

지적기준점 성과계산을 위한 GPS 소프트웨어 개발

우인제* · 이종기** · 김병국*** · 이민석****

GPS Software Development for Calculation of Cadastral Control Points

In-Je Woo* · Jong-Gi Lee** · Byung-Guk Kim*** · Min-Suk Lee****

요 약

GPS 관측기법을 지적측량에 도입하기 위하여 GPS를 이용한 새로운 지적측량 모형 (Model)을 정립하는 연구와 관련 기술들을 개발하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이와 같은 추세에 발맞추어 GPS 자료처리 및 기준점 성과산출과 관련하여 국내·외 측량 관련 상용 GPS 자료처리 소프트웨어의 현황 및 성능을 파악하고, 자료처리 알고리즘을 분석하여, 우리 실정에 적합한 GPS 자료처리 소프트웨어를 개발하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

본 연구에서는 국내·외의 전문 업체, 기관(대학)이 보유하고 있는 상용 소프트웨어 현황 분석 및 자료처리 방법에 따른 오차 발생을 연구하여 기선해석, 망 조정, 좌표변환 등에 관련된 전문 소프트웨어 기능을 비교 분석하여 자료처리 산출성과의 정확도를 향상시키는 방향을 모색한다. 또한 기존 GPS 자료처리 소프트웨어에 적용된 알고리즘을 분석하고 지적측량성과 산출에 최적인 알고리즘을 연구하여 새로운 지적기준점 성과 산출을 위한 지적측량 성과계산 소프트웨어를 개발한다.

주요어 : 컴포넌트, 기선해석, 망 조정

ABSTRACT : Research that establish new cadastral survey model that use GPS to introduce GPS observation technique in cadastral survey and research that develop connection

* 인하대학교 지리정보공학과 석사과정

** 인하대학교 지리정보공학과 박사과정

*** 인하대학교 환경토목공학부 교수

**** 대한지적공사 연구개발처 정보기술부팀장

technologies are now abuzz. The purpose of this research is to keep in step in such trend and grasp present condition and performance of surveying connection to common use GPS data processing software, and analyze data processing algorithm, and develop suitable GPS data processing software in our real condition regarding GPS data processing and result of control point calculation. This research studies analysis common use software and error occurrence by data processing method that college and company have. Also, It analyzes algorithm that is applied to existing GPS data processing software. After that we study algorithm that is most suitable with cadastral survey and then develop cadastral survey calculation software for new cadastral control points.

Keywords : Component, GPS Data Processing, Network Adjustment

1. 서 론

GPS의 효율적 활용을 위하여 세계좌표계의 도입이 진행되고 있는 등 측량분야에 큰 변화가 예상된다. 현재 여러 연구기관에서는 지적 분야에 각종 실험측량을 통하여 GPS 측량기법의 활용범위 및 적용방법을 파악하고, 이를 바탕으로 GPS 측량작업규정(안)을 작성하여 지적측량에도 GPS를 활용할 수 있는 기초가 마련되고 있다. 이제는 GPS 상시관측소를 기본축으로 하는 GPS 지적기준망의 구축과 이를 이용한 지적측량의 실현을 위한 기술적·제도적 기틀을 확립해야 할 시점에 있다. 따라서 GPS를 이용해 우리 실정에 적합한 지적측량계산 소프트웨어의 개발이 필요하게 되었다.

본 연구에서는 Trimble, Leica, Sokkia, Ashtech, Topcon 등 대표적 GPS 측량 메이커의 상용처리 소프트웨어에 대한 기능을

비교·분석하였다. 기능 분석은 실제 관측을 통하여 기선 해석, 좌표 변환, 망 조정 등의 수치실험을 수행하고 GPS 관측자료 처리의 정확도 향상을 위한 방법을 제시한다.

또한 상용 GPS 자료처리 소프트웨어 기능과 알고리즘 분석을 통하여 새로운 지적기준점 성과 산출을 위한 지적측량 성과 계산 소프트웨어를 개발하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구 내용

2.1 상용 GPS 자료처리 소프트웨어 기능 분석

국내·외의 전문 업체, 기관(대학)이 보유하고 있는 상용 소프트웨어 현황 분석 및 자료 처리 방법에 따른 오차 발생을 연구하여 기선 해석, 망 조정, 좌표 변환

<표 1> 소프트웨어별 기능 비교·분석

(상태 : ● 상, ◎ 중, ○ 하)

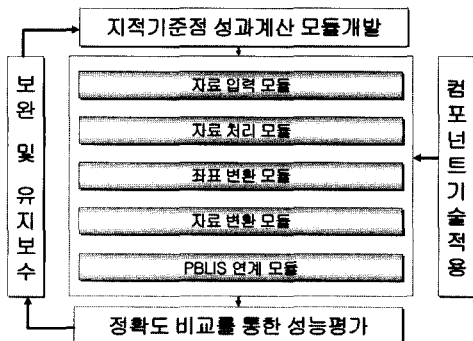
구분	GUI 지원	RINEX 포맷입력	Static & Kinematic	기선해석 및 망 조정	좌표 변환	Report	Export
Trimble GPSurvey Ver2.35	○	●	●	●	●	○	◎
Trimble Geomatics Office Ver1.50	●	●	●	●	◎	●	●
Leica SKI-Pro Ver2.5	●	●	●	●	◎	◎	●
Sokkia Spectrum Survey Ver3.23	●	●	●	●	◎	◎	●
Ashtech Ashtech Solution Ver2.0	●	●	●	●	◎	◎	◎
Topcon Pinnacle Ver1.0	●	●	●	◎	◎	●	●

등의 관련된 전문 소프트웨어 기능을 비교 분석하였다.

2.2 자료처리 알고리즘 도출

기존 GPS 측량 소프트웨어에 적용된 기능 및 알고리즘을 분석하여 지적성과계산에 필요한 최적 알고리즘을 도출하였다.

먼저 전체적인 연구 흐름은 [그림 1]과 같다.



[그림 1] 연구 흐름

2.2.1 자료 입력

상용소프트웨어의 대부분이 제작사 고유 포맷과 공통 포맷인 RINEX 포맷을 함께 입력받을 수 있게 설계하였으나, 제작사 고유포맷은 해당 제작사에서 공개하지 않은 이상 그 포맷을 분석할 수 없기 때문에 RINEX 포맷을 입력 포맷으로 하여 분석하였다. RINEX 파일의 내용은 다음과 같다.

*RINEX(Receiver INdependent EXchange format)

- 다양한 GPS 수신기로부터 획득한 자료의 보다 쉬운 공유를 위해 제안
- ASCII 파일 형태로 구성
- RINEX Ver 2.10의 구성은 다음과 같다.

① Observation Data File :

수신기에서 관측한 값들 저장 (Pseudo- Range, Phase, Observation time)

② Navigation Data File :

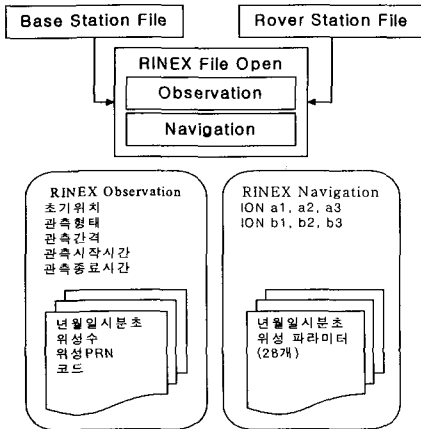
위성의 궤도력을 구하기 위한 파라미터(이심률, Toe 등) 값 저장

- RINEX 포맷의 이름은 다음과 같이 정의한다.

ssssdddf.yyy

ssss : station 이름
 ddd : 첫 번째 레코드에서 당해 년도로 부터의 날수
 f : 데이터 취득한 날에서의 파일 순서 번호
 yy : 연도(1999 → 99, 2000 → 00, 2002 → 02)
 t : 파일 타입(O→Observation file, N → Navigation file)

각 파일들은 Header 부분과 Data 부분으로 나누어진다. 그리고 각각의 라인은 80 문자 이내이다. 특히, Header 부분에서 61 번째부터 80번째까지의 문자는 헤드라벨을 나타낸다.



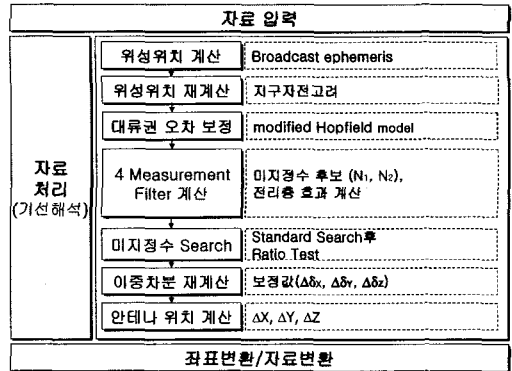
[그림 2] 자료 입력 구조

2.2.2 자료 처리

1) 기선 해석

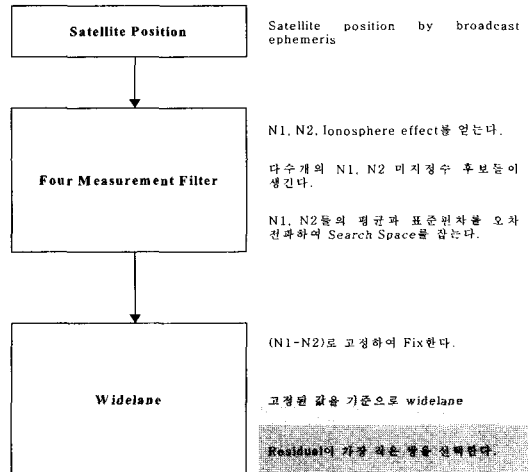
기선 해석의 방법에는 의사거리를 이용

한 자료처리와 반송파 위상을 이용한 자료처리가 있으며 본 연구에서는 반송파 위상을 이용한 자료처리를 수행하였다.



[그림 3] 기선해석 흐름도

여기서 위성과 안테나 사이의 파장 수를 헤아리지 못하는데 이를 미지정수 (Integer ambiguity)라고 하고, 이것의 정확한 결정이 자료처리의 정확도를 좌우한다. 차분법(Differencing) 기술을 이용하여 미지정수를 결정할 수 있고, 다양한 오차를 제거할 수 있다.



[그림 4] 미지정수 검색 과정

기존의 기선 해석 프로그램은 $\pm 3\sigma$ 범위에서 미지정수 후보들을 검색 하였으나 본 연구에서는 4-Measurement Filter를 이용하여 최적의 미지정수 후보들을 도출한 뒤에 Wide-lane Filter, Iono Filter 등을 사용하여 검색공간을 획기적으로 줄였다.

2) 망 조정

GPS망 조정 전에 자료에서의 상호 조건 확인과 착오 제거를 위해서 다음과 같은 조정 전 자료 분석(preadjustment data analysis)을 해야 한다.

첫째, 이미 기선벡터가 알려진 기선에 대하여, 관측에 의해 계산된 기선벡터를 그 기지값과 대비하여 GPS관측과 기지점의 정밀도를 점검한다. 둘째, 반복 관측된 미지 기선에 대한 결과를 비교하여 자료의 신뢰성을 판단한다. 셋째, 측량 망 내의 폐합조건을 분석한다. 넷째, 전체 자료를 이용한 망 조정 프로그램 적용을 하기 전에, 측량 망 내의 한 점만 고정하고 망 조정을 한다. 이때 잔차가 많은 기선 관측이 나오면 이 기선관측을 제외하고 다시 조정 계산을 한다.

망 조정을 위하여 최소제곱법을 적용한다. GPS망은 3차원이므로 기선, 측점 하나당 관측방정식이 3개가 구성된다. 따라서 다음과 같은 A, X, L, V, W 매트릭스를 조성할 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & a_{1,3n} \\ M & & & & & M \\ M & & & & & M \\ M & & & & & M \\ a_{3m,1} & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & a_{3m,3n} \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \\ X_B \\ Y_B \\ Z_B \\ M \\ M \\ M \\ X_n \\ Y_n \\ Z_n \end{bmatrix}_{3m \times 1}, \quad L = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \\ \Delta X_{BC} \\ \Delta Y_{BC} \\ \Delta Z_{BC} \\ M \\ M \\ M \\ \Delta X_{nm} \\ \Delta Y_{nm} \\ \Delta Z_{nm} \end{bmatrix}_{3m \times 1}, \quad V = \begin{bmatrix} V_{\Delta X_{AB}} \\ V_{\Delta Y_{AB}} \\ V_{\Delta Z_{AB}} \\ V_{\Delta X_{BC}} \\ V_{\Delta Y_{BC}} \\ V_{\Delta Z_{BC}} \\ M \\ M \\ M \\ V_{\Delta X_{nm}} \\ V_{\Delta Y_{nm}} \\ V_{\Delta Z_{nm}} \end{bmatrix}_{3m \times 1}$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 & & & & & 0 \\ & w_2 & & & & \\ & & 0 & & & \\ & & & & & \\ 0 & & & & w_{3m-1} & \\ & & & & & w_{3m} \end{bmatrix}_{3m \times 3m}$$

위와 같이 조성된 매트릭스를 이용하여

$$AX=L+V$$

의 관측방정식을 조성한다.

또한 관측방정식을 이용하여 정규방정식을 조성한 다음 해를 구할 수 있다.

$$\therefore A^T W A X = A^T W L$$

$$\therefore X = (A^T W A)^{-1} (A^T W L)$$

해를 구한 후에는 통계적 검증을 실시한다. 불량값이 존재한다면 이 값을 제거 후 반복계산을 실시한다.

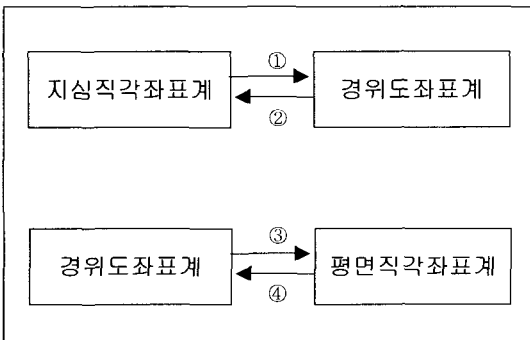
2.2.3 좌표 변환

본 연구에서 사용될 좌표계는 3가지로 분류될 수 있다. 우선 GPS 측량을 통해 얻어질 3차원 지심직각좌표계(ECEF Coordinate System), 그리고 경위도와 표고로 표현될 수 있는 경위도좌표계(Geodetic or Geographical Coordinate System), 마지막으로 TM 투영법을 이용한 평면직각좌표계이다.

① 경위도(Bessel BL) ↔ 평면직각좌표(TM) : Bessel 타원체상의 경위도 좌표를 가우스상사이중투영 방식을 적용한다. 우리나라 전역을 3좌표계로 구분하여 평면상의 직각좌표로 변환한다.

② 경위도(Bessel BL) ↔ 만국지도좌표계(UTM) : Bessel 타원체상의 경위도 좌표를 가우스 크뤼게 투영법을 적용한다. 우리나라는 UTM 좌표계에서 51, 52 Zone, 동경 123° 및 129°, 위도 원점을 적도에 두고 좌표를 변환한다.

③ 경위도(Bessel BL) ↔ 범지구측지좌표계(WGS84) : 좌표 상호간의 좌표변환을 Bursa-Wolf 방식의 7매개변수 방식에 의하여 상사변환을 실시한다.



[그림 5] 좌표계간의 변환 분류

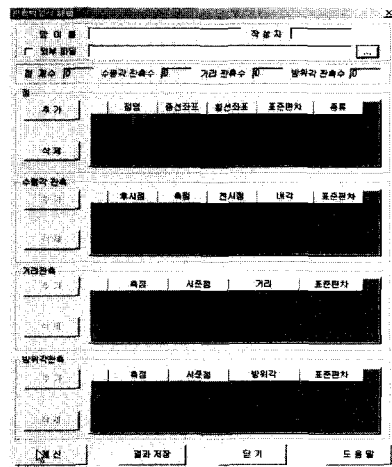
2.2.4 자료 변환

관측한 자료를 좌표변환을 통해 현행의 좌표체계로 변환한 자료는 텍스트 형태로 되어 있다. 이 자료를 다른 3D 프로그램들과의 data 호환을 위해 표준 DXF (Release 12) Format으로 자료 변환이 필요하다. 또한 본 연구의 목적에 맞추어 지적도 파일 포맷으로의 변환도 가능하게 하였다.

DXF 파일의 특징은 파일 구조가 아스키(ASCII)문자로 구성되어 일반적인 텍스트 편집기로도 내용 확인과 수정이 가능하다는 점이지만 파일의 용량이 상당히 커지는 단점도 가지고 있다.

표준 DXF 파일은 4개의 섹션(section)과 1개의 END OF FILE marker로 구성되어 있다. 지적도 DXF 파일 포맷은 기존의 DXF 파일 포맷에 새로운 블록을 추가시킨 형태의 파일이다.

2.2.5 PBLIS 연계



[그림 6] 관측방정식 해법 모듈

GPS 측량을 이용한 지적기준점 성과계산 소프트웨어를 필지중심 토지정보시스템(PBLIS)에 연계할 수 있는 모듈은 지적측량 프로그램 중 관측방정식해법 모듈뿐이다. 따라서 GPS 자료처리 결과를 관측방정식해법 모듈의 파일형식으로 바꿔주어야만 한다. 하지만 이 모듈의 형식은 GPS 데이터와는 달리 2차원의 형식을 나타내고 있어 PBLIS 연계 모듈을 구현하기 위해서는 PBLIS의 수정이 필요하다고 본다.

관측방정식해법 모듈 입력파일 형태

num	점명	중선좌표	횡선좌표	표준편차	종류
1	A	1000.00	1000.00	0.0001	기지점
2	B	2600.00	1004.00	0.05	소구점
3	C	2800.00	1200.00	0.1	소구점

[그림 7] PBLIS연계 입력파일

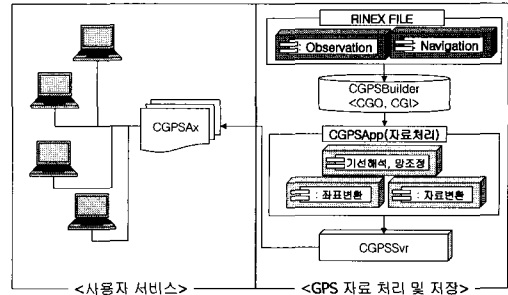
2.3 통합 소프트웨어 구성

통합소프트웨어는 CGPSApp, CGPSBuilder의 2개의 모듈로 구성되어 있고 각 모듈의 기본적인 기능은 다음과 같다.

CGPSApp는 GPS 자료처리를 위하여 개발되었으며, CGPSBuilder는 처리된 결과를 저장하고 관리하기 위한 프로그램이다.

통합 소프트웨어는 컴포넌트 기술을 이용하므로 각각의 계산 모듈 및 데이터처리 모듈은 모두 컴포넌트 기반으로 개발된다.

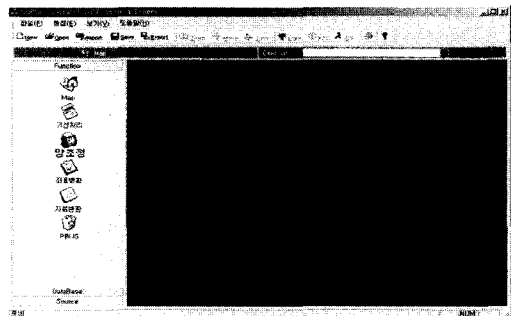
- CGPSApp : 자료처리(기선해석, 망 조정, 좌표변환, 자료변환 등) 모듈
- CGPSBuilder : 효율적인 GPS 자료처리를 위한 GPS 자료의 DB화 모듈



[그림 8] 컴포넌트 기반의 CGPS 구성도

2.3.1 CGPSApp

CGPSApp는 기선 처리, 망 조정, 좌표 변환, 자료 변환 등 GPS 자료처리 기능을 수행한다. 각각의 기능은 컴포넌트 모듈로 개발되어 모듈의 인터페이스(Interface)만을 노출한다. 사용자는 인터페이스를 이용하여 데이터를 입력한 후 결과를 얻을 수 있고, 각 모듈을 원하는 프로그램에 붙일 수 있다. 각각의 모듈은 향후 인터넷을 이용한 GPS 자료처리 소프트웨어 개발을 위하여 통신관련 여분의 인터페이스를 준비하였다.

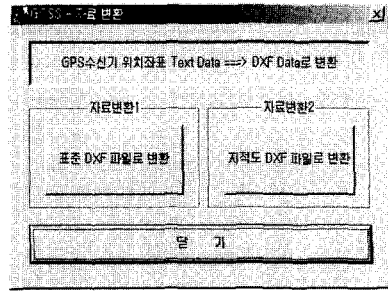


[그림 9] CGPSApp 실행화면

CGPSApp 프로그램은 자료 처리 기능(Function), 데이터 연결(Database), 소스연

결(Source) 3가지 모듈이 결합되어 있다. CGPSApp 프로그램의 왼쪽에는 각 모듈을 선택할 수 있는 기능 선택 Dialog bar가 있다.

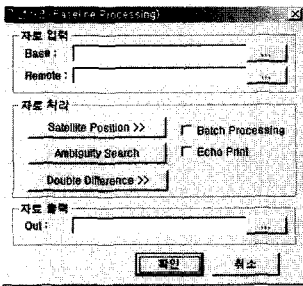
자료처리 기능은 지도(Map), 기선처리, 망 조정, 좌표변환, 자료변환, PBLIS 등의 5가지 기능들로 구성되어 있고, 각 모듈은 독립 프로그램 단위로 연결되어 있다. 각 기능 버튼을 클릭하면 해당 다이얼로그 박스가 실행되면서 각 기능에 해당하는 데이터 처리를 수행할 수 있고, 각 기능은 진행되는 순서대로 배열되었다.



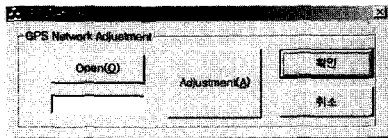
[그림 13] 자료 변환

2.3.2 성능 평가

기선 해석, 망 조정 결과를 확인하기 위하여 GPSurvey 2.35를 사용하였다. 기선 처리 결과의 정확도를 비교하고자 상시관측소 데이터틀 사용하였다. 상시관측소 데이터 중에서 비교적 중기선인 수원에서 서울까지의 GPS 데이터를 이용하였다. 수원에서 서울까지의 기선길이는 39.373km 이고, 1시간미만의 관측데이터를 사용하였다. 표2에서 보는 바와 같이 기선처리 결과는 GPSurvey와 ECEF좌표계로 약 4cm 이하의 결과가 도출되었다.



[그림 10] 기선 해석



[그림 11] 망 조정



[그림 12] 좌표 변환

<표 2> 기선처리 결과 예

구분	GPSurvey 2.35			CGPSApp		
WGS 84	위도	37 37	46.9147	37 37	46.9143	
	경도	127 04	47.0306	127 04	47.0313	
	타원 체고	58.543		58.532		
ECEF	X	-3049402.746		-3049402.774		
	Y	4034999.379		4034999.357		
	Z	3873010.246		3873010.212		

기선 거리에 따른 기선 처리 결과는 기선 길이가 30km 이내의 지역에서는 GPSurvey와의 차이가 2cm이하의 결과를 보였으나, 30km 이상의 기선 거리에서는 약 4cm의 오차로 오차가 증가함을 보였다. 이것은 중기선으로 갈수록 이온효과(Iono effect)가 커지기 때문이다. 망 조정도 GPSurvey와 비교한 결과 좌표값의 차이가 2cm이하로 나타났다.

좌표 변환은 국립지리원의 NGI-Pro ver.1.6과 비교한 결과 경위도 좌표계에서 경도는 0.3cm 정도 차이가 발생하였지만 위도에서는 경도 보다 조금 큰 오차가 발생하였다.

<표 3> 기선거리에 따른 기선처리 결과

기선거리 (단위:km)	기준국 ~ 이동국	GPSurvey 2.35와 차이 (단위 : cm)
< 10	인하대 ~ 인천월드컵경기장 (5.9 km)	< 2
< 30	인하대 ~ 안산시청 (21.6km)	< 2
> 30	수원상시관측소 ~ 서울상시관측소(39.3km)	< 4

좌표 변환은 국립지리원의 NGI-Pro ver.1.6과 비교한 결과 경위도 좌표계에서 경도는 0.3cm 정도 차이가 발생하였지만 위도에서는 경도 보다 조금 큰 오차가 발생하였다.

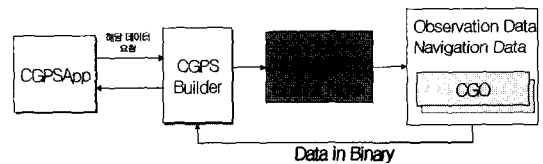
2.3.3. CGPSBuilder

CGPSBuilder는 다량의 GPS 자료를 효율적으로 처리하기 위하여 파일 형식의 DB

로 저장하는 모듈이다.

CGO(Cadastral GPS Object)파일 형식으로 저장하는 이유는 GPS 자료(RINEX File)는 ASCII 형식이므로 이진(Binary) 파일로 저장하면 용량이 크게 감소된다.

또한, 대용량의 GPS 데이터를 효율적으로 검색 및 관리하기 위하여 CGI(Cadastral GPS Index) 인덱스를 사용한다. CGI는 인덱스(R* Tree 방식)를 이용하면 자료 입출력 속도 및 전체 처리속도를 향상시킬 수 있다.



[그림 14] CGPSBuilder 개요

시스템 내부에서는 자신의 포맷을 유지하지만 포맷 변경 시에는 OpenGIS Geometry 클래스 포맷 권고안으로 변경할 수 있도록 해당 인터페이스를 노출시킨다.

3. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 국내외 측량 관련 상용 GPS 자료처리 소프트웨어의 기능을 분석하고, 자료처리 알고리즘을 도출하여 지적기준점 성과계산을 위한 GPS 자료처리 소프트웨어를 개발하였다.

개발된 소프트웨어는 기존의 도해적 지적측량방법을 탈피하여 보다 정확한 위치 정보를 가진 GPS 측량을 이용한다는 장점이 있지만 자료처리 과정에서 발생하는

오차를 제거하기 위해서는 지속적인 관리가 필요하다.

향후 연구과제로는 개발한 성과계산 소프트웨어를 이용하여 인터넷상에서 GPS 데이터를 교환하고, 모바일(Mobile) 환경 하에서 지적성과를 확인할 수 있는 소프트웨어 개발에 관한 연구를 진행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 대학 IT연구센터 육성·지원 사업의 연구결과로 수행되었음.

참고 문헌

- 강인준 · 최종봉 · 팽재하 · 최현, 2002, 위성측량을 이용한 지적기준점 정확도 분석, 한국측량학회지, 제20권 제1호.
- 김동현, 1997, 실시간 GPS 정밀측량을 위한 이동 중 위치결정에 관한 연구.
- 이기현, 1997, 소프트웨어 공학 기초 시스템 분석과 설계.
- 지적기술연구원, 1998, 좌표변환, 평면거리계산 S/W 개발.
- (주)지오시스템, 1998, GPSurvey Software User's Guide.
- 행정자치부, 2002, GPS 지적측량기법 개발에 관한 연구.
- Jay Kwon, 2001, GPS/INS Integration for Mobile Mapping System.