

WGS-84 좌표계에 의한 수치지도 작성 The Digital Road Map Using World Geodetic System-84 Coordinates System

배상진* · 최철웅** · 강인준***

Bae, Sang-Jin · Choi, Chul-Woong · Kang, In-Joon

요 旨

GPS(Global Positioning System)측량을 이용한 차량항법시스템은 인공위성으로부터 전파신호를 받아 차량내부의 수치지도가 내장된 모니터에 차량의 현재 위치 및 진행방향을 표시, 목적지까지의 최단거리 주행로 등을 알려주게 된다. 이 수치지도상에 차량의 위치를 표시하기 위해서는 차량에 탑재된 GPS수신기가 위성으로부터 WGS84좌표계에 의한 경위도 데이터를 수신하여 이를 Bessel좌표계로 변환한 후 다시 TM투영과정을 거쳐 화면상에 나타나게 된다. 본 연구에서는 지형도를 디지털화하여 제작한 수치지도와 GPS장비를 자동차에 탑재하여 획득한 자료를 분석하여 제작한 수치지도를 비교하므로써 WGS84좌표계에 의한 수치지도 제작기법에 대해 고찰하고자 한다.

ABSTRACT

Car Navigation System with Global Positioning System (GPS) can display position direction and the shortest cut of one's destination. The position datum for GPS in World Geodetic System 1984 (WGS-84) coordinates system need to transform Bessel coordinates system and process Map projection. Since 1987, GPS has used the WGS-84. WGS-84 is a geocentric equipotential ellipsoid of revolution which is defined four parameters. In this study, by comparing the digitized topographical map with the digital map of GPS datum we can consider the technique of WGS84 digital map.

1. 서 론

지도는 기존의 종이지도(paper map)와 수치지도(digital map)로 나눌 수 있다. 종이지도는 축척변경이나 속성의 변경이 불편하지만 수치지도는 이에 대한 편리성이 있으므로 미래의 지도라 할 수 있다.

수치지도의 일반적인 작성은 항공사진측량으로 제작하며 제작비의 문제로 인하여 점차 일반화 될 예정이다. 이렇게 제작된 수치지도는 국내의 좌표계와 일치하게 된다. 미래의 자동차에 탑재할 차량항법시스템(Car Navigation System)은 인공위성에서 수신된 위치정보를 수치지도에 나타내므로써 여러 가지 편의를 제공하게 된다.

수치지도상에 차량의 위치를 표시하기 위해서는 차

량에 탑재된 GPS(Global Positioning System)수신기가 위성으로부터 WGS84좌표계에 의한 경위도 데이터를 수신하여 이를 Bessel좌표계로 변환한 후 다시 TM투영과정을 거쳐 화면상에 나타나게 된다.

GPS장비를 이용한 차량항법시스템은 차량내부의 수치지도가 내장된 모니터에 차량의 현재 위치 및 진행방향을 표시, 목적지까지의 최단거리 주행로 등을 알려주게 된다.

국외의 연구동향을 살펴보면, GPS와 GIS기법을 이용한 교통사고분석과 도로의 종·횡단도 획득, 비디오 화면으로 전송하여 도로의 선형을 추출하는 기법¹⁾, GPS에서 얻은 자료를 무선통신으로 기준국으로 보내 이 자료를 실시간으로 자동차도로지도를 만드는 기법²⁾, GPS를 이용한 자동수치지도화 제작기법, 무선통신을 이용한 실시간 수치지도에 관한 연구³⁾ 등의 연구가 이루어지고 있다.

*부산대학교 대학원 토목공학과 석사과정

**부산대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*** 부산대학교 토목공학과 교수

국내의 경우 수치지도에 대한 연구는 국내의 경우 우리 나라의 원점이 3개인 것에서 오는 문제점을 해결하기 위해 북위 38°, 동경 128°를 원점으로 한 통일된 좌표계 구상에 관한 연구⁴⁾가 이루어지고 있으며, 차량항법에 관한 연구로는 GPS일점측위 방법에 의한 차량항법에 관한 연구⁵⁾, GPS의 자동차 항법응용 및 도로데이터의 표준화에 관한 연구 등이 발표되어 있다.

GPS측량의 결과는 WGS84좌표체계로 산출되므로 국지좌표계에서 세계좌표계로의 변환이 필요하다. 현재 사용되고 있는 좌표변환방법으로는 7-Parameter에 의한 좌표변환방법, MRE 방법, Standard-Molodensky 방법 등이 있다. 그리고 투영은 TM투영방법에 의해 이루어진다. 우리 나라는 3개의 좌표원점을 사용하고 있기 때문에 전국지도의 통일성을 기할 수 없다.

따라서, 본 연구에서는 지형도를 디지털이저를 이용하여 수치지도화하여 이 수치지도와 GPS장비를 자동차에 탑재하여 획득한 자료를 분석하여 WGS84좌표계에 의한 간단한 수치지도를 작성하였으며 이것을 바탕으로 수치지도 제작기법에 대해 고찰하고자 한다.

2. 기본이론

2.1 WGS84 좌표계

국제 측지좌표기준계인 WGS(World Geodetic System) 좌표계는 1950년대말 미국 국방성에서 전세계에 통일된 좌표체계를 이용할 수 있도록 하기 위해 1958년 β위성 자료 및 표면중력자료, 천문측량자료 등을 종합하여 WGS60이라는 지심좌표체계를 세웠다. 그 후 1966년 1월 WGS 개발위원회는 WGS60 이후로 확장된 삼각망, 삼변망, 도플러 및 광학위성자료를 적용하여 더욱 개선된 WGS66을 발표하였다. WGS66 발표후 도플러 및 광학위성자료, 표면중력측량, 삼각 및 삼변측량, 고정밀트래버스와 천문측량으로부터 얻은 새로운 자료와 개선된

표 1. WGS72와 WGS84 타원체의 제원.

타원체 계수	WGS72	WGS84
장반경 (a)	6,378,135 m	6,378,137 m
편평률 (f)	1/298.26	1/298.257223563
각속도 (w)	7,292,115.147 × 10 ⁻¹¹ rad s ⁻¹	7,292,115 × 10 ⁻¹¹ rad s ⁻¹
2차조화합수 (C ₂₁)	-1,484.1605 × 10 ⁶	-1,484.16685 × 10 ⁶
중력상수 (GM)	3,986,008 × 10 ⁸ m ³ s ⁻²	3,986,005 × 10 ⁸ m ³ s ⁻²

전산기 및 정보처리기법을 이용하여 WGS72로 수정하였다.

WGS72 시스템은 이용상의 큰 문제점은 없었으나 지구중력모형과 지오이드 모형이 오래되었고 더욱 정확한 자료가 필요하여 WGS84를 채택하였다.

2.2 좌표계 변환

위성으로부터 수신되는 좌표는 구면좌표계(φ, λ, h)의 값으로 산출되므로 이를 지심좌표(X, Y, Z)로 변환하기 위한 관계식은 식 (2-1), (2-2), (2-3)과 같다.⁶⁾

$$X = (N+h) \cos \varphi \cos \lambda \quad (2-1)$$

$$Y = (N+h) \cos \varphi \sin \lambda \quad (2-2)$$

$$Z = [N(1-e^2)+h] \sin \varphi \quad (2-3)$$

여기서, f는 편평률이며, a는 타원체의 장반경, b는 단반경이다.

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (2-4)$$

$$e^2 = 2f-f^2 \quad (2-5)$$

$$f = \frac{(a-b)}{a} \quad (2-6)$$

식 (2-1)에서 식 (2-3)에 대한 역변환은 다음과 같이 계산될 수 있다. 경도 λ는 식 (2-1)과 (2-2)로부터 구해진다.

$$\tan \lambda = \frac{Y}{X} \quad (2-7)$$

위도 φ는 기하학적 관계로부터 식 (2-8)이 된다.

$$\tan \varphi = \frac{(N+h) \sin \varphi}{\sqrt{X^2+Y^2}} \quad (2-8)$$

식 (2-8)은 위도 φ에 대해 비선형으로 식 (2-3)을

$$(N+h) \sin \varphi = Z + e^2 N \sin \varphi \quad (2-9)$$

으로 다시 쓰고 식 (2-8)에 대입하면

$$\tan \varphi = \frac{Z}{\sqrt{X^2+Y^2}} \left(1 + \frac{e^2 N \sin \varphi}{Z} \right) \quad (2-10)$$

식 (2-10)의 2번째 항은 Z좌표의 근사값을 사용하여

변경할 수 있다. 첫 번째 근사값으로 타원체고 $h=0$ 으로 취하고 식 (2-3)으로부터

$$Z_{h=0} = N(1-e^2)\sin\phi \quad (2-11)$$

식 (2-11)을 식 (2-10)에 대입하고 위도에 대한 첫 번째 값을 구하면,

$$\tan\phi_1 = \frac{Z}{(1-e^2)\sqrt{X^2+Y^2}} \quad (2-12)$$

식 (2-12)로부터 ϕ_1 이 계산되면, 이 값을 식 (2-10)의 두 번째 항에 대입하고 ϕ 를 계산 한다. 반복계산은 갱신되는 값이 위도에서 무시할 만한 변화를 가질 때까지 시행한다.

타원체 고도는 식 (2-8)로부터 식 (2-13)과 같이 구한다.

$$h = \frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{\cos\phi} - N \quad (2-13)$$

지심좌표계산은 식 (2-14)에서 식 (2-16)와 같다.

$$X_2 = X_1 + \Delta X \quad (2-14)$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y \quad (2-15)$$

$$Z_2 = Z_1 + \Delta Z \quad (2-16)$$

지심좌표로부터 지심좌표차 계산식은 식 (2-17)에서 식 (2-19)와 같다.

$$\Delta X = X_2 - X_1 \quad (2-17)$$

지심좌표차($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)와 LGH 좌표차($\Delta n, \Delta e, \Delta u$)의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \Delta n \\ \Delta e \\ \Delta u \end{bmatrix} = R(\phi, \lambda) \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (2-26)$$

여기서

$$R = \begin{bmatrix} -\sin\phi\cos\lambda & -\sin\phi\sin\lambda & \cos\phi \\ -\sin\lambda & -\cos\lambda & 0 \\ \cos\phi\cos\lambda & \cos\phi\sin\lambda & \sin\phi \end{bmatrix} \quad (2-27)$$

식 (2-26)과 (2-27)을 식 (2-23)에서 (2-25)에 대입하여 지심 좌표 차로부터 구면위차 P의 지상관측값을 구하면 다음과 같다.

$$\alpha_1 = \tan^{-1}$$

$$\left(\frac{-\sin\lambda_1\Delta X + \cos\lambda_1\Delta Y}{-\sin\phi_1\cos\lambda_1\Delta X - \sin\phi_1\sin\lambda_1\Delta Y + \cos\phi_1\Delta Z} \right)$$

$$z_1 = \sin^{-1}$$

$$\left(\frac{\cos\phi_1\cos\lambda_1\Delta X + \cos\phi_1\sin\lambda_1\Delta Y + \sin\phi_1\Delta Z}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}} \right)$$

$$s = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$

2.3 TM투영변환식

측지좌표계를 평면직각좌표계로 변환하기 위한 투영으로 우리나라에서 사용하고 있는 투영법은 TM이라 불리는 횡측메르카토르투영(Transverse Mercator Projection)이다.

TM투영의 기본공식은 아래와 같이 급수식으로 전개된다.

$$\begin{aligned} \frac{x}{N} &= \frac{\lambda}{\rho} \cos\phi + \frac{\lambda^3 \cos^3\phi}{6\rho^3} (1-t^2+\eta^2) \\ &+ \frac{\lambda^5 \cos^5\phi}{120\rho^5} (5-18t^2+t^4+14\eta^2-58t^2\eta^2) \\ &+ \frac{\lambda^7 \cos^7\phi}{5040} (61-479t^2+179t^4-t^6) \\ \frac{y}{N} &= \frac{S_\phi}{N} + \frac{\lambda^2}{2\rho^2} \sin\phi \cos\phi \\ &+ \frac{\lambda^4}{24\rho^4} \sin\phi \cos^3\phi (5-t^2+9\eta^2+4\eta^4) \\ &+ \frac{\lambda^6}{720\rho^6} \sin\phi \cos^5\phi \\ &(61-58t^2+t^4+270\eta^2-330t^2\eta^2) \\ &+ \frac{\lambda^8}{40320} \sin\phi \cos^7\phi (1385-3111t^2+543t^4-t^6) \end{aligned}$$

여기서 $\rho : \text{cosec } 1''$

N : 표유선의 곡률반경

t : $\tan\phi$

η^2 : 보조량

S_ϕ 는 적도면으로부터 위도(ϕ)까지의 회전타원체상의 자오선의 호장으로 다음식으로 산정된다.

$$S_\phi = \alpha[\phi + \beta \sin 2\phi + \gamma \sin 4\phi + \delta \sin 6\phi + \dots]$$

$$\text{여기서 } \alpha = \frac{a+b}{2} \left(1 + \frac{1}{4}n^2 + \frac{1}{64}n^4 + \dots \right)$$

$$\beta = -\frac{3}{2}n + \frac{9}{16}n^3 - \frac{3}{32}n^5 + \dots$$

$$\gamma = \frac{15}{16}n^2 - \frac{15}{35}n^4 + \dots$$

$$\delta = \frac{35}{48}n^2 - \frac{105}{256}n^4 - \dots$$

$$n = \frac{a-b}{a+b}$$

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 는 타원체에 종속된 변수들로서 Bessel타원체의 경우는 다음과 같다.

$$\alpha = 6,366,742.5205 \text{ m}, \quad \beta = 2.51127324 \times 10^{-6}$$

$$\gamma = 3.67879 \times 10^{-6}, \quad \delta = 7.38 \times 10^{-6}$$

2.4 우리 나라의 평면직각좌표

평면직각좌표는 삼각점 또는 트래버스점과 같이 지표상 어느 점의 평면위치를 표시하고, 계산을 간편하게 하기 위하여 적절한 투영법을 기초로 하여 국가마다 고유의 좌표계를 사용하고 있다. 우리나라에서는 서부원점, 중부원점 및 동부원점 좌표계로 하는 3개의 평면직각 좌표계를 구분하여 사용하고 있다. 각 좌표계의 경계는 경도를 기준으로 하여 구분되며, 경도 124°~126°구간을 서부원점 좌표계, 경도 126°~128°구간을 중부원점 좌표계, 경도 128°~130°구간을 동부원점 좌표계로 하고 있다. 각 좌표계에서는 각 원점은 위도 38°선과 경도 125°, 127° 및 129°선과의 교점이 되며 이들을 각각 서

부원점, 중부원점 및 동부원점이라 부른다. 이와 같이 각 좌표계의 경계는 원점으로부터 동·서로 각각 경도 1°간격이며, 중앙자오선으로부터의 직선거리는 북쪽지방에서 약 80 km, 중부 지방에서는 약 89 km, 제주 지방에서는 약 93 km가 된다.

우리 나라의 평면 직각 좌표는 지구 타원체를 이에 상응하는 상사형 구체에 투영하고 이를 다시 평면에 재 투영하는 가우스의 상사이중투영법의 원리에 의하여 설정되었다. 1910년대에 이루어진 우리나라의 모든 삼각점의 위치는 이 투영원리에 의하여 계산되었다. 우리나라의 평면 직각 좌표계에서는 투영면이 중앙 자오선에서 접하는 TM투영을 사용하므로 원점에서의 축척계수는 1이며, 원점으로부터 동·서로 멀어짐에 따라 축척계수는 점차 증대하여 약 90 km 지점에서는 1/10,000정도로 증대된다. 이것은 우리나라 전역에 걸쳐 축척 계수가 약 1/10,000이내의 증대율을 보여 주므로 측량의 정밀도를 1/10,000까지 허용한다면 우리나라 전역을 평면으로 간주하여도 무방함을 의미한다. 우리나라의 평면 직각 좌표에서도 UTM좌표계와 같이 좌표의 음수 표기를 방지하기 위하여 횡좌표(Y)에 200,000 m, 종좌표(X)에 500,000 m(제주도 지역은 550,000 m)를 가산한 좌표를 사용한다.

3. 적용례

3.1 모델지역

모델지역은 부산광역시 전역의 주요도로를 대상으로

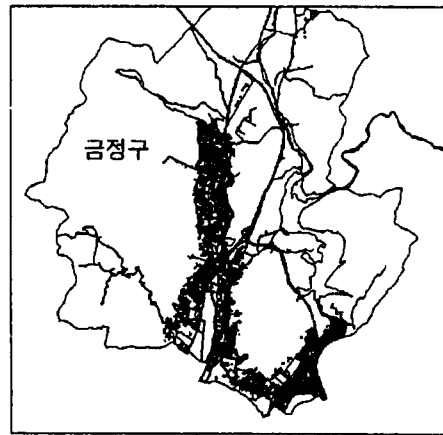
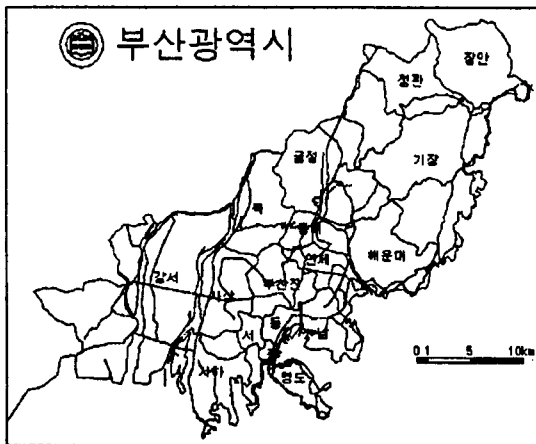


그림 1. 1:50,000 지형도와 1:10,000 지형도를 디지털화한 수치지도

적용하여 그림 1과 같이 1:50,000의 지형도의 시경계, 구경계, 주요도로 등을 디지털화하여 수치지도를 작성하였으며, 금정구지역은 1:10,000 지형도를 이용하여 보다 정밀한 수치지도를 작성하였다.

3.2 GPS자료의 경로재현 및 WGS84 Map 작성

3.2.1 데이터수신 및 경로재현

Garmin GPS수신 장비를 차량에 장착하여 1점측위방식으로 데이터를 수신, 저장은 1초간격의 위치데이터(Position data)로 하였으며, 지형도상에 나타난 도로를 기준으로 하여 동일한 지역을 반복하여 주행하여 도로 데이터를 획득하였다.

부산광역시 주요도로를 동일구간에 대해 2회이상 반복 관측하여 획득한 GPS데이터를 좌표변환과 투영과정을 거쳐 AutoCAD의 매크로 언어인 LISP으로 변환하여 화면상에 표시하였다.

좌표변환방법으로는 좌표계간 원점의 평행이동만을 고려한 3-매개변수결정방법인 MRE방법을 사용하였으며, 투영은 TM투영법을 사용하였다.

그림 2는 부산광역시의 외곽도로와 중심도로의 주행경로를 재현해본 것이다. 그림을 보면 지형도 도면과 주행경로간의 모델지역에서 일정한 경향을 가짐을 알 수 있다.

그림 3과 그림 4를 보면 지형도를 디지털화한 도면과 GPS수신데이터와의 차이는 북쪽(N)방향으로 100~200 m 위에 주행경로를 표시하며, 동쪽(E)방향으로는 50~150 m의 차이를 보이며 직선거리로는 100 m에서 최고 300 m의 거리차를 보인다.

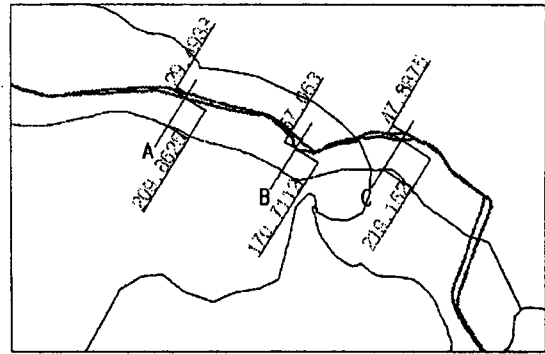


그림 3. 주행경로의 A지역을 확대 비교

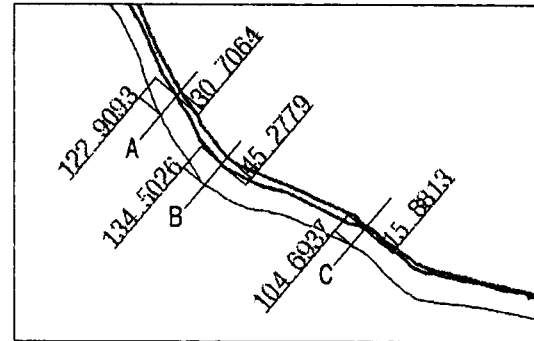


그림 4. 주행경로의 B지역을 확대 비교

부산지역에서 전체적으로 디지털화한 도면과 수신데이터와의 차이는 거의 일정하지만 부산의 북서쪽이 다른 지역보다 큰 차이값을 가졌다.

수신데이터들간의 차이를 보면 0~80m정도로 일점측위의 오차정도를 유지하였다.

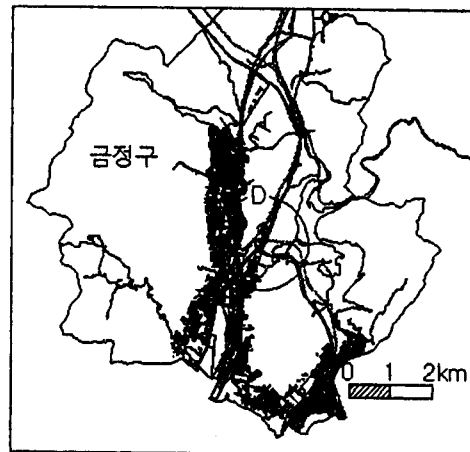
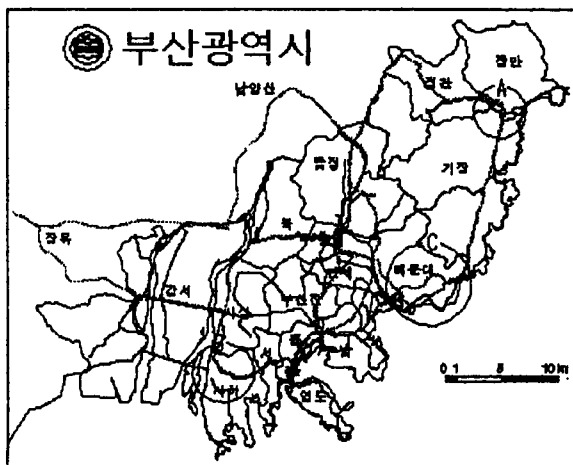


그림 2. 차량주행경로 재현



그림 5. 주행경로의 C지역을 확대 비교

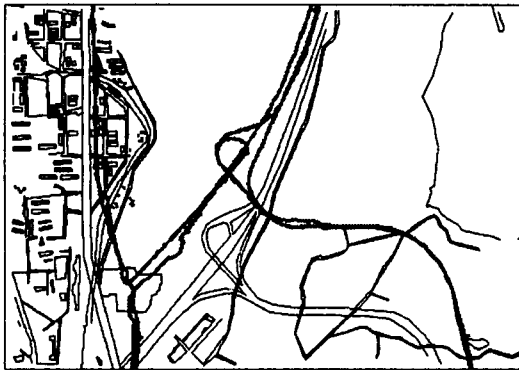


그림 6. 주행경로에서 D지역을 확대 비교

그림 5를 보면 지형도상에는 없는 도로의 경로가 재현되어있다. 이는 지형도가 제작될 당시에는 없었던 도로가 새로이 신설된 것이다. 그림 6은 도시고속도로 인 터채인지 부분을 확대하여 본 것이다.

3.2.2 변환데이터를 이용한 Map

위성으로부터 수신한 도로데이터를 변환과정을 거친 동일구간에 대한 데이터들의 중심을 연결한 후 일정한 도로의 폭을 주어 지도를 작성하였다. 1점측위에 의한 동일구간의 수신데이터간의 오차는 약 0~80 m정도 되는 것으로 나타났다. 이는 일반적인 1점측위방식의 정도와 비슷함을 보여준다. 따라서 도로의 폭을 100 m로 할 경우 수치지도상의 도로 내에 차량의 위치가 항상 표시될 것으로 판단된다.

3.3 비교고찰

지형도에 의한 수치지도와 GPS수신데이터간의 오차의 원인으로는 지형도 디지털화 작업시의 오차, GPS수신기(1점 측위방식)에 의한 오차, 좌표변환과정



그림 7. 차량주행경로를 이용한 수치지도

에서의 오차 등이 있다. GPS수신데이터간의 오차보다 지형도를 디지털화한 도면과 수신데이터간의 오차가 훨씬 크게 나타나므로 좌표변환과정에서 상대적으로 큰 오차가 발생하는 것으로 판단된다.

오차의 특징을 보면 먼저, 전체적으로 N축(남북)방향의 오차가 E축(동서)방향보다 크게 나타나며, 지형도에 의한 수치지도와 수신데이터간의 오차가 수신데이터들간의 오차보다 크게 나타났다.

따라서, GPS수신데이터를 이용하여 수치지도도를 작성하는 것이 지형도를 디지털화한 수치지도 보다 더욱 좋은 정도를 가지며, 모니터상의 도로에 차량의 현 위치를 표시하는 차량항법시스템(CNS)용 수치지도 작성시 GPS수신에 의한 WGS84 좌표로 산출되는 도로 데이터를 이용하여 수치지도도를 작성하는 것이 가능하리라 판단된다.

4. 결 론

자동차 수치지도 제작에 있어서 WGS84 좌표계를 이용한 수치지도 제작에 관한 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지형도를 디지털화한 수치지도보다 GPS 수신데이터에 의한 WGS84 Map을 직접 제작하여 차량경로를 재현함으로써 보다 실용적인 도로정보를 얻을 수 있었다.
2. 기존의 지형도를 디지털화하여 차량항법용 지도를 제작하는 경우 신설도로의 누락, 도로상에 주행차량이 표시되지 않는 등의 문제점이 있었다.

3. GPS 수치지도는 실제 자동차 주행을 통하여 데이터를 획득하므로 자료의 수정 및 보완이 신속하고, 매우 경제적이다 사료된다.

앞으로 연구는 DGPS(Differential GPS)방식을 사용하여 도로데이터를 획득 차량용 수치지도를 제작한다면 1점측위에 의한 방식보다 높은 정도를 얻을 수 있으리라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 '96 공모과제(02-E-0162)로서 지원해준 동재단에 감사드립니다.

참고문헌

1. John D. Bossler and Charles K. Toth, "Accuracies Ob-

- tained by the GPSVAN TM," GIS/LIS'95 Proceedings, 1995, pp.70~77
2. Robert L. French, "Land Vehicle Navigation and Tracking," Journal of Surveying Engineering, Vol. 121, No. 4, 1995, pp.275~300
3. Maaza Mekuria, PE, "Application of GIS/GPS to solve ISTE Management in a state highway department," GIS/LIS '95 Proceedings, 1995, pp.730~739
4. 이종훈, 김용일, "GPS의 자동차 항법응용 및 도로데이터의 표준화," GPS Workshop Proceedings, 1994, pp.93~93
5. 강인준, 정재형, 장용구, "인공위성 측량에 의한 자동차 위치결정에 관한 연구," 한국측지학회지, 제11권, 제1호, 1993, pp.61~66
6. B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, J. Collins, "Global Positioning System Theory and Practice," 1994, pp.255~278