우 더디게 진행되고 있어 각 SSR 서비스마다 고유의 포맷으로 SSR 서비스를 운영하고 있는 상황이다. SSR 수신기 관련하여 미국과 유럽, 일본에서 판매되고 있는 수신기의 현황을 조사하였으며 공개된 SSR 포맷인 GNSmart의 SSRG와 SSRZ, QZSS Compact SSR, Sapcorda의 SPARTN 메시지의 표준을 분석하고 각 메시지의 특성을 비교하였다.

2) 격자망 기반의 'OSR(FKP)로 변환한 SSR' 보정정보 생성을 위한 상세전략을 도출하고 서비스 구축의 타당성 및 적절성을 조사하였다. 이는 기존 OSR 방식의 측위 기술 사용자가 SSR 보정정보를 활용할 수 있는 방안으로 격자망 형태에 'OSR(FKP)로 변환한 SSR' 보정정보 생성을 위한 상세 전략을 도출하였으며 서비스 구축의 타당성 실현 가능성을 분석하였다.

참고문헌

- 박관동, 김지혜, 원지혜, 김두식 (2014), GPS 코드의사거리 기반 정밀단독측위 (PPP) 알고리즘 개발 및 측위 정확도 평가, 한국지형공간정보학회지, 제22권, 1호, pp.47-54
- 박상우, 이석원, 이종식 (2019), 5G가 열어가는 자율주행 세상, 방송과 미디어, 제24권, 1호, pp.23-32
- Bar-Sever, Y.E., Kroger, P.M, Borjesson, J.A. (1998), Estimating horizontal gradients of tropospheric path delay with a single GPS receiver, JGR, Vol.103, pp.5019-5035
- Blonski, D., Hahn, J., Enderle, W., Fernandez Hernandez, I., Hayes, D. (2019) Technical Consideration for PPP interoperability, Workshop on the applications of Global Navigation Satellite Systems (GNSS), Suva, Fiji
- Centimeter Level Augmentation Service (CLAS), https://qzss.go.jp/en/overview/services/sv06_clas.html
- Geo++ (2018), Geo++ State Space Representation Generalized Format (SSRG) Binaty Output from Geo++ GNSMART Document Version 2.6.1 (final)
- Hirokawa, R. (2019), Recent Activity of International Standardization for High-Accuracy GNSS Correction Service, Standards and Interoperability of Precise Point Positioning Services Workshop on the Applications of Global Navigation Satellite Systems, Suva, Fiji
- IS-GPS-200H (2013), Global Positioning Systems Directorate Systems Engineering & Integration, Interface Specification, Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interface
- Japan Cabinet Office (2019), Quasi-Zenith Satellite System Interface Specification Centimeter Level Augmentation Service
- Park, K.-D., Lee, H.-C., Kim, M., Kim, Y.-G., Seo, S., Park, J. (2018), Accuracy Comparison of GPT and SBAS Troposphere Models for GNSS Data Processing, JPNT, Vol.7, No.3, pp.183-188
- RTCM (2006), RTCM STANDARD 10403.1 FOR DIFFERENTIAL GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS) SERVICES - VERSION 3
- Safe Position Augmentation for Real-Time Navigation (SPARTN) Interface Control

Document Version 1.8.0 (2020) Scottsdale

The 5G Evolution: 3GPP Releases 16-17 (2020), 3GPP

Vena, S., Aggrey, J., Bisnath, S., Leandro, R., Urquhart, L., Gonzalez, P. (2019)
Analysis of GNSS correction data standards for the automotive market,
NAVIGATION, Vol.66, pp.577-592

Wubben, G. (2012) Geodetic Reference via Precise Point Positioning-RTK,
GENERAL ASSEMBLY OF CLGE, Hanover, Germany

Wubben, G., Schmitz, M., Wubben, J. (2017) SSR & RTCM-Current Status, 4th
EUPOS Technical Meeting, Bratislava, Slovakia

CLAS Archives, <http://sys.qzss.go.jp/dod/en/archives/clas.html>

IGS Network 공식 홈페이지, <http://www.igs.org/network>

SPARTN 공식 홈페이지, <https://www.spartnformat.org>

Septentrio 공식 홈페이지, <http://www.septentrio.com>

u-blox 공식 홈페이지, <http://www.u-blox.com>

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토교통부 국토지리정보원의 수탁을 받아 ㈜피피솔에서 수행한 보고서입니다.
2. 본 내용을 대외적으로 게재, 인용할 때에는 반드시 국토교통부 국토지리정보원의 사전 허락을 받기 바라며, 무단 복제는 절대 금합니다.

SSR 서비스 최적화

인쇄·2020년 9월

발행·2020년 9월

발행자·사공호상

발행처·국토교통부 국토지리정보원

주소·경기도 수원시 영통구 월드컵로 92(원천동)

전화·031-210-2700

FAX·031-210-2644