

GPS 데이터 품질관리 프로그램의 개발

Development of GPS Data Quality Control Program

윤홍식¹⁾ · 이동하²⁾ · 이영균³⁾ · 조재명⁴⁾

Yun, Hong Sic · Lee, Dong Ha · Lee, Young Kyun · Cho, Jae Myung

Abstract

This paper describes a new program called GPS_QC needed to check the quality of GPS observations before post-processing so that the surveyors can be improved the precision of GPS data analysis. The GPS_QC was designed to calculate the quality control (QC) parameters such as data gaps, cycle slips, low elevation angle, ionospheric delay, multi-path effects and DOP etc, within the period of GPS observation. It can be used to read and calculate the QC parameters from RINEX files. This program gives users brief statistics, time series plots and graphs of QC parameters. The GPS_QC can simply be performed the quality checking of GPS data that was difficult for surveyors in the field. It is expected that we can be improved the precision of positioning and solved the time consuming problem of GPS observation.

Keywords : GPS Data Quality Control, Quality Control Parameter, GPS_QC Program

초 록

본 연구는 GPS 데이터 해석 시 정밀도를 높이고 현장에서 관측시간 내 GPS 측량의 적절성 및 재측 여부를 등을 직접 결정할 수 있도록 GPS 데이터 품질관리 프로그램을 개발하는 것에 그 목적이 있다. 본 연구에서 개발된 GPS_QC 프로그램은 관측시간 내 위성의 기하학적 배치(DOP)와 다중경로 오차량, 전리층 지연량 및 사이클 슬립 등의 품질관리 인자(quality control parameters)를 RINEX 형식의 GPS 관측데이터로부터 직접 계산이 가능하도록 설계되었으며, 이러한 품질관리 인자는 시계열 형태와 그래프로 제공된다. GPS_QC 프로그램은 일반 사용자들이 다루기 어려웠던 기존의 복잡한 GPS 데이터 품질 확인을 간편하게 수행할 수 있도록 함으로써 실제 현장에서 잘못된 GPS 관측에 따른 재측여부 등을 직접 결정할 수 있게 함으로써 시간적·경제적 손실을 절감시키고, GPS 위치해석 시 정밀도를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

핵심어 : GPS 관측데이터 품질관리, 품질관리 인자, GPS_QC 프로그램

1. 서 론

최근 들어 GPS를 이용한 일반측량과 기준점측량과 같은 공공측량이 증가함에 따라 GPS 측정결과와 정밀도가 중요한 관심사항이 되고 있다. GPS 측정의 정밀도는 GPS 측위 오차에 밀접한 관련이 있으며, GPS 측위 오차는 구조적 요인에 의한 거리오차, 위성배치에 따른 기하학적 오차, SA에 의한 오차 등으로 세분화 될 수 있는데, 이

중 구조적 요인에 의한 거리오차와 위성배치에 따른 기하학적 오차가 GPS 측위 오차 중 가장 큰 요소로 대두되었다(Wellenhof 등, 1997).

이러한 구조적 요인에 의한 거리오차 중 지형 및 지물에 의해 반사된 GPS 신호를 수신기에서 수신함으로써 발생하는 다중경로 오차나 전자파적 잡음(noise)에 의한 오차, 그리고 위성의 배치에 따른 기하학적 오차는 데이터 수신 시 관측시간, 지형, 기상상태와 같은환경적인 요인에 크게

1) 정희원 · 성균관대학교 토목환경공학과 부교수, 공학박사(E-mail:yhs@geo.skku.ac.kr)
2) 연결저자 · 정희원 · 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정, 공학석사(E-mail:dhlee@geo.skku.ac.kr)
3) 성균관대학교 토목환경공학과 석사과정, 공학사(E-mail:yklee@geo.skku.ac.kr)
4) 정희원 · 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정, 공학석사(E-mail:jmcho@geo.skku.ac.kr)

좌우되어 이러한 오차의 영향치를 확인할 수 있다면 사용자에 의해 그 오차량을 최소화하는 것이 가능하다(이동하 등, 2004). 하지만, 현재 이러한 GPS 데이터의 품질을 현장에서 직접 확인하기 위한 적합한 프로그램이 개발되지 않은 실정이며, 기존에 사용되고 있는 TEQC(Estey, 1999 ; UNAVCO, 1995)와 같은 GPS 데이터 품질관리 프로그램의 경우 그 결과를 비전문가가 쉽게 인지하고 사용하기 어려워 GPS 측량 시 데이터 품질에 대한 확인은 무시되는 경우가 대부분이었다. 따라서 GPS 데이터 해석 시 정밀도가 떨어지는 경우가 많이 발생하였으며, 이러한 경우에는 데이터 해석 시 원하는 정밀도를 획득할 때까지 다시 현장으로 나가 재측을 수행함으로써 시간적, 경제적 측면에서 상당한 손실이 있어왔다.

본 연구의 목적은 RINEX 포맷의 GPS 관측 데이터를 이용하여 GPS 데이터의 대략적인 품질을 나타내는 품질관리 인자(위성방위각, 위성고도각, DOP, L1·L2 주파 다중경로 지연량, 사이클 슬립, 전리층 지연량, 전리층 지연량의 시간변화율)을 계산하는 프로그램을 개발하는 것으로서, 이 프로그램을 이용하여 현장에서 GPS 데이터의 품질을 확인한다면 GPS 데이터 해석 시 정밀도를 높이고, 관측시간 내 측량의 적절성 및 재측 여부 등을 직접 결정할 수 있게 되므로, GPS 측량 시 시간적·경제적 손실을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 품질관리 인자

GPS 데이터의 품질을 판단하기 위한 품질관리(Quality Control : QC) 인자는 관측시간 내 GPS 위성 신호를 기록한 관측파일(observation file)과 GPS 위성의 위치를 기록한 방송력 파일(broadcast file)을 이용하여 계산되어진다. 본 연구에서 개발한 GPS_QC 프로그램은 RINEX 포맷의 관측파일과 방송력 파일을 입력하여 GPS 데이터 품질을 판별할 수 있는 품질관리 인자를 계산하도록 설계되었다. 품질관리 인자는 시계열 그래프와 보고서 형태로 제공되는데 각 인자는 다음과 같은 방법에 의하여 계산되게 된다.

2.1 GPS 위성의 기하학적 배치

GPS 측량 시 이용되는 위성들의 배치상황에 따라 오차가 증가하게 되는데, 이러한 위성의 배치는 관측시간 내 모든 위성의 고도 및 방위각을 계산함으로써 확인할 수

있다. 위성의 고도와 방위각은 방송력 파일에 기록된 위성 궤도 정보(orbital parameters)에 의해 계산되어 지는데, 이러한 위성궤도 정보를 케플러 요소(keplerian elements)라 부르며, 이를 이용하여 특정한 epoch 상에서 GPS 위성의 ECEF(earth centered-earth fixed) 좌표를 계산하게 된다(Leick, 2004).

2시간 단위로 정보를 기록하는 방송력 파일의 특성 상, 특정한 epoch에서의 위성의 위치를 구하기 위해서는 위의 위성궤도 정보를 이용하여 외삽의 과정을 수행해야 한다. 또한, 위성의 위치를 특정한 좌표계로 구하기 위해서는 각 좌표계를 정의하는 상수(constant)를 이용해야 한다. 본 연구에서는 WGS84 좌표계 상의 위성의 위치를 구하기 위하여 WGS84 상수를 사용하였다. 이러한 위성 궤도 정보와 WGS84 상수를 적용하여 간단한 계산과정을 수행하면 특정한 epoch에 수신된 모든 위성의 ECEF 좌표 (X_s, Y_s, Z_s)를 계산할 수 있다(Leick, 2004).

계산된 위성의 ECEF 좌표(X_s, Y_s, Z_s)와 수신기의 ECEF 좌표(X_R, Y_R, Z_R) 간의 위성방위각(azi)과 위성고도각(ele)은 식 (1)과 (2)를 이용하여 구할 수 있으며, 수신기의 ECEF 좌표는 RINEX 관측파일의 헤더부에 기록되는 초기 좌표(approximate coordinate)를 이용하였다.

$$azi = \tan^{-1} \left(\frac{-\sin \lambda_R \Delta X + \cos \lambda_R \Delta Y}{-\sin \phi_R \cos \lambda_R \Delta X - \sin \phi_R \sin \lambda_R \Delta Y + \cos \phi_R \Delta Z} \right) \quad (1)$$

$$ele = \sin^{-1} \left(\frac{-\cos \phi_R \cos \lambda_R \Delta X + \cos \phi_R \sin \lambda_R \Delta Y + \sin \phi_R \Delta Z}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}} \right) \quad (2)$$

여기서, ϕ_R 과 λ_R 은 수신기의 WGS84 경위도 좌표로서 ECEF 좌표계와 경위도 좌표계간의 좌표변환에 의해서 구할 수 있다(Bowring, 1976). $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 는 수신기와 위성간의 ECEF 좌표계 상에서 각 축의 기하학적 거리 차이로써 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \end{bmatrix} \quad (3)$$

동일한 epoch에서의 위성의 DOP(dilution of precision)은 식 (3)에서 계산된 값을 이용하여 간단하게 계산되어질 수 있는데, 각 DOP의 계산과정은 다음의 식 (4)와 같다. DOP는 위성들의 상대적인 기하학적 배치에 의한 오차 증가 여부를 판단할 수 있는 중요한 인자로서, 무차원

단위로 표현된다. 일반적으로 DOP의 수치가 작을수록 오차의 크기가 적으며, 6 이상의 수치가 나타나면 GPS 데이터의 품질이 낮다고 판단할 수 있다고 알려져 있다 (Bradford 등, 1996).

$$\begin{aligned}
 GDOP &= \sqrt{q_X + q_Y + q_Z + q_T} \\
 PDOP &= \sqrt{q_X + q_Y + q_Z} \\
 HDOP &= \sqrt{q_X + q_Y} \\
 VDOP &= \sqrt{q_Z} \\
 TDOP &= \sqrt{q_T}
 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,

$$\begin{bmatrix} q_X & q_{XY} & q_{XZ} & q_{XT} \\ & q_Y & q_{YZ} & q_{YT} \\ & & q_Z & q_{ZT} \\ sym & & & q_T \end{bmatrix} = (A^T A)^{-1} \quad (5)$$

특정한 시간 t_{data} 에 수신된 위성을 총수가 n 개이고, 각 위성의 ECEF 좌표를 X_s, Y_s, Z_s 라 하고, 각 위성과 수신기의 ECEF 좌표와의 기하학적 거리를 S_i 라고 하면, 매트릭스 A 는 다음과 같이 표현된다($i=1,2,\dots,n$).

$$A = \begin{bmatrix} D_{X_1} & D_{X_2} & \dots & D_{X_n} \\ D_{Y_1} & D_{Y_2} & \dots & D_{Y_n} \\ D_{Z_1} & D_{Z_2} & \dots & D_{Z_n} \\ D_{T_1} & D_{T_2} & \dots & D_{T_n} \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서,

$$\begin{aligned}
 D_{X_i} &= \frac{\Delta X_i}{S_i} = \frac{X_{S_i} - X_R}{\sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2 + \Delta Z_i^2}} \\
 D_{Y_i} &= \frac{\Delta Y_i}{S_i} = \frac{Y_{S_i} - Y_R}{\sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2 + \Delta Z_i^2}} \\
 D_{Z_i} &= \frac{\Delta Z_i}{S_i} = \frac{Z_{S_i} - Z_R}{\sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2 + \Delta Z_i^2}}
 \end{aligned} \quad (7)$$

또한, D_T 는 GPS 신호가 수신기에 수신된 시간(t_{data})과 GPS 위성에서 신호가 송출된 시간(t_{sat})과의 차이를 나타내는 것으로, RINEX 관측파일에 기록된 각 위성의 L1 의사거리를 이용하여 대략적으로 획득할 수 있다. 각 위성에 대해서 계산된 L1 의사거리(P_i)는 다음과 같이 표현된다. 여기서, c 는 광속(velocity of light)이다.

$$P_i \approx (t_{data} - t_{sat}) \times c = D_{T_i} \times c, \therefore D_{T_i} \approx \frac{P_i}{c} \quad (8)$$

2.2 다중경로 오차

다중경로 오차(multipath error)는 인공위성에서 바로 오는 신호가 아닌 반사되어 들어오는 신호를 받아들이는 것에 의해 생기는 오차로 정의되고 있다. 이러한 다중경로 오차는 약 1.0~2.0m 정도의 크기를 가지고 있다고 알려져 있으며, 대부분 수신기가 저고도 위성의 신호를 수신함에 의해 발생하는 것으로 회피가 거의 불가능하다고 알려져 있다(Ray 등, 2001). 이러한 다중경로 오차는 GPS 해석 시 정밀도를 저하시키므로 그 수치를 대략적으로 파악할 수 있다면, GPS 관측데이터의 신속한 품질관리가 가능하다. 다중경로 오차량은 RINEX 관측파일에 기록된 의사거리와 반송파 관측치의 조합에 의해 간단하게 계산될 수 있으며, 본 연구에서는 다음의 식 (9)와 (10)을 이용하여 L1·L2 의사거리 다중경로 오차량($mp1, mp2$)을 계산하였다. 식 (9)와 (10)의 자세한 유도과정은 Leick(2004)를 참조하기 바란다.

$$mp1 = P_1 - \Phi_1 + \frac{2}{1-\alpha}(\Phi_1 - \Phi_2) \quad (9)$$

$$mp2 = P_2 - \Phi_2 + \frac{2\alpha}{1-\alpha}(\Phi_1 - \Phi_2) \quad (10)$$

여기서,

P_1, P_2 : L1·L2 pseudorange measurement (m)

Φ_1, Φ_2 : L1·L2 phase measurement (m)

f_1, f_2 : L1·L2 phase frequency (Hz)

$$\alpha = \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2$$

본 연구에서 계산된 $mp1$ 과 $mp2$ 수치는 실제적인 의사거리 다중경로 오차량에 수신기에 수신된 다양한 잡음에 의한 오차량이 포함된 결과로서 이를 이용하여 GPS 관측치 내의 잡음의 양을 판단할 수 있으며, 그 이유는 다음과 같이 설명될 수 있다.

위의 식 (9)와 (10)에서 계산된 $mp1$ 과 $mp2$ 수치는 이론적으로는 총 관측시간에 걸쳐 동일한 상수값을 가져야 한다. 하지만, 실제적인 다중경로 영향과 수신기 수신된 여타의 잡음 영향에 의해 동일한 상수값을 가질 수는 없다. 즉, 계산된 $mp1$ 과 $mp2$ 수치에서 각각의 평균값을 제거한 후 나타나는 수치가 대략적인 의사거리 다중경로 오

차량이며, 이것이 GPS 관측데이터에 포함된 잡음의 정도 (noise level)를 나타낸다고 할 수 있다. 이러한 결과는 GPS 관측데이터의 품질관리에 중요한 인자이며, GPS 데이터 해석 시 초기 사이클 슬립 검출(initial cycle slip scanning)에도 유용하게 사용된다(Leick, 2004).

2.3 사이클 슬립

사이클 슬립(cycle slip)은 GPS 반송파 위상추적회로 (phase lock loop : PLL)에서 반송파 위상치의 값을 순간적으로 놓침(loss)으로 인해 발생하는 오차이다. 사이클 슬립은 Wellenhof 등(1997)에 의하면 주로 GPS 안테나 주위의 지형 지물에 의한 신호 단절, 높은 신호 잡음 및 낮은 신호 강도(signal strength)로 인해 발생하게 되는데, 이러한 사이클 슬립은 반송파 위상 데이터를 사용하는 정밀 위치 측정 분야에서는 매우 큰 영향을 미칠 수 있으므로 사이클 슬립의 검출은 매우 중요하다. 따라서 사이클 슬립을 야기할 수 있는 상황을 주시하고 가능하다면 이러한 상황을 피하는 것이 좋다(Lee 등, 2003).

본 연구에서는 사이클 슬립에 의한 GPS 데이터 품질관리를 위하여 코드 관측치와 반송파 위상치에 대한 사이클 슬립을 계산하였다. 특정한 시간(t_{data})에서 코드 관측치와 반송파 위상치에 대한 사이클 슬립을 각각 cyc_{code} , cyc_{phase} 라고 하면 다음과 같이 계산될 수 있다. 계산과정은 Strang과 Borre(1997)에 기초한 것으로, 전리층 무영향 선형 조합(Ionosphere Free Linear Combination)을 이용하여 계산된다. 자세한 유도과정은 Strang과 Borre(1997)을 참조하기 바란다.

전리층 무영향 선형 조합에 의하여 얻어지는 관측시간 별 코드와 반송파 선형조합 관측치를 각각 $P(j)$, $\Phi(j)$ 라 하면 다음과 같이 표현된다.

$$P(j) = \alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 \quad (11)$$

$$\Phi(j) = \alpha_1 \lambda_1 \Phi_1 + \alpha_2 \lambda_2 \Phi_2 \quad (12)$$

여기서,

$$\alpha_1 = \left(\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \right), \quad \alpha_2 = 1 - \alpha_1$$

$$\lambda_1 = \frac{c}{f_1}, \quad \lambda_2 = \frac{c}{f_2}$$

c : velocity of light

f_1, f_2 : L1·L2 phase frequency (Hz)

P_1, P_2 : L1·L2 pseudorange measurement (m)

Φ_1, Φ_2 : L1·L2 phase measurement (m)

시간에 따른 코드와 반송파 선형조합 관측치의 변화량을 $\Delta P(j)$, $\Delta \Phi(j)$ 라 하면 이것은 다음과 같이 표현된다. 여기서, $P(1)$, $\Phi(1)$ 은 초기 코드 관측치와 반송파 위상치이다.

$$\begin{bmatrix} \Delta P(j) \\ \Delta \Phi(j) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P(j) - P(1) \\ \Phi(j) - \Phi(1) \end{bmatrix} \quad (13)$$

최종적으로 특정 시간(t_{data})에서 사이클 슬립 cyc_{code} , cyc_{phase} 는 $\Delta P(j)$, $\Delta \Phi(j)$ 의 삼중차분(triple difference)을 적용하여 계산하게 된다(Strang과 Borre, 1997; de Jong, 1998; Borre, 2003).

$$\begin{bmatrix} cyc_{code} \\ cyc_{phase} \end{bmatrix} = Triple\ Diff \cdot \begin{bmatrix} \Delta P(j) \\ \Delta \Phi(j) \end{bmatrix} \quad (14)$$

2.4 전리층 지연

전리층 지연(ionospheric delay)은 GPS 오차원인 중 상당히 큰 부분을 차지하며 대부분 약 2.0m 이상의 크기를 가진다. 하지만 전리층 지연은 주파수에 반비례하는 특성이 있으므로 이중 주파수 수신기(dual-frequency GPS receiver)를 사용하면 정확하게 지연시간을 측정할 수 있으나, 단일 주파수 수신기를 사용할 경우 전리층 지연량을 정확히 계산하기 힘들다(윤두희 등, 1997). 따라서 이러한 전리층 지연량이 큰 값을 가지게 되면 GPS 해석 정밀도에도 큰 영향을 주게 되며, GPS 관측시간 내 전리층 지연의 영향의 정도를 파악할 수 있다면 효과적인 GPS 데이터의 품질관리를 수행할 수 있다.

전리층 지연의 영향 정도를 파악하는 방법으로는 실제적인 전리층 지연량의 크기를 구하는 것과 전리층 지연량이 시간에 따라 변화하는 양상을 확인하는 것으로 수행할 수 있는데, 일반적으로 전리층 지연량이 크면 GPS 데이터 해석 시 정밀도가 떨어진다고 판단할 수 있다. 전리층 지연량의 시간 변화율(time rate of change of the ionospheric delay)은 반송파 모호정수(phase ambiguities)의 급격한 변화를 감지하는데 이용되는데, 일반적으로 시간 변화율이 클수록 모호정수의 변화가 크므로 GPS 데이터의 품질이 낮다고 할 수 있다(Estey 등, 1999).

본 연구에서는 이중 주파수 수신기(dual-frequency receiver)를 이용하여 관측된 GPS 데이터의 전리층 지연량(ion_{dual})은 L1·L2 반송파 위상관측치를 이용하여 계산하

였으며, 단일 주파수 수신기(single-frequency receiver)를 이용하여 관측된 GPS 데이터의 L1·L2 주파의 전리층 지연량(ion_{L1} , ion_{L2})은 기존의 전리층 모델(ionospheric model)을 사용하여 계산하였다. 또한, 계산된 전리층 지연량을 이용하여 전리층 지연량의 시간 변화율(iod)을 계산하였다.

먼저, 이중 주파수 수신기로 관측된 GPS 데이터를 이용하여 특정한 시간(t_{data})에서 전리층 지연량(ion_{dual})을 구하는 식은 다음과 같다(Borre, 2003).

$$ion_{dual} = \alpha(\Phi_2 - \Phi_1) - \alpha(\lambda_2 N_2 - \lambda_1 N_1) \quad (15)$$

여기서,

P_1, P_2 : L1·L2 pseudorange measurement (m)

Φ_1, Φ_2 : L1·L2 phase measurement (m)

f_1, f_2 : L1·L2 phase frequency (Hz)

$$\alpha = \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2$$

λ_1, λ_2 : L1·L2 wavelengths

N_1, N_2 : L1·L2 carrier phase ambiguity

GPS 데이터의 품질 관리는 시간에 따른 전리층 지연량(ion_{dual})의 변화만을 파악하는 것에 의해 수행되므로, 위 식 (12)에서 상수항인 $-\alpha(\lambda_2 N_2 - \lambda_1 N_1)$ 를 제거하면 다음과 같은 간단한 식으로 다시 쓸 수 있다.

$$ion_{dual} = \alpha(\Phi_2 - \Phi_1) \quad (16)$$

단일 주파수 수신기를 이용하여 관측된 GPS 데이터의 전리층 지연량(ion_{L1} , ion_{L2})은 Klobuchar(1987)에 의해 개발된 전리층 모델을 이용하여 계산하였다. Klobuchar 전리층 모델은 RINEX 방송력 파일(broadcast file)에 포함되어 있는 8개의 전리층 모델 계수(ionospheric model coefficients)와 계산된 위성방위각(azi), 위성고도각(ele), 수신기의 위치(ϕ_R, λ_R)를 이용하여 전리층 지연량을 계산하는 모델이다. 이 모델은 실제 전리층 지연량의 50~60%를 보정하는 것으로 알려져 있다. Klobuchar 모델을 이용하여 L1 주파의 전리층 지연량(ion_{L1})을 구하는 식은 (14)와 같으며, L2 주파의 전리층 지연량(ion_{L2})는 L1 주파의 전리층 지연량에 γ 을 곱하여 얻을 수 있다(Leick, 2004). Klobuchar 전리층 모델을 이용한 전리층 지연량 계산에 대한 자세한 내용은 Klobuchar(1987)과 Leick(2004)을 참조할 수 있다.

$$ion_{L1} = \begin{cases} cFLEET \left[5 \times 10^{-9} + A \left(1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{24} \right) \right], & \text{if } |x| < 1.57 \\ cF(5 \times 10^{-9}), & \text{if } |x| > 1.57 \end{cases} \quad (17)$$

$$ion_{L2} = \gamma ion_{L1} = \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 ion_{L1} \cong 1.6469 \times ion_{L1} \quad (18)$$

마지막으로 특정 시간(t_{data})에서 전리층 지연량의 시간 변화율(iod)는 다음과 같은 간단한 식으로 계산될 수 있다(Estey 등, 1999).

$$iod_{t_{sam}} = \frac{\alpha}{\alpha - 1} [(L_1 - L_2)_{t_{sam}} - (L_1 - L_2)_{t_{sam-1}}] / (t_{data} - t_{data-1}) \quad (19)$$

3. GPS_QC 프로그램

3.1 프로그램 개발

GPS 데이터의 품질관리는 관측시간마다 계산된 품질관리 인자(QC parameters)의 수치가 허용범위 내에 포함되는 관측횟수와 총 관측횟수 간의 비율(%)을 확인하는 것에 의해 수행된다. 이를 위하여 본 연구에서 개발한 GPS 데이터 품질관리 프로그램인 GPS_QC 프로그램은 RINEX 포맷의 관측파일과 방송력 파일을 입력하여 GPS 데이터 품질을 판별할 수 있는 총 9개의 품질관리 인자(azi , ele , DOP , $mp1$, $mp2$, cyc_{code} , cyc_{phase} , ion , iod)를 계산하도록 설계하였으며, 각각의 품질관리 인자에 대한 허용범위를 사용자가 직접 입력할 수 있도록 하였다. 그림 1은 GPS_QC 프로그램의 시작화면으로서 사용자 및 GPS 관측에 대한 기본적인 정보와 관측된 GPS 데이터(RINEX 파일) 및 각 품질관리 인자에 대한 허용범위를 입력하게 된다.

하지만 현재는 이러한 품질관리 인자의 이론적 허용범위에 대한 연구가 전무하여 명확하게 정의되지 않은 상태이며, 따라서 사용자는 원하는 GPS 해석결과의 정밀도에 따라 이러한 허용범위를 적합하게 산출하여 사용하여야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 GPS 데이터의 품질관리를 위한 초기 허용범위 설정 시 도움을 주기위해서 다음과 같은 품질관련 인자의 허용범위 및 허용범위 포함율(%)을 제안한다. 제안된 허용범위는 Leick(2004)에서 기술된 일반적인 GPS 오차 원인에 따른 지연량의 크기에 맞추어 각 품질관리 인자의 허용범위를 규정한 것으로 각 품질관련 인자의 지연량이 제안된 수치 내에 존재한다면 GPS 해석 결과가 일반적인 GPS 측량의 정밀도에 충분히

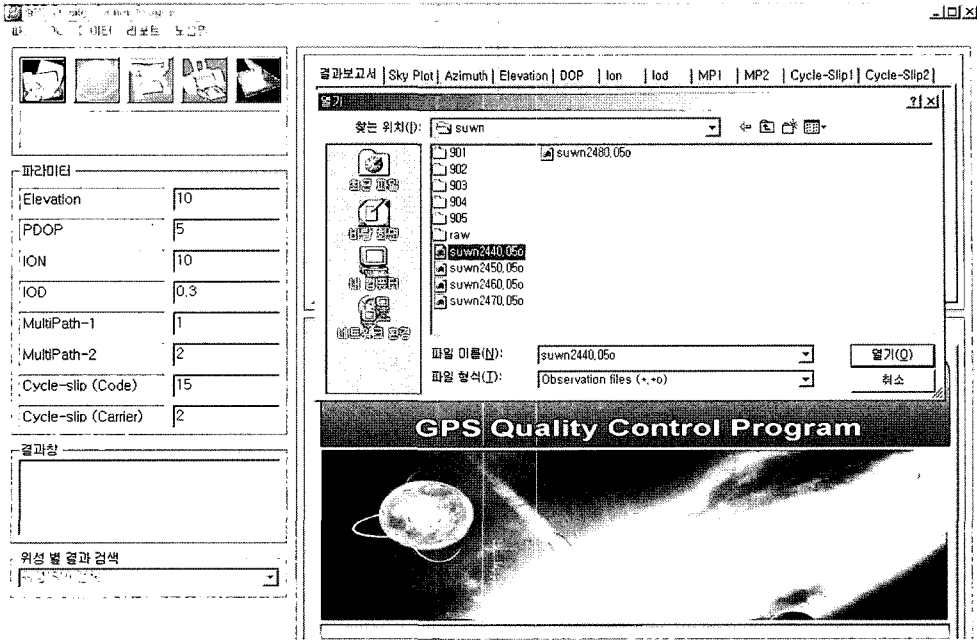


그림 1. GPS_QC 프로그램 시작화면

표 1. Control 인자의 허용범위 및 관측데이터의 허용범위 포함율(%)

품질관리 인자 (QC parameters)	위성의 배치 (Skyplot)		다중경로 (Multipath)		사이클 슬립 (Cycle Slip)		전리층 지연 (Ionospheric Delay)	
	<i>ele</i>	<i>DOP</i>	<i>mp1</i>	<i>mp2</i>	<i>cyc_{code}</i>	<i>cyc_{phase}</i>	<i>ion</i>	<i>iod</i>
허용범위	10° 이상	5 이하	1.0m	2.0m	±15	±2.0	±10 이내	±0.3 이내
허용 포함율(%)	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	80.0	80.0

부합될 것으로 판단된다. 하지만, 표 1의 수치는 단순히 정밀도가 낮은 일반 측량을 목적으로 제안된 값으로서 연구를 통하여 도출된 결과가 아니므로 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, L1 신호의 강도(strength)와 질(quality)이 L2 신호보다 좋은 GPS 신호의 특성 상 품질관리 시 L1 주파에 관계된 품질관리 인자에 가중치를 주는 것이 좋다고 판단된다.

GPS_QC 프로그램에서 산출되는 모든 품질관리 인자는 GPS 관측 시 수신된 모든 epoch에 대해서 계산되며, 계산된 결과는 시계열 그래프와 보고서 형태로 제공되게 된다. 또한 효율적인 품질관리 및 사용자의 의사결정의 편의를 위하여 입력한 허용범위를 기준하여 각 품질관리 인자의 총 관측시간내 허용범위 포함율(%) 및 각 위성별 허용범위 포함율(%)을 모두 계산하여 제공하게 된다. GPS_QC 프로그램의 개발을 위하여 Microsoft사의 Visual Basic을 이용하였으며, 모든 Windows 플랫폼에서 사용가능하도록

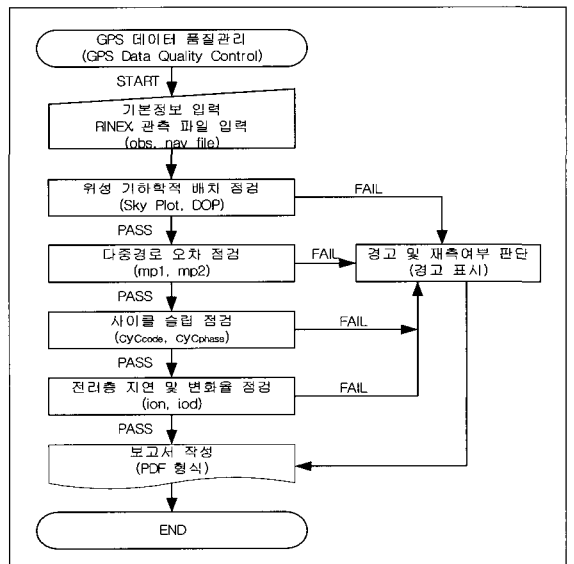


그림 2. GPS_QC 프로그램 구성도

GPS Quality Control Report

관측자 이름 및 관측 기관명 : 김이덕 측량기술센터
 관측 파일 이름 : 00620440.04e
 촬영 파일 이름 : 00620440.04n
 기준점 명칭, 번호 : 00620440 0062
 처리 프로그램명, 데이터 처리자, DAT2RINW 3.10.001 김이덕 26AUG04 15:30:17
 처리 시간 :
 관측 시작 시간(헤더부) : 2004 2 13 2 49 30.0000000
 (년/월/일/시/분/초)
 관측 종료 시간(헤더부) : 2004 2 13 7 4 30.0000000
 (년/월/일/시/분/초)
 관측 시작 시간(관측부) : 2.49.30.000000
 (시/분/초)
 관측 종료 시간(관측부) : 7.4.29.978000
 (시/분/초)
 관측된 위성 번호 : 1 2 3 4 7 8 11 13 20 24 27 28 31
 수신기 정보(번호/형식/버전) : 220320062 Unknownf Nav 1.30 Sig 1
 안테나 정보(번호/형식) : 00000000 UNKNOWN
 안테나 위치(WGS 84, X/Y/Z) : -3055110.3963 4059491.9015 3843009.35
 안테나 위치(WGS 84, Geoid) : 37 289139111.3014 126.964549265336 62.4027504343539
 안테나의 편심량(m/E, N) : 0 0 0
 표준시, GPS시의 차이(초) : -5.587935447699E-09 -2.84217094304E-14 611440 1258
 관측속(Epoch) : 1021
 관측 간격(초) : 15.000

<GPS Quality Control 결과>

품질 관리 인자	기준	결과	P/F
위성 고도(Elevation Mask)	10 도 이상(90%)	100%	Pass
위성 배치(PDOP)	5 이하(80%)	100%	Pass
전리층 지연량(Ion)	-10 이상 10 이하(90%)	80.372%	Pass
전리층 지연률(Ted)	-0.3 이상 0.3 이하(80%)	94.205%	Pass
L1과 다중경로(MP1)	-1 이상 1 이하(90%)	97.277%	Pass
L2과 다중경로(MP2)	-2 이상 2 이하(90%)	97.582%	Pass
사이클슬립(코드)	-15 이상 15 이하(90%)	95.653%	Pass
사이클슬립(반송파)	-2 이상 2 이하(90%)	95.813%	Pass

그림 3. GPS_QC 프로그램 수행 결과보고서

록 설계하였다. 다음 그림 2는 GPS_QC 프로그램의 구성 도이다.

3.2 프로그램 적용

GPS_QC 프로그램에 의하여 계산된 품질관리 인자는 그래프 형태로 바로 확인이 가능하며, 최종적으로 입력된 허용범위에 따른 포함률(%)을 계산한 결과가 보고서 모듈에 의해 제공된다. 보고서는 프로그램 실행에 관련된 기본적인 정보와 함께 입력된 파일의 정보 및 허용범위 수치, 계산된 품질관리 인자의 수치 및 허용범위 포함률(%) 등의 정보가 각 위성별 결과와 전체 결과로 제공되게 된다. 그래프 기능과 관련하여서는 방위각과 고도각 그래프는 사용자가 인지하기 쉽도록 극좌표 형태의 Skyplot 그래프와 시계열 그래프의 두 가지 형태로 표현되도록 하였으며, 그 외의 품질관리 인자 수치는 시계열 형태로만 표현되도록 설계하였다.

또한, 실제 현장에서 효율적으로 사용할 수 있도록 간편하고 이해하기 쉬운 인터페이스를 갖도록 하기 위하여, 왼쪽 하단의 실행 프로세스 창에 의해 현재 수행되는 작업에 대한 간단한 요약과 결과를 사용자가 직접 확인할 수 있도록 하였다. 마지막으로 PDF 형태의 품질 관리 보고서를 제공하여 관측 데이터의 품질 및 재측 여부에 대한 명확한 판단에 도움이 될 수 있도록 하였다. 다음 그림들은 GPS_QC 프로그램을 통하여 산출된 품질관리 인

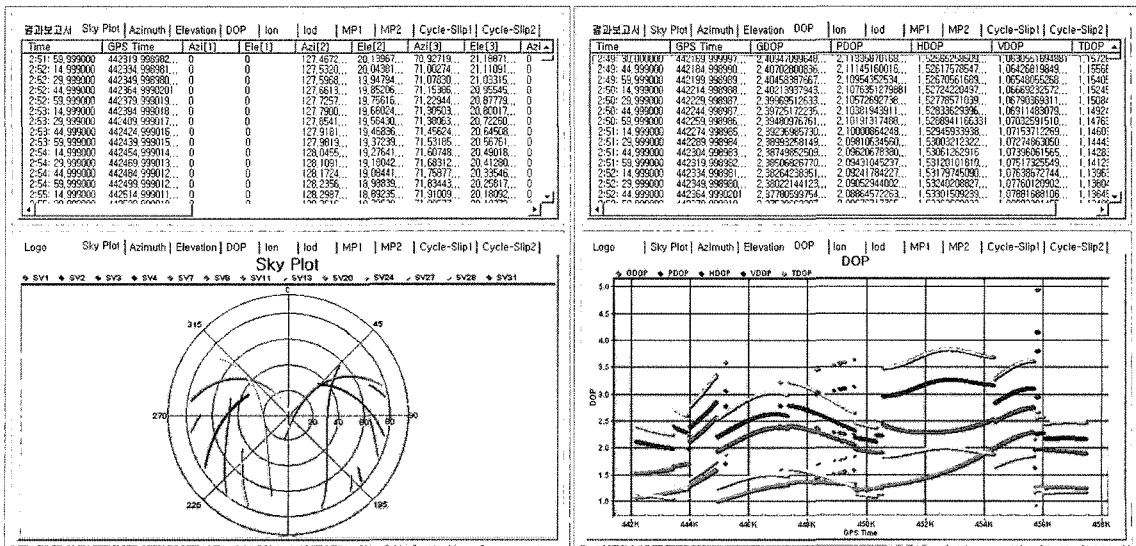


그림 4. GPS_QC 프로그램에서 산출된 기하학적 배치 관련 품질관리 인자(Skyplot 및 DOP)

자에 대한 시계열 그래프와 결과 보고서로서, 총 4시간에 걸쳐 관측된 RINEX2.1 포맷의 GPS 데이터를 이용하여 산출한 결과이다.

본 연구에서 개발된 GPS_QC 프로그램의 적합성을 검증하기 위하여 현재 국토지리정보원에서 운영하고 있으며, IGS(international GPS service)에 등록되어 있는 수원 GPS 상시관측소(SUWN)에서 2005년 9월 1일부터 5일까지

관측된 총 5일간의 GPS 관측데이터를 이용하여 품질관리 인자를 계산하였다. 그 후 각 일자별로 정밀 데이터를 수행하여 관측데이터의 품질이 데이터 해석 결과에 미치는 영향을 분석하였다. 데이터 해석을 위하여 미국의 Jet Propulsion Laboratory(JPL)에서 개발한 GIPSY/OASIS-II 소프트웨어를 사용하였으며, 정밀단독측위 기법을 이용하여 위치해석을 수행하였다(윤홍식 등, 2001). GIPSY/OASIS-II

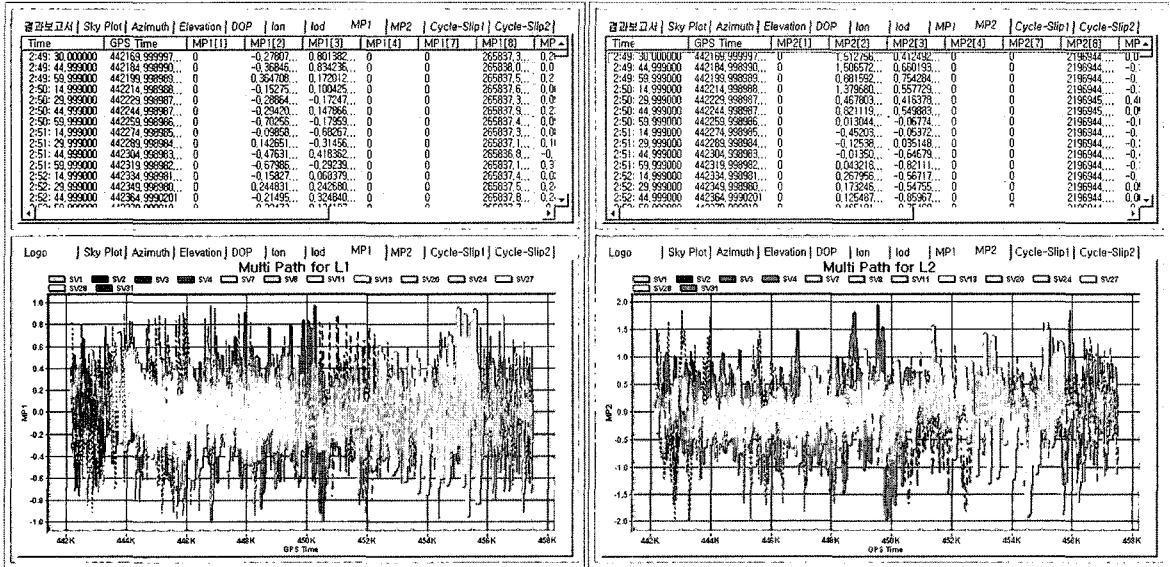


그림 5. GPS_QC 프로그램에서 계산된 다중경로 지연량 관련 품질관리 인자($mp1$ 및 $mp2$)

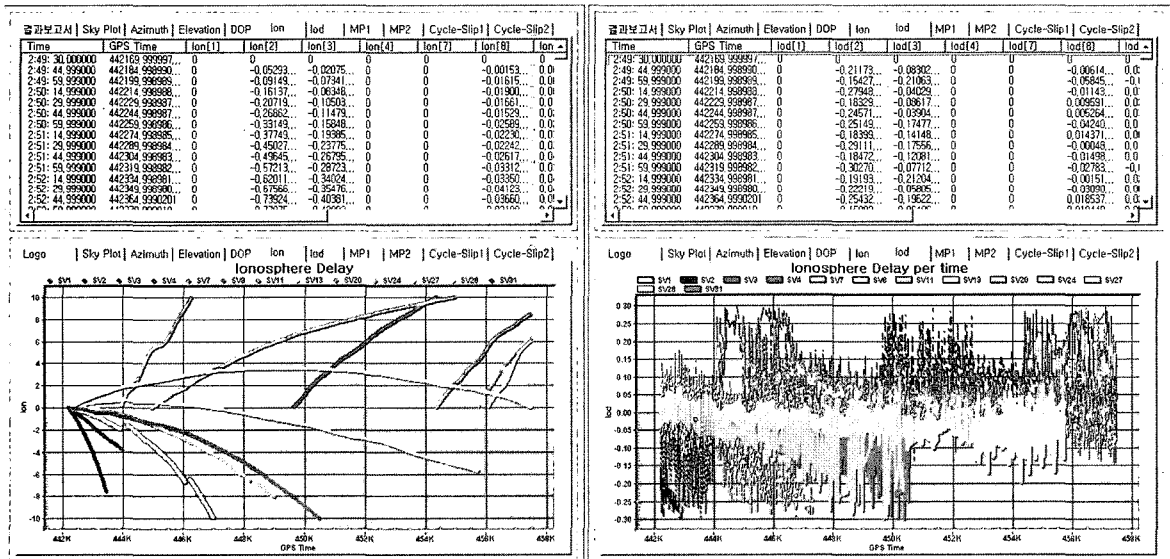


그림 6. GPS_QC 프로그램에서 계산된 전리층 지연량 관련 품질관리 인자(ion 및 iod)

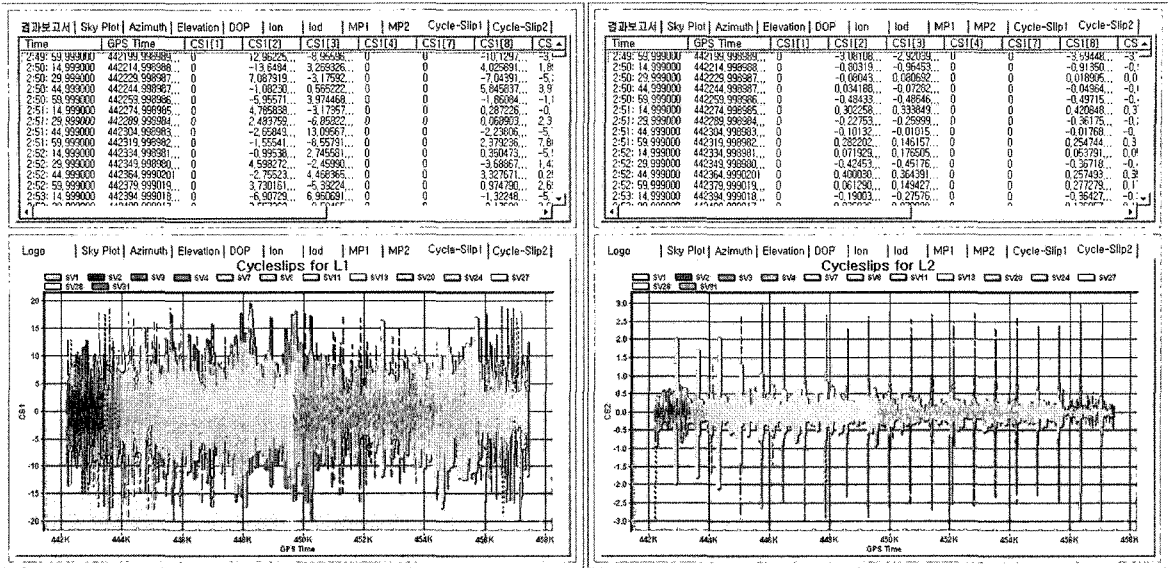


그림 7. GPS_QC 프로그램에서 계산된 사이클 슬립 관련 품질관리 인자(cyc_{code} 및 cyc_{phase})

표 2. GPS 데이터 품질과 위치해석 정밀도 비교

일 자 (9월)	허용범위 포함율(%)								위치해석결과 (m)		1σ (m)	고시성과와 거리차이 (m)
	<i>ele</i>	<i>DOP</i>	<i>mp1</i>	<i>mp2</i>	cyc_{code}	cyc_{phase}	<i>ion</i>	<i>iod</i>	X	Y		
1일	93.29	100	93.89	95.05	92.84	88.48	83.57	94.35	X	-3062022.8898	±0.0069	0.0175
									Y	4055448.0180		
									Z	3841818.2516		
2일	93.34	100	94.46	95.37	93.32	90.99	86.80	94.77	X	-3062022.8884	±0.0048	0.0075
									Y	4055448.0098		
									Z	3841818.2510		
3일	93.32	100	94.42	95.33	93.26	90.90	86.14	94.61	X	-3062022.8875	±0.0058	0.0086
									Y	4055448.0092		
									Z	3841818.2514		
4일	93.26	100	94.26	95.28	93.48	90.46	84.42	94.99	X	-3062022.8880	±0.0059	0.0088
									Y	4055448.0063		
									Z	3841818.2486		
5일	93.21	100	94.03	95.01	93.00	88.56	82.89	94.55	X	-3062022.8862	±0.0064	0.0141
									Y	4055448.0104		
									Z	3841818.2559		

는 이용창(1999)에 의하면 정밀단축주기 기법을 이용하여 위치해석 시 수 cm 정밀도로 해석할 수 있는 것으로 알려져 있다. 아래의 표 2는 GPS 데이터의 품질과 해석 정밀도를 분석한 결과를 표현한 것으로, 각 일자별 품질관리 인자의 허용범위 및 허용범위 포함율은 위의 표 1에서 제안한 허용범위 및 허용범위 포함율을 사용하였다.

좀 더 명확한 분석을 위하여 각 일자별 ITRF2000 위치해석 결과와 수원 상시관측소(SUWN)의 IGS 고시성과와의 거리차이 또한 표현하였다.

표 2에서 알 수 있듯이 총 5일간의 데이터 중 데이터의 품질이 상대적으로 낮은 9월 1일과 5일의 위치해석 결과의 정밀도가 다른 일자에 비하여 비교적 큰 수치를 나타

내었으며, 고시성과와의 거리차이도 각각 0.0175m 및 0.0141m로 데이터의 품질이 상대적으로 좋은 여타의 일자에 비하여 크게 나타났다. 또한 데이터 품질이 가장 좋은 9월 2일의 경우 위치해석 정밀도가 가장 낮은 수치로 나타났다. 따라서 GPS 데이터의 품질이 GPS 해석 정밀도에 직접적인 영향을 끼치는 것을 알 수 있었으며, 데이터의 품질관리를 통하여 GPS 데이터 해석의 정밀도를 높일 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 GPS_QC 프로그램을 이용하여 현장에서 직접 관측된 데이터의 품질을 확인할 수 있다면, 이러한 데이터의 품질을 이용하여 위치해석 시 정밀도의 예측이 가능하므로 측량기술자나 일반 GPS 사용자가 실제 현장에서 GPS 측량의 성공여부나 재측여부 등을 직접 결정하는 것이 가능하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 효율적인 GPS 데이터의 품질관리를 위하여 Window기반의 GPS 데이터 품질관리 프로그램인 GPS_QC 프로그램을 개발하였으며, 실제 GPS 관측데이터에 적용하여 그 효율성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. GPS 데이터의 품질을 판단할 수 있는 총 9개의 품질관리 인자(azi , ele , DOP , $mp1$, $mp2$, cyc_{code} , cyc_{phase} , ion , iod)를 계산할 수 있었다.
2. GPS_QC 프로그램을 적용하여 총 5일간의 GPS 상시관측소(SUWN) 데이터의 품질을 확인한 결과와 각 일자별로 GPS 정밀해석 프로그램을 이용한 위치해석 결과를 비교하여 데이터의 품질과 위치해석 정밀도간의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 데이터의 품질이 낮을수록 위치해석 정밀도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 GPS_QC 프로그램을 통한 GPS 데이터의 품질관리가 적합함을 알 수 있었다.
3. GPS 데이터 품질에 관련된 품질관리 인자, 허용범위 및 허용범위 포함율(%)을 시계열 그래프와 보고서 형태로 제공하여 현장 등에서 간단하고 효율적인 GPS 데이터의 품질관리가 가능할 것으로 판단된다.
4. GPS데이터의 효율적인 품질관리를 통하여 GPS 데이터 해석 시 높은 정밀도를 확보할 수 있게 되어, 기존의 재관측 문제의 해결과 데이터 처리 시 소요되는 시간과 경비 등을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.
5. 또한 보다 효율적이고 경제적인 GPS 데이터 품질관

리를 위하여, 필요 정밀도 확보에 관한 품질관리 인자의 허용범위와 허용범위 포함율(%)의 상관관계에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 윤두희, 기창돈 (1997), GPS 수신기를 이용한 전리층 시간지연 측정 및 L1/L2 오차의 추정, *춘계학술발표회 논문집*, 4, 한국항공우주공학회, pp. 470-474.
- 윤홍식, 황진상 (2001), GPS 상시관측소의 절대좌표 산정에 관한 연구, *한국측량학회지*, 제19권, 제4호, pp. 415-423
- 이용창 (1999), 정밀절대측위(PPP) 기법에 의한 GPS 기준점 좌표의 산정, *한국측량학회지*, 제17권, 제2호, pp. 145-152.
- 이동하, 윤홍식, 이영균 (2004), Control Parameter를 이용한 GPS 관측데이터의 품질 관리, *한국측량학회 04 춘계학술발표회 논문집*, pp. 87-93.
- Borre, K. (2003), The GPS Easy Suite-Matlab code for the GPS newcomer, *GPS Solution* 7, pp. 47-51.
- Bowring, B. R. (1976), Transformation from spatial to geographical coordinates, *Survey Review*, *XXIII(181)*, pp. 323-327.
- de Jong, K. (1998), Real-time integrity monitoring, ambiguity resolution and kinematic positioning with GPS, *In: Proc 2nd European Symp GNSS'98*, Toulouse, PP VIII07/1-VIII07/7.
- Estey L. H. and Meertens C. M. (1999), TEQC: the multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS Data, *GPS solution* 3(1), pp. 42-49.
- Klobuchar, J. A. (1987), Ionospheric Time-Delay Algorithm for Single-frequency GPS users. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems*, AES-23(3), pp. 325-331.
- Lee, H. K., Wang, J. and Rizos, C. (2003), Effective cycle slip detection and identification for high precision integrated GPS/INS systems, *The Journal of Navigation*, Vol. 56, pp. 475-486.
- Leick, A. (2004), *GPS satellite surveying*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Parkinson, B. W. and Spilker, J. (1996), *Global Positioning System: Theory and Practice*, Volumes I and II, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. Washington DC.
- Ray, J. K., Cannon, M. E. and Fenton, P. (2001), GPS code and carrier multipath mitigation using a multipantenna system, *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 37, No. 1, pp. 183-195.
- Strang, G. and Borre, K. (1997), *Linear Algebra, Geodesy, and GPS*, Wellesley-Cambridge Press, Wellesley, MA.
- UNAVCO (1995), QC v3 users guide (updated 3/7/95), *Compact Format described on p28*, University NAVSTAR Consortium.
- Wellenhof, B. H., Lichtenegger, H. and Collins, J. (1997), *GPS: Theory and Practice*, 4th, revised edition. Springer Wien, New York.

(접수일 2005. 11. 1, 심사일 2005. 11. 14, 심사완료일 2005. 12. 1)