

## GPS 측량성과를 이용한 NAHMIS 도면의 좌표부여 Coordinate Registration of NAHMIS by GPS Surveying Data

임삼성\* · 노현호\*\*

Lim, Samsung · Noh, Hyun-Ho

### 요 旨

본 연구에서는 GPS 측량성과를 이용하여 절대좌표가 부여되지 않은 도로대장관리시스템 (NAHMIS) 도면에 2차원 등각변환방법을 이용하여 전체적인 변환요소를 일률적으로 적용한 경우와 각각의 단위도면별로 적용한 경우를 비교하여 각각의 정확도 및 편차를 비교, 분석하였다. 접합을 통해서 발생한 최대오차는 2 m 정도로 NAHMIS 도면의 목적인 도로대장의 관리 이외에도 시설물의 위치 파악 및 관리에 보다 적극적으로 사용될 수 있으며, 좌표체계의 통일로 도로관리의 효율성을 극대화시키고 다른 연계시스템과의 자료교환의 비효율성을 제거할 수 있다.

### ABSTRACT

In this study, we utilized 2D conformal transformation method to give coordinates based on GPS surveying data to NAHMIS (National Highway Management Information System) drawings which are lack of coordinates. To determine the best method which is comparable with GPS digital map, we compared a transformation result obtained by unique parameters applied to the whole region of about 20 km of the NAHMIS drawings and the similar result of the tile based transformations. As the result of map joining, the error was within 2 m for both cases. In this way, NAHMIS can be used for a systematic management of construction drawings. Moreover, NAHMIS can contribute the management of highway and the data exchange between other systems by a unification of coordinate system.

### 1. 서 론

도로는 인적, 물적 자원의 교류를 가능하게 하는 가장 기본이 되는 시설로서 경제가 성장함에 따라 국가 기반 시설로서의 중요성이 부각되고 있다.<sup>1)</sup> 이에 따라 현재 건설교통부에서는 도로의 체계적인 유지관리를 위해 도로관리통합시스템(HMS, Highway Management System)을 개발 추진하고 있으며, 그 일환으로 이미 작성된 도로대장의 누실 및 준공 도면의 합리적 관리를 위해 도로대장 관리시스템(NAHMIS, National Highway Management Information System)을 개발 추진하였다. 하지만 NAHMIS는 전체적인 도로관리시스템의 개발 계획 없이 개인용 컴퓨터 위주의 래스터 이미지를 이용하

여 제작되었고, 이 후 범용적파일형태인 AutoCAD 자료로 변환되었기 때문에 아래와 같은 문제를 야기 시켰다. 첫 번째, 500 m를 단위구간으로 제작된 NAHMIS는 도로의 선형 및 시설물에 대한 연결성이 결여되어 있다. 두 번째, 도면간의 방향성과 축척이 통일되어 있지 않고 위치좌표가 없다. 이러한 문제점으로 인해 현재 NAHMIS 도면에는 도로시설물과 도로부속시설물, 도로 주변의 등고선, 도로주변의 주요건물, 도로지하의 시설물 등 도로유지관리에 필요한 각종 정보가 입력되어있음에도 불구하고 활용범위가 제한되어 있었다.

따라서 본 연구의 목적은 일반국도 30 km 구간에 대해 직접 GPS(Global Positioning System) 측량을 하여 제작한 수치지도를 이용하여 NAHMIS 도면에 위치좌표를 부여하는 방법을 연구하고, 부여된 위치좌표를 이용하여 보다 많은 부분에 활용하기 위한 기초를 마련하는 것이다.

\*인하대학교 지리정보공학과 교수

\*\*인하대학교 지리정보공학과 박사과정

## 2. 연구방법

### 2.1 연구대상지

본 연구의 대상지는 기존에 NAHMIS 도면이 만들어져 있는 일반국도를 대상으로 30 km 구간에 대해 시범, 적용되었다.

### 2.2 연구수행과정

본 연구의 진행방법은 다음과 같다. 먼저 GPS 측량을 통해 연구 대상지에 대한 각각의 위치좌표와 속성을 얻어내고, AutoCAD 상에서 GPS를 이용한 2차원 수치지도를 생성하였다. 연구에 활용한 NAHMIS 도면의 경우, 500 m를 기본단위로 도곽선을 이용하여 미터 단위의 정도로 상대적인 위치를 표시해 놓은 도면(곤지암 지역)과, 단지 AutoCAD 상에서 상대적인 좌표로 위치를 표시해 놓은 도면(평창지역)으로 나누어진다. 따라서 본 연구에서는 생성된 GPS 수치지도를 이용하여 2차원 등각

표 1. 연구대상지와 활용도면의 특징

대상지	측량구간/ 접합구간	접합자료	NAHMIS 도면의 좌표
일반국도 3호선 곤지암 지역	20 km/ 20 km	GPS 측량도면 (20 km) NAHMIS(20 km)	도곽선을 기준 으로 미터 단위 의 좌표
일반국도 42호선 평창 지역	10 km/ 6.7 km	GPS 측량도면 (10 km) NAHMIS(6.7 km)	좌표 없음

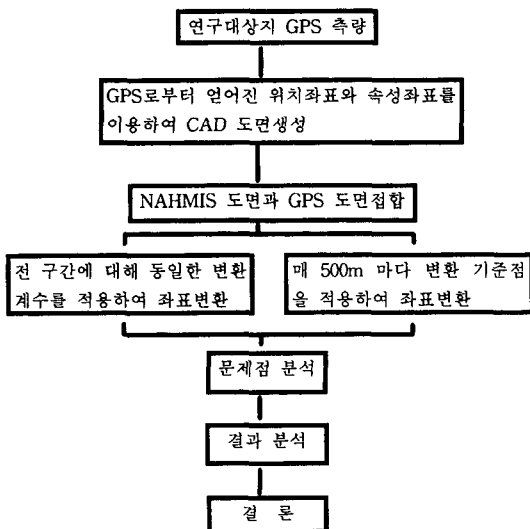


그림 1. 연구수행과정

변환방법에 따라 AutoCAD 상에서 두 가지 방법으로 NAHMIS 도면에 좌표를 부여하였다. 첫 번째 방법은 미터 단위의 대략적인 좌표를 얻을 수 있는 경우로 먼저 500 m 단위의 NAHMIS 도면을 20 km 구간에 대해 연결을 하고 좌표변환을 위한 정확한 기준점이 없으므로 점간의 위치를 쉽게 비교할 수 있는 점들을 찾아내어 전체 구간에 대해 좌표를 부여하는 방법이다. 두 번째 방법은 500 m의 기본 단위도면 마다 변환 기준점을 찾아내어 각각의 도면에 좌표를 부여하고 순차적으로 연결해 나가는 방법이다. 이후 GPS 수치지도를 기본으로 NAHMIS 도면에 부여된 위치좌표의 결과를 분석하고 결론을 도출하였다.

그림 1은 이와 같은 연구수행과정을 개념화한 것이다.

## 3. 이론적 배경

### 3.1 도로관리통합시스템

도로의 체계적인 유지관리를 위해 건설교통부에서 추진중인 도로관리통합시스템 (HMS) 개발의 일환으로 이미 작성된 도로 대장의 누설 및 준공 도면의 합리적 관리를 목적으로 개발된 것이 도로대장관리시스템 (NAHMIS)이다.

NAHMIS에는 도형자료인 종, 횡단면도, 주변 용지도, 구조물도, 지하 매설물도와 비 도형자료인 각종 도로 대장관련조서가 포함되어 있다. 데이터의 형식은 500 m를 기본 단위구간으로 설정하고 1990년 개인용 컴퓨터 위주의 래스터 이미지를 이용하여 구축되었으며, 1995년 데이터 호환성의 문제로 범용적인 파일 형식인 AutoCAD 자료로 변환되었다. 하지만 NAHMIS는 위치 정보의 부재, 지속적인 자료 및 시스템 갱신 노력의 미

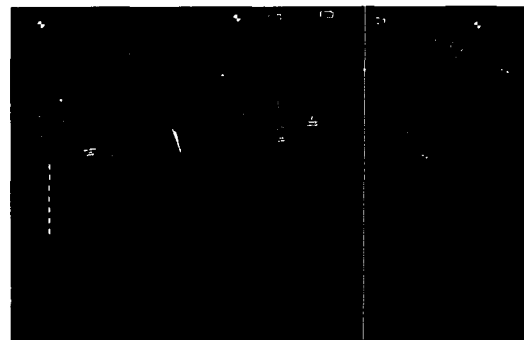


그림 2. 도로대장관리시스템 (NAHMIS) 도면

비로 도로관리를 위한 많은 정보를 포함하고 있음에도 현재 그 활용도가 떨어져 있다.

### 3.2 2차원 등각 좌표변환(2-D Conformal Transformation)

일반적인 2차원 등각변환은 전형적인 측량과 지도제작에서 좌표변환을 위해 사용되는 방법으로 두 좌표체계간의 스케일 변화와 좌표축의 회전량 그리고 두 축간의 이동량과 같은 4개의 미정계수를 사용하여 좌표변환을 수행한다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서

- X, Y = 기준축의 좌표
- x, y = 변환축의 좌표
- $\theta$  = 회전각
- $T_X, T_Y$  = 선형이동량
- S = 두 좌표계간의 축척계수

위의 식 (1)에서  $S\cos\theta = a$ ,  $S\sin\theta = b$ ,  $T_X = c$ ,  $T_Y = d$ 로 놓고 잉여 관측식을 생성하기 위해 잔차를 포함한 관측 방정식을 구성하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} ax - by + c &= X + v_x \\ ay + bx + d &= Y + v_y \end{aligned} \quad (2)$$

2차원 등각변환방식은 식 (1)에서와 같이 4개의 미정계수를 이용한 변환방법이므로 최소 2개의 점만 있으면 단일해를 구해낼 수 있다. 그리고 축척계수 S와 회전각  $\theta$ 는

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \\ S &= \frac{a}{\cos(\theta)} \end{aligned} \quad (3)$$

으로 표현할 수 있다.

## 4. NAHMS 도면에 대한 좌표부여

NAHMS는 크게 보아서 대략적인 좌표가 있는 도면과 전혀 좌표가 없는 도면으로 나누어진다. 본 연구에서는 GPS 측량도면을 이용하여 미터 단위의 좌표가 있는

도면과 AutoCAD 상에서 단순히 상대좌표로 위치를 표시한 도면에 대하여 2차원 등각변환 방식을 기본으로 AutoCAD 상에서 변환요소(축척, 선형이동, 회전)별로 각각의 변환을 수행하고 결과를 분석하였다.

### 4.1 곤지암 지역의 좌표부여

먼저 500m를 단위구간으로 설정해 놓은 NAHMS 도면을 20km 구간에 대해 도면접합을 수행하고 2개의 변환 기준점을 찾아내어 변환을 위한 기선을 형성하였다. 선택된 변환 기준점을 이용하여 AutoCAD 상에서 2차원 등각변환방식에 따른 좌표변환을 수행하고 전체적인 좌표를 부여하였다.

#### 4.1.1 도면접합(곤지암 지역)

기존의 NAHMS 도면은 도로의 구간별로 제작업체가 다르고 각기 다른 환경에서 작업을 하였기 때문에 도면마다 축척과 방향이 일정하지 않다. 하지만 곤지암 20km 구간의 특징은 도면마다 미터단위의 위치좌표를 갖고 있는 점이 포함되어 있으므로 이 점들을 이용하여 먼저 20km 구간에 대하여 도면접합을 하였다. NAHMS 도면에 GPS 측량도면을 이용하여 좌표를 부여하기 위해서는 두 도면상의 축척이 일치해야 한다. 따라서 NAHMS 도면에서 중앙선의 총 길이를 측정하고 그 길이가 500m가 되도록 연결하고자 하는 도면 전체에 대하여 축척을 동일하게 조정하였다. 중앙선의 연결 교점(node)을 이용하여 다음에 연결되는 도면을 이동시킨다. 그림 3에서 중앙선의 끝 부분에 ○로 표시된 부분이 도면 연결을 위한 연결교점이고, 연결교점을 지나는 하나의 직선이 기선이다.

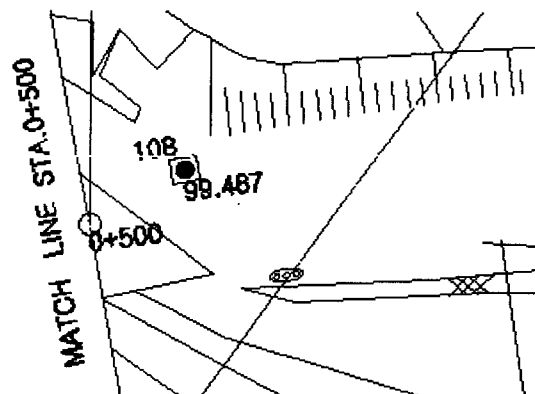
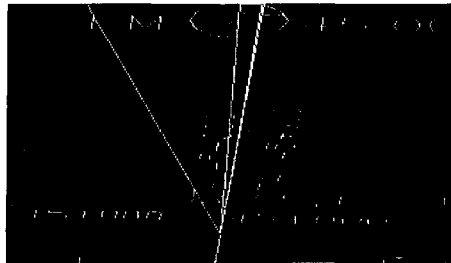


그림 3. NAHMS 도면의 연결교점



이 부분은 도면이 정확하게 접합되면 한 개의 선으로 중복되어야 하나 약간의 오차가 있음을 보이고 있다.

그림 4. NAHMS 도면의 회전연결시 편차비교

연결교점을 기준으로 두 개의 도면을 연결하여 설정된 기선의 각을 측정한다. 하지만 측척 조정과정에서 각각의 도면마다 상대적인 위치가 변화하기 때문에 회전결과 두 개의 기선이 정확하게 일치하지 않고 약간의 오차를 포함하게 된다.

그림 4에 나타난 오차각은 결과의 정확도 분석을 위해 최외곽선의 벌어진 정도를 이용하여 도면접합오차의 판단기준으로 사용하였다.

이 부분은 도면이 정확하게 접합되면 한 개의 선으로 중복되어야 하나 약간의 오차가 있음을 보이고 있다.

#### 4.1.2 좌표부여

GPS 측량도면을 기준으로 곤지암 지역 20 km에 대한 NAHMIS 도면에 좌표를 부여하기 위해 변환에 사용되는 기준점을 2개 이상 찾아내어 기선을 형성하였다. 또한 찾아낸 좌표값을 이용하여 NAHMIS 도면에 초기 좌표를 부여하기 위해 GPS 도면의 기준점 좌표를 기준으로 이동(Translation)을 시켰다. 표 2는 곤지암 지역에서 변환을 위해 사용된 기준점을 나타낸다.

중첩되는 기선을 설정하여 기준기선을 중심으로 옮기고자 하는 기선을 회전한다. 회전식은 식 (4)와 같다.

$$\cos \theta = \frac{(x_2 - x_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \quad (4)$$

다음은 식 (4)를 사용하여 얻은 결과이며 표 3에 요약하였다.

표 2. 곤지암 교각 모서리의 좌표

	X 좌표	Y 좌표
GPS 측량도면 곤지암 교각	232114.170	426233.970
갈마터널 교각	217867.660	434303.750
NAHMIS 도면 곤지암 교각	232113.7524	426242.2558
갈마터널 교각	217867.5464	434306.6681

표 3. 회전이후의 갈마터널 교각좌표의 변화

	처음	선형이동량	회전
X 좌표	217867.5464	217867.9640	217870.1915
Y 좌표	434306.6681	434298.3823	434302.3161

기선 1. 기준도면(GPS)을 사용한 곤지암과 갈마터널 교각의 기선각

$$2.526215933 \text{ rad} = 150.4710891 \text{ deg}$$

기선 2. 움직일 도면(NAHMIS)을 사용한 곤지암과 갈마터널 교각의 기선각

$$2.626492081 \text{ rad} = 150.4849112 \text{ deg}$$

두 기선의 각도차

$$\text{기선1} - \text{기선 2} = 0.015822065 \text{ deg}$$

같은 각으로 변환된 두 도면간의 좌표 부합을 위해 기선거리 변화의 비를 구해내어 측척 변환을 수행하였다.

#### X축의 측척 변화

GPS 거리 : 기준점 - 실제좌표 = 14246.51m

회전후의 거리 : 기준점 - 회전후 좌표 = 14243.9785 m

#### Y축의 측척 변화

GPS 거리 : 기준점 - 실제좌표 = -8069.78 m

회전후의 거리 : 기준점 - 회전후의 좌표 = -8068.3461 m

계산상의 측척

측척(x) : 0.999822307

측척(y) : 1.000177719

위의 계산상의 측척 변화값은 실제로 회전을 시켰을 경우 두 기선이 정확하게 일치선으로 일치하지 않으므로 상당히 큰 오차를 포함할 수 있다. 따라서 GPS 측량도면의 좌표를 기준으로 접합한 도면의 상대점을 반복적인 계산법을 이용하여 측척 (x, y)을 구해냈다.

표 4. 반복법을 이용하여 변환된 측적과 좌표

	스케일 X	스케일 Y	X좌표	Y좌표
GPS 측량 기준점	1	1	217867.660	4434303.750
NAHMIS 측량 기준점	0.99998839	1.00000331	217867.662	434303.754

#### 4.2 평창지역의 좌표부여

평창 10 km를 대상으로 500 m마다 변환 기준점을 잡아 NAHMIS 도면에 좌표를 부여하고 연결도면을 순차적으로 연결하였다. 좌표변환을 위한 변환 기준점 측량을 미리 수행하지 않았기 때문에 두 도면간에 정확하게 일치하는 점을 찾을 수 없으므로 그림 5에서 보이는 것과 같이 NAHMIS 도면과 GPS 측량도면에서 같은 점이라고 생각되는 교량이나 암거 등을 찾는다.

한 장의 NAHMIS 도면은 500 m를 기본 단위구간으

로 사용하여 제작되었기 때문에 모든 도면의 중앙선의 길이에 대해 측척 조정을 하여 실제 거리가 500 m가 되게 조정을 한다. 앞에서 찾은 교각의 대각선을 기준으로 크기를 맞추어 전체 도면에 대해 선형적인 변화를 준다. 연결되는 나머지 NAHMIS 도면도 위와 같은 과정을 따랐으나 변환좌표의 위치를 쉽게 찾을 수 없는 경우, 접합한 도면의 뒤에 연결되는 도면에서 중앙선의 양 끝점을 연결교점으로 선택하고 이를 기준으로 연결도면의 좌표를 변환하였다.

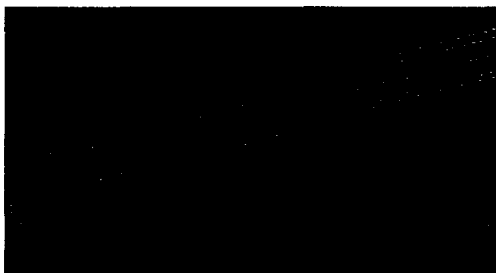


그림 5. NAHMS와 GPS 측량도면의 교량부분



그림 6. NAHMIS 도면과 GPS 측량도면의 접합

### 5. 문제점 및 결과분석

NAHMIS는 위치정보가 없고 각 도면마다 방향이 다르며 측척이 일정하지 않으므로 도면접합이 상대적으로 힘들고 도면접합 과정에서 많은 오차를 포함하게 된다.

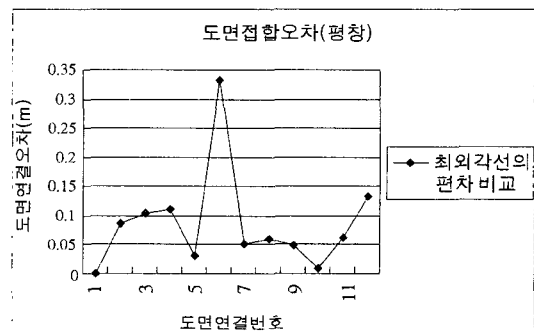
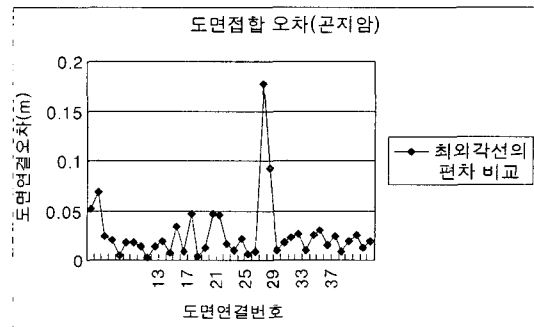


그림 7. 두 지역의 도면접합 오차비교

또한 측량을 통해서 만든 자료가 아니고 기존의 래스터 데이터를 이용하여 제작하였기 때문에 실제 측량을 통해서 얻어낸 결과와 차이를 보였다. 그림 7은 곤지암 지역과 평창지역의 도면접합과정에서 두 개의 접합기선이 정확히 일치하지 않아 발생한 오차각을 두 도면간의 최외곽선이 벌어진 정도로 나타낸 것이다. 도면연결오차가 상대적으로 큰 것을 제거하고 평균을 취하면 전체적으로 8 cm이내의 범위에서 도면접합이 이루어 졌다는 것을 알 수 있다.

하지만 이와 같은 오차는 도면접합을 할 때 도면접합 부위에서 기하학적인 변화를 수반함으로써 비록 1°미만의 작은 오차각을 형성하고 그 오차가 수 cm 이내라 할지라도 절대위치 오차를 증가시키는 오차요소로 볼 수 있다. 따라서 보다 정확한 결과를 얻기 위해서는 선형적인 기하나 왜곡에 대한 보정이 필요하다.

위의 그림 7과 같은 연결지점에서의 도면접합 오차는 좌표가 부여된 이후의 정확도 판단을 위한 기준을 제시

표 5. 무작위 표본조사에 의한 오차

	곤지암	평창
1	1.7535	0.176
2	1.6178	0.6155
3	1.909	0.6482
4	1.7235	0.646
5	1.1059	0.8626
6	0.746	0.7482
7	0.7837	0.9978
8	0.5036	0.1228
9	0.8597	0.403
10	1.2031	1.1726
11	1.4661	1.4704
12	1.4879	0.9042
13	1.4592	1.3267
14	2.0625	1.4443
15	1.5384	1.5283
평균	1.347993	0.871107

할 수 없으므로, AutoCAD 상에서 곤지암 지역과 평창 지역의 GPS 측량도면을 기준으로 NAHMIS 도면을 중첩하고, 두 도면간에 일치하는 선형 레이어를 기준으로 무작위 표본추출에 의한 거리차를 비교하였다.

또한 NAHMIS 도면에 좌표를 부여한 결과 발생하는 최대 오차를 분석하기 위해 표 6과 같이 곤지암지역(20 km)과 평창지역(10 km)의 NAHMIS 도면과 GPS 도면 사이의 선형적인 최대편차를 비교하였다.

편차를 비교한 기준은 GPS 측량도면과 새롭게 좌표가 부여된 NAHMIS 도면을 중첩해 놓고 비교구간에서 편차가 가장 큰 부분을 눈으로 판단하여 두 선의 거리차를 비교하였다. 그리고 시작과 끝 부분에서 좌표부여를 위해 변환 기준점으로 사용한 점은 거의 일치하므로 편차비교에 사용하지 않았다. 표 6의 결과를 보면 첫 번째 20 km 구간에서 보다 두 번째 10 km 구간에서 보다 나은 결과를 얻었음을 알 수 있다. 이는 NAHMIS 도면을 접합할 때 도면 끝의 접합교점을 부수적으로 이용하더라도 모든 도면을 접합한 후 좌표를 부여하는 방법보다는 GPS 측량도면을 이용하여 각각의 도면을 500 m씩 나누어 좌표를 부여하고 접합해 나가는 방식이 훨씬 타당하다는 것을 보여준다. 또한 도면접합 당시 각각의 NAHMIS 도면이 100% 정확하게 접합되지 않고 1°미만의 오차각을 형성하지만 전구간의 오차가 비슷한양상을 보이고 있다. 이와 같은 결과가 나타나는 이유는 도면접합을 할 때 500 m 단위로 끊어서 접합을 하였으므로 발생하는 오차가 누적되지 않았기 때문이다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 GPS 측량 성과를 이용하여 좌표가 없는 NAHMIS 도면에 두 가지 방법으로 좌표를 입력하는 작업을 수행하였다. 첫 번째 방법은 구간 전체에 대하여 도면을 접합하고 GPS 성과를 이용하여 좌표를 부여하는 방법이고, 두 번째 방법은 500 m의 단위도면에 좌표를

표 6. 곤지암 지역과 평창지역의 최대 편차비교

	곤지암 지역(20 km)			평창지역(10 km)		
	도면의 시작	도면 중간	도면 끝	도면의 시작	도면 중간	도면 끝
윗쪽 최외각선	1.729	1.327	1.430	0.567	1.593	1.033
중앙선	1.728	2.298	0.466	0.489	1.084	0.467
아래 최외각선	1.591	1.553	0.922	0.216	1.120	0.581

부여하고 도면을 연결하는 방법이다. 이에 관한 결과를 종합해 보면 다음과 같다.

가. 전구간에 대해 도면을 접합하고 좌표를 부여하는 경우, 처음과 끝의 변환 기준점을 이용하여 전체적으로 같은 변환계수를 사용했지만 오차가 일정하지 않았다. 이는 도면접합을 할 때 발생하는 거리에 대한 누적오차 보다는 각각의 도면에서 나타나는 오차가 상대적으로 크다는 것을 의미한다. 따라서 도면을 접합하기에 앞서 접합도면에 대한 기하보정이나 왜곡보정이 선행적으로 이루어진다면 더 나은 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

나. 2차원등각변환 방식을 이용하여 NAHMIS 도면에 좌표를 부여해본 결과 모든 도면을 접합한 후 좌표를 부여하는 방법은 상대적으로 편리하고 시간을 절약할 수 있다. 하지만 변환을 위한 기준점 측량이 별도로 수행되거나, 구간마다 쉽게 찾을 수 있는 변환 기준점이 있을 때에는 각각의 도면을 각 단위별(본 연구에서는 500 m)로 좌표를 부여하는 방법이 훨씬 타당하다.

다. 대략 접합을 통해서 발생한 최대오차는 2m 정도였다. 이는 축척 1:5,000 지도에서는 0.4 mm 정도이고, 1:1000의 대축척 지도에서 나타나는 오차는 2 mm 정도이다.

본 연구결과를 토대로 NAHMIS는 도면의 주된 용도인 도로대장의 누설 및 준공도면의 합리적인 관리뿐만 아니라 시설물의 위치 파악 및 관리에 보다 적극적으로 사용할 수 있으며, 좌표체계의 통일로 도로관리의 효율성을 극대화시키고 다른 연계시스템과의 자료교환의 비

효율성을 제거할 수 있을 것이다. 나아가 도로관리를 체계적으로 지원하기 위한 통합도로관리시스템의 자료로 충분히 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 조윤희, 성원모, 최동석, “도로통합 관리 시스템의 아키텍처 제안”, 1998년도 대한토목학회 학술발표논문집(IV), pp. 115-118.
2. Paul R. Wolf, Charles D. Ghilani, “ADJUSTMENT COMPUTATIONS”.
3. Gilbert Strang, Kai Borre, “Linear Algebra, Geodesy, and GPS”, Wellesley Press, 1996.
4. William R. Newell, Richard Mott, Stephan Beck, And Hans Lehrach, “Construction of Genetic Maps Using Distance Geometry”, Genomics 30, pp. 59-70, 1995.
5. J. R. Buckland, J. M. Huntley, S.R.E. Turner, “Unwrapping noisy phase maps by use of a minimum-cost matching algorithm”, APPLIED OPTICS, Vol. 34, No. 23, 10 August 1995.
6. Anne S. Olsen, Anca Georgescu, Stephanie Johnson, Anthony V. Carrano, “Assembly of a 1-Mb Restriction-Mapped Cosmid Contig Spanning the Candidate Region for Finish Congenital Nephrosis(NPHS1)”, Genomics 34, pp. 223-224, 1996.
7. 배상진, 최철웅, 강인준, “WGS-84 좌표계에 의한 수치지도 작성”, 한국측지학회지, 제 15권, 제2호, pp. 269-275, 1997.
8. “수치위치정확도에 관한 연구”, 국립지리원, pp. 51-54, 1998.