

## GPS 기준망의 가상기준점에 의한 후처리 측위 분석 Analysis of the Post-Processed Positioning by Virtual Reference Stations based on GPS Permanent Network

이용창<sup>1)</sup>, Yong-Chang Lee · 강준목<sup>2)</sup>, Joon-Mook Kang

<sup>1)</sup> 시립인천전문대학 토목과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Eng., Incheon City College

<sup>2)</sup> 충남대학교공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Eng., ChungNam National Univ.

**SYNOPSIS** : As the distance between GPS rover station and GPS base station increases, more decorrelated positioning errors limit the ability for PDGPS(Precise Differential GPS). The objective of this paper is to present the improvement of using VRS(virtual reference station) based on multiple GPS reference station network to single reference station for static positioning in post-processing mode. For this, the VRS observations from GPS observations of real reference stations are derived by using Web service in post-mode. The coordinates of check point post-processed by 27 kind of VRS observations compared with the known ones.

**Key words** : PDGPS, VRS, multiple GPS reference station network, Web

### 1. 서 론

실시간 동적 GPS 측위(RTK)는 반송파 위상의 모호정수(Carrier phase ambiguity)가 이동 중에도 정수치로 해석되는 한(on-the-fly ; OTF) cm 급의 측위 정확도를 제공할 수 있으므로 육상, 해상 및 공중의 측량 및 항법 응용분야에서 그 수요가 증가되고 있는 추세에 있다. 그러나 기존 RTK 기법(a single base RTK)은 주로 전리층의 영향으로 사용자와 기준국간의 거리가 멀어질수록 공통오차의 상관성이 점차 결여되어 정밀도가 떨어지므로 기준국과 이용자간의 최대 유효거리는 10~15km 혹은 그 이하로 제한되고 있다. 특히, 지역에 따라서는 단거리인 경우에서도 전리층 및 대류층의 변화가 심해 적용범위가 더욱 축소되는 경우도 있다. 이런 문제는 GPS 상시 관측망 RTK 기술을 사용하여 개선시킬 수 있다.<sup>(1, 2)</sup> (Lambert Wanninger, 1999 등),

GPS 상시 관측망에 근거한 RTK(Multi reference station based RTK ; Network RTK) 방식은 기존 GPS 상시관측소의 자료를 적극 활용하여 기준망 내 임의 지역의 이동국에 대한 Code 및 반송파 위상의 보정값을 산정하고 해당지역에서 사용자가 모호정수를 신속히 결정할 수 있게 한다. 이 방법의 장점은 성공적인 이동 중 초기화(OTF)가 가능한 범위를 확대시켜 기존 RTK 기법에서는 필수요소였던 다수의 기준국을 축소시켜 매우 경제성 있는 측위가 가능하게 되었으므로 그 효용성이 크게 기대되고 있다.

Network RTK 방식은 보정정보의 내용에 따라 양방향 통신체계를 활용, 기존 RTK 측량 방식을 향상시킨 가상관측값 방식(VRS mode ; PDGPS ; Precise Differential GPS)과 단 방향 통신체계 하에서도 운용이 가능하며 LBS (Location based service) 및 ITS(Intelligent Traffic system)에 유용한 보정값 방

식(Broadcast mode ; DGPS)이 있다. 1997년 이후로 활발히 연구되어 현재까지 발표된 Network RTK 방식은 3종류가 있고 이중 이미 두 가지는 상업용으로 제공되고 있지만 보정 메시지의 전송형식이 회사마다 독립적이어서 호환성에 문제가 있다. RTCM SC-104에서는 별도의 소위원회를 구성하여 제조사 간 호환이 될 수 있는 Network RTK 보정메시지의 전송 형식을 RTCM V2.3 및 아직 검토 중인 V3.0에 채택하는 방식을 연구 검토 중에 있고 이에 관련한 많은 제안과 비교연구가 발표되고 있다.<sup>(3-5)</sup>(Gerhard Wubbena, 2001 등)

기존의 RTK 방식에 비해 Network RTK 방식이 우수함을 후처리 방식으로 입증한 다수의 논문이 발표된바 있고 특히, RTK 측위방식의 단점을 보완하여 L1 또는 L1/L2 GPS 수신기 1대만으로도 24시간 실시간 혹은 후처리로 높은 정밀도의 측위가 가능한 Web 서비스를 실시 중인 국가도 있다. Network RTK 방식은 독일, 캐나다, 미국, 일본, 호주, 싱가포르 등 여러 국가의 GPS 상시 관측망에 적용되어 기존 RTK 기법에 비해 월등한 효율성이 입증된바 있고 국내에서는 표준과학연구원 천문대에서 KAO의 9개 기지국으로부터 MultiRef s/w를 통해 산정된 Code 및 Carrier phase 보정정보를 MBC FM DARC(Data Radio Channel)를 통해 제공하고 있다.<sup>(6-8)</sup>(C.R. Keenan, 2001 등)

국내에는 약 80여점(평균 간격 30-50km 정도)의 GPS 상시 관측소가 이미 설치 운용 중이고 CDMA 방식에 근거한 개인 휴대폰 서비스가 대중화된 상태로서 Network RTK 방식을 구축하기 위한 하드웨어적 인프라가 매우 이상적으로 구축된 상태이므로 소프트웨어적인 부분을 개발 혹은 기존 방식을 비교 검토하여 효율적인 방식을 채택 적용한다면 대국민 LBS는 물론 정밀 측지분야에서 경제성 있는 RTK 측위실현 등 그 효율성이 매우 기대되며 GPS는 물론 GLONASS와 향후 GALILEO 위성이 복합적으로 조합될 경우, 태양활동의 증감 및 기상현상의 지역적 특성 등이 대부분 고려된 기상보정자료의 제공 등으로 국가적 GPS 상시관측망의 효율성의 극대화는 물론 다가올 3G(GPS, GLONASS, GALILEO)시대에 매우 혁신적인 DGNSS측위가 실현될 것으로 주목되고 있다.

본 연구에서는 후처리 GPS-VRS 측량방식의 효율성을 검토하는데 중점을 두었다. 이를 위해 VRS의 개념과 종류 및 생성과정을 고찰하고 독일 GPS 상시관측망(SAPOS : Satelliten positionierung sdiens) 중 서부지역망(NRW : Nordrhein-Westfalen)의 일부지역(7개의 GPS 상시관측소로 구성된 약 1°×1°범위)에서 특정 이동국으로부터 기선거리별로 임의 가상기준점을 다수 선점하고 각 가상점이 포함된 삼각망을 구성하는 인접한 최소 3개소의 상시관측소 자료를 보간·조합하여 각 경우별 VRS 고정국의 가상 관측자료를 사후처리모드로 Web 서비스를 통해 산출하였다. 특정 고정국의 실관측자료와 이동국의 가상 관측자료를 상용 GPS s/w로 L1 및 L1/L2 자료 처리하여 기선거리별 이동국의 좌표를 산정하고 기 발표된 이동국의 정밀좌표와 비교·고찰하여 후처리 GPS-VRS의 효율성을 검토하므로써 향후, DGNSS에 의한 각종 지형정보 구축의 활력소를 제공하고자 한다.<sup>(8-9)</sup>(SAPOS 등)

## 2. VRS 종류 및 생성과정

VRS는 가상기준점 결정을 위한 GPS 상시 관측소의 지역적 선택 범위에 따라 기존 RTK 관측값 내 systematic 오차원(전리층, 대류층 및 위성궤도력)의 모델링을 통하여 문제시된 오차를 소거하거나 축소시켜 OTF 초기화 및 Carrier ambiguity 해석 시간을 단축시키는 장점이 있어 기존 RTK 측량의 고정국과 이동국간 적용 거리를 증가시켜 신뢰도의 향상은 물론, 1대의 2주파 혹은 1주파 수신기 만으로도 높은 정밀도를 획득할 수 있다. 그러나 Network RTK의 경우도 기준국 측점에 종속된 요인(Multipath, 상이한 기종의 안테나 사용에 따른 Phase 중심의 변동, 기타 noise)등에 따른 오차의 영향은 점차 해결해야할 과제이다.

## 2.1 Network RTK의 종류

현재까지 발표된 Network RTK시스템에는 자료처리 시점을 기준으로 실시간 측위가 가능한 RTK 및 DGPS와 후처리에 의한 Static 및 DGPS방식이 있으며 실시간 방식의 경우, 전송자료의 내용 구성에 따라서 VRS 관측값 전송형식과 Broadcast 보정정보 전송형식이 있고 세부적으로는 보정계수 단독형(격자, FKP), 가상관측값 단독형 및 보정계수형(격자, FKP)과 가상관측값 양방향 지원형으로 구별되기도 한다. 또한 자료의 송수신 방식에 있어 양방향 및 단방향 방식이 있는데 결과는 동일하지만 주된 차이점은 양방향의 경우 관측자의 절대위치를 센터에 보내고 센터에서 산정된 VRS 관측값을 수신받는 관계로 양방향 통신수단(휴대전화, 모뎀)이 필요한 반면, 단방향의 경우는 센터에서 보낸 보정 파라미터와 이동국의 절대측위자료를 조합하여 관측자가 직접 VRS 관측값을 산정해야 한다는 점이며 보정 파라미터 전용 수신기가 필요하다.<sup>(9-11)</sup>(Lambert Wanninger, 2002 등)

### 2.1.1 실시간 처리(VRS-RTK, VRS-DGPS 측위)

RTK 측위와 동등한 측위정도를 얻을 수 있고 또한 초기화 시간이 1분 이내이므로 종래의 RTK 측위에 비해서 생산성이 대폭적으로 향상된 방법이다. 또한, 고정국의 설치도 필요치 않으며 고정국의 선점 및 설치작업, 배터리교환과 작업원의 배치 등 지금까지 시간과 노력이 걸렸던 부분을 생략할 수 있다. 무엇보다도 중요한 장점이라면 종래의 RTK측위의 작업 가능범위가 고정국으로부터 대략 최대 10~15km(최소 500m) 이내로 한정되는 반면 실시간 VRS는 이동국 가까이에 가상 기준점을 이용하기 때문에 고정국과 이동국간 기선장에 대한 제한이 없다는 점이다. 이와 유사하게 VRS-DGPS의 경우도 이동국 근처에 가상기준점을 만들기 때문에 1m 이하의 높은 정밀도의 실시간 DGPS 측위결과를 획득할 수 있다.

### 2.1.2 사후 처리(VRS-Static 측위)

종래의 정지측량에서는 기존의 기준점을 사용하기 때문에 대개 산 꼭대기까지 기재를 운반설치하는데 많은 시간과 노력을 필요로 한다. VRS-Static 측위는 미지점을 측정하고 기준점의 관측자료는 Web 사이트에 접속하여 관측일시와 기지점 좌표를 지정하는 것만으로 기지점의 관측자료가 자동계산 취득할 수 있다.

## 2.2 VRS의 생성과정 Network RTK 방식에서 보정값 및 VRS 생성과정

Network RTK 방식의 기본원리는 그림1과 같이 실제 관측점 A, B 및 C에서 임의 위성군의 관측량을  $\Psi_A$ ,  $\Psi_B$ ,  $\Psi_C$ , 관측자 R의 단독측위로부터 생성된 가상기준점을 V라할 때, 가상점 V를 포함하면서 삼각형을 구성하는 인접측점 A, B, C 및 V의 좌표와 관측량  $\Psi_A$ ,  $\Psi_B$ ,  $\Psi_C$ 를 보간하여 동일 관측시간 동안 가상점 V의 위치에 있는 GPS 수신기의 가상 관측량  $\Psi_V$ 를 산정한다. 그러나  $\Psi_A$ ,  $\Psi_B$ ,  $\Psi_C$  내에는 정수치 bias, 위성 및 수신기의 시계오차, 전리층 및 대류층 지연 등과 같은 오차가 포함되어 있어 단순 보간 만으로는 VRS 관측량을 산정할 수 없다. 즉, 보간 계산 이전에 이들 오차를 제거 또는 최소화 해야만 하며 이 과정이 VRS 관측량 생성과정 중 가장 중요한 부분이다. 현재까지 세계적으로 3가지의 가상기준점 방식이 소개되었으나 이들 방식의 차이점은 오차의 보정 모델링에 있다. 3가지 가상기준점 방식은 기본원리 및 정밀도면에서 동일하나 전송내용에서 양방향 통신을 활용한 가상 관측량 또는 단방향 통신의 보정량이 전송된다는 차이가 있으며 운용상의 편이성과 계산부담 등에서 미묘한 차이가 있는데 일반적인 자료의 생성과정을 정리하면 그림 2와 같다. 가상점에 대한 상세한 Code 및 Carrier 관측자료 및 보정자료의 생성과정은 참조문헌으로 대신한다.<sup>(9-11)</sup>(Lambert Wanninger, 2002 등)

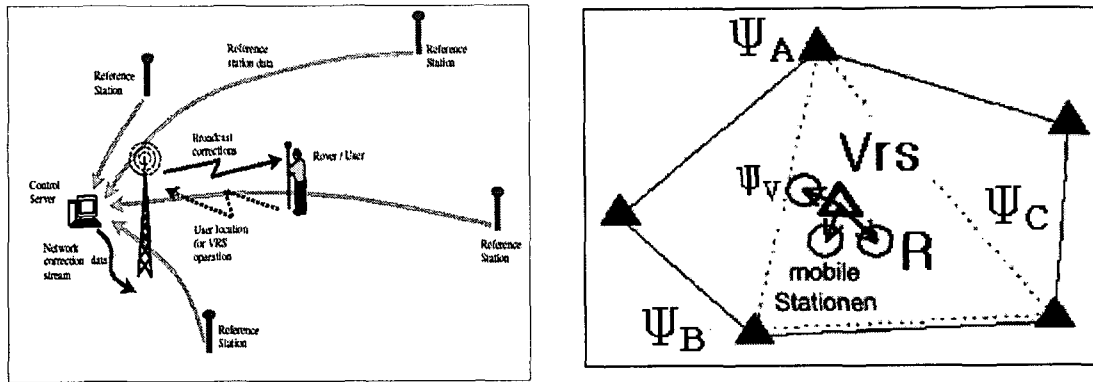


그림 1. VRS 측위개념

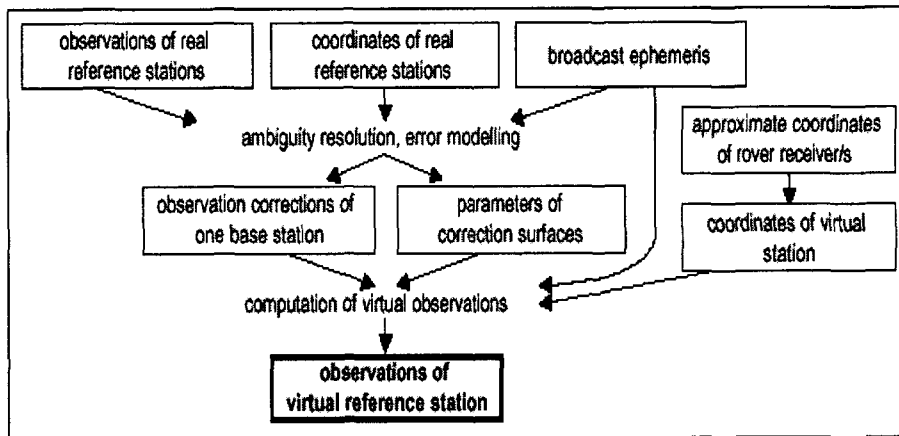


그림 2. 가상관측점의 자료생성과정

### 3. 관측자료획득 및 처리

본 연구를 위해 독일 GPS 상시 관측망 중 서부 지역망 센터(SAPOS-Seite des Landesvermessungsamts Nordrhein-Westfalen)의 협조로 그림 3과 같은 독일 서부지역 내 7개의 GPS상시관측소로 구성된 약  $1^\circ \times 1^\circ$  지역을 선정하고 7개 GPS 상시관측소의 중앙에 위치한 Essen 측점을 특정 이동국으로 가정하여 Essen측점에서 SW방향으로 위도 및 경도 각각  $1'$  씩 감소시켜 전개한 13개소의 가상측점과 위도는 고정하고 경도만을 각각  $1'$  씩 증가시켜 NE방향으로 전개되는 9개소의 가상측점 및 Essen 주변 20km~30km 범위 내 4개소의 가상관측값을 SAPOS-NRW VRS Web 서비스로부터 후처리 방식으로 획득하였다.<sup>(8)</sup>(SAPOS, 2002)

7개 상시관측소는 Choke-Ring 안테나와 Trimble 4000SSi, Trimble 4700 및 Geotracer 2200등 2주파 GPS수신기로 운영되며 SAPOS-NRW 자료센터에 실시간으로 관측자료를 전송한다. Essen 관측소에서 실제 관측된 GPS관측량과 VRS의 가상관측량은 2002년 6월 13일(doy164, GPS week 52438), epoch 1초 간격으로  $15^\circ$ 이상의 위성으로부터 획득된 4시부터 5시(UTC)까지의 1시간 관측 자료이다.

총 27개의 각 경우별 가상기준점과 Essen 측점간의 자료처리는 L1 및 L1/L2 자료별로 재편성하여 GeoGenius s/w로 처리하고 기선거리별 이동국의 좌표를 산정한 후, 이동국의 기존 정밀좌표와 비교·고찰하였다.

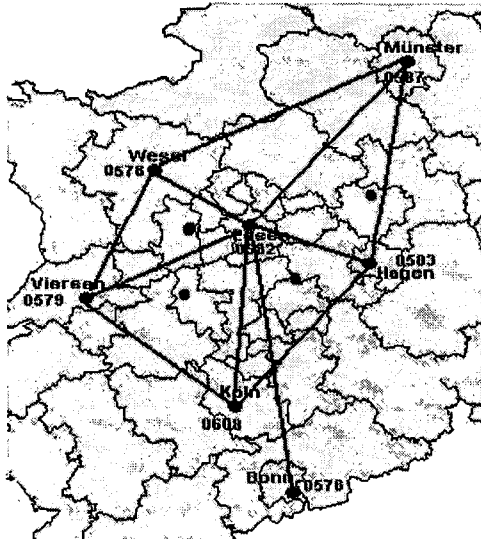


그림 3. VRS 시험망

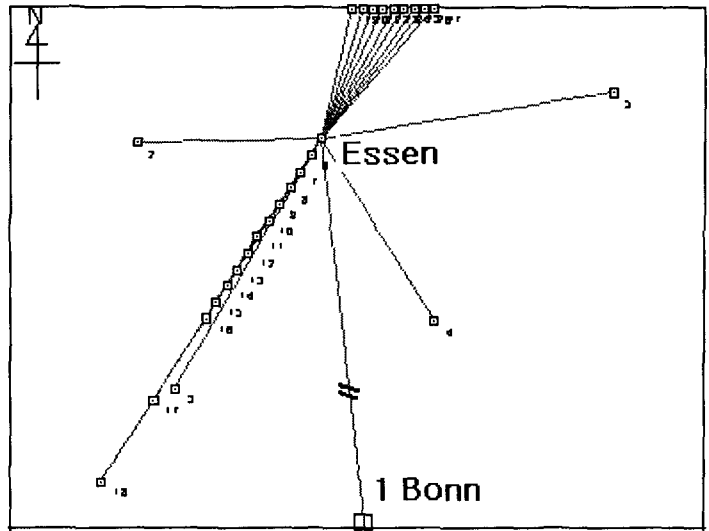


그림 4. VRS 가상기준점 분포 (경우 수 #1~#27)

#### 4. 비교분석

그림 5는 27가지의 VRS 측점, 각 경우를 고정국으로 하여 Essen 측점의 좌표를 1주파 및 2주파 자료처리로부터 각각 산정하고 기존 Essen 측점의 정밀 좌표( $X = 3952580.065$ ,  $Y = 486453.146$ ,  $Z = 4965651.152$ )와 비교하여 산정한 좌표성분별 편차( $dX$ ,  $dY$ ,  $dZ$ )를 도시한 것이다. 여기서,  $dX2$  및  $dX1$ 은 각각 2주파 및 1주파 관측자료의 해석에 의한 좌표편차를 나타낸다. 그림 4에서와 같이 Essen 측점을 중심으로 경우 1은 Essen으로부터 약 80km 떨어진 Bonn측점, 경우2 ~ 경우5는 그림 3에서와 같이 4상한에 분포하는 측점(검은 점), 경우6 ~ 경우16은 Essen 측점으로 부터 경·위도  $-1'$ , 경우17 및 경우18은 경우16으로부터 각각 경·위도  $-5'$ ,  $-10'$ 만큼 SW방향(3상한)으로 분포하는 가상 기준측점이다. 또한 경우19 ~ 경우27은 위도방향을 고정하고 Essen 측점에서 각각 경도  $-1'$ 만큼씩 변동시킨 1상한 내의 가상 기준측점들이다.

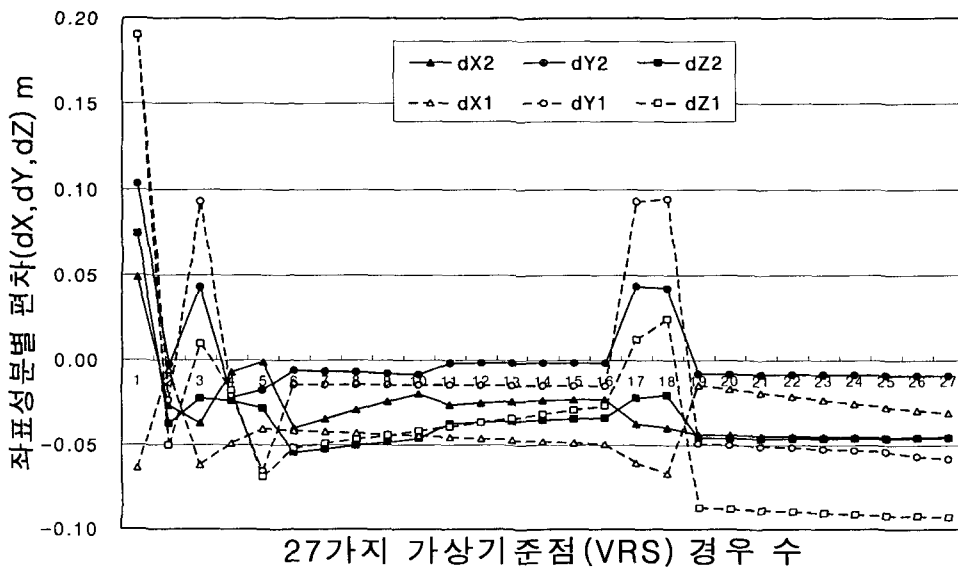


그림 5. 27가지 VRS에 의한 1주파 및 2주파 관측자료 별 Essen 측점의 좌표 성분 편차

Essen 측점으로부터 약 80km 떨어진 Bonn측점의 실 관측자료에 의한 좌표편차는 dX2, dY2, dZ2에서 각각 0.049m, 0.103m 및 0.074m의 편차를 보인 반면 dX1, dY1, dZ1의 경우는 -0.064m, 0.191m 및 0.190m로서 1주파에 비해 현저히 향상된 결과를 제시하였으나 Essen으로부터 20~30km 범위에 있는 경우2 ~ 경우5 및 경우17과 경우18의 가상측점의 경우는 기선거리가 증감됨에 비례하여 편차도 증감을 나타내었다. 특히 경우6 ~ 경우16은 dX2, dY2, dZ2 및 dX1, dY1, dZ1에서 각각 평균편차 -0.027m, -0.004m, -0.042m 및 -0.045m, -0.015m, -0.039m였고 경우19 ~ 경우27은 -0.045m, -0.009m, -0.046m 및 -0.023m, -0.053m, -0.090m로 나타나 현격히 향상된 좌표정밀도를 나타내어 후처리 GPS 가상기준점 방식의 효용성을 확인할 수 있었다. 또한, Essen 측점을 중심으로 3상한에 배치한 가상기준점(경우6 ~ 경우16)과 1상한에 배치된 가상기준점(경우19 ~ 경우29)의 상한별 좌표편차분포를 고찰하면 3상한의 경우 2주파 및 1주파 관측자료에 의한 각 좌표성분별 편차가 작게 나타난 반면, 1상한에서는 세 성분 모두 3상한의 결과에 비해 큰 편차를 나타내고 있다. 이는 그림 3 및 그림 5의 관측망을 토대로 검토해 볼 때 선정된 가상점의 관측값이 가상점이 포함된 삼각형을 구성하는 인접한 GPS 상시관측소의 관측 자료로부터 보간 산정되는 관계로 상시관측소의 배치 분포와 밀도가 큰 영향을 주는 것으로 사료된다.

본 연구에서는 외국의 자료를 활용하여 사후 VRS에 국한하여 그 효용성을 검토하였으나 향후, 이미 국내에 설치 운용중인 약 80여점(분포간격 약 50km 예상)의 GPS 가상기준점을 통합, Network RTK체계를 적용하여 국가차원의 실시간 DGPS/PDGPS 운영체제로 발전시킨다면 각종 지형정보의 구축은 물론 항법분야, ITS 및 일상생활 응용(LBS)에 활력소로서 국가의 펌웨어적 SOC(social overhead capital)가 될 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. Lambert Wanninger(1999), "The Performance of Virtual Reference Stations in Active Geodetic GPS-networks under Solar Maximum Conditions", Proceedings of ION GPS99.
2. Guorong Hu, Victor H.S. Khoo, Pong Chai Goh, and Choi Look Law(2002), "Testing of a Active Multiple Reference Station Network for RTK Positioning", Proceedings of ION GPS 2002.
3. Gerhard Wubbena, Andreas Bagge, and Martin Schmitz(2001), "RTK Networks based on Geo+ + GNSMART - Concepts, Implementation, Results", Proceedings of ION GPS 2001.
4. Nicholas Talbot, Gang Lu, and Timo Allison(2002), "Broadcast Network RTK Transmission Standards and Results", Proceedings of ION GPS 2002.
5. Changdon Kee and Jeonghan Kim(2002), "Efficient Transmission Technique of Compact RTK Correction Message for Low-rate RTK Data-link. Proceedings of ION GPS 2002.
6. C.R. Keenan, B.E.Zebhauser, and H.-J.Euler(2001), "Using Information from Reference Station Networks : A Novel Approach Conforming to RTCM V2.3 and Future V3.0.
7. J.U.Park, J.H.Joh, H.C. Lim, P.H. Park, B.H.Choi, S.W.Lee, B.Townsend, M.E. Cannon and G. Lachapelle(2002), "Multi-Reference GPS Network for Nationwide RTK Service in Korea", Proceedings of ION GPS 2002.
8. SAPOS, "http://www.saposnrw.de/".
9. Lambert Wanninger(2002), "Virtual Reference Stations for Centimeter-Level Kinematic Positioning", Proceedings of ION GPS 2002.
10. Ulrich Vollath, Alois Buecherl, Herbert Landau, Christian Pagels, and Bernhard Wagner(2000), "Multi-Base RTK Positioning Using Virtual Reference Stations", Proceedings of ION GPS 2000.
11. GPS 소위원회(2001), "VRS 방식에 의한 실시간 측위", 일본측량.