

## 전산화 지적도의 왜곡 최소화 알고리즘 비교연구

김병국\* · 정동훈\*\* · 김해명\*\*\*

### A Comparative Study on Distortion Correction Algorithms for Digital Cadastral Maps

Byung-Guk Kim\* · Dong-Hoon Jeong\*\* · Hai-Ming Jin\*\*\*

#### 요 약

전산화된 지적도를 그대로 사용하여 필지경계점 위치, 필지면적, 필지경계선의 길이를 계산하고, 법적으로 유효한 도면으로 사용하기 위해서는 왜곡을 보정하여야 한다. 왜곡보정방법으로서 4 도곽점을 이용한 2차원부등각변환법, 지적도를 9개의 영역으로 분할하는 방법, 세부측량원도를 이용하는 방법, 도곽선을 직선화하면서 보정하는 방법들이 연구되었다. 본 연구에서는 이 네가지 보정방법을 지적도에 적용하여 필지경계점의 위치 보정을 하고, 그 보정의 정확도를 비교 분석하였다. 불규칙적으로 일어난 변형을 완전하게 보정할 수는 없으나, 4 도곽점을 이용하여 2차원투영변환으로 보정한 후 도곽선 직선화에 의한 보정을 추가하는 것이 왜곡을 최소화할 수 있는 방안으로 판단되었다.

**ABSTRACT** : In order to calculate the position of parcel boundary points, the area of the parcel, and the length of the parcel boundary lines using a digitalized cadastral map or maps, the distortion of the map has to be corrected. The correction methods, such as the method of 2D affine transformation using 4 corner points of the edge lines, the method of tessellation into 9 subregions, the method of using the original surveying sheets, and the method of straightening the 4 edge lines, have been developed. In this paper, the four methods were programed and applied to some sample cadastral maps and the correction accuracies were obtained and analysed. No method could perfectly correct the distortions because the distortions

\* 인하대학교 지리정보공학과 부교수

\*\* 인하대학교 지리정보공학과 박사과정

\*\*\* 인하대학교 지리정보공학과 석사과정

were irregular throughout the maps. However, it is found that the method of straightening the 4 edge lines is the one which can minimize the distortions when the method is applied after applying the 2D projective transformation on the maps using the 4 corner points of the edges.

## 1. 연구 배경 및 목적

우리나라 지적도는 전국토를 대상으로 1910년~1918년 사이에 최초로 제작되었다. 이 최초로 제작된 지적도가 “세부측량원도”로서, 정부기록보존소에 보관되어 있다. 현재에도 그 당시의 개별 도엽 도곽과 필지경계선은 그대로 유지한 채, 필지의 분할과 합병에 의해 변경된 필지경계선을 “현행지적도”로서 각 지방자치단체에서 관리하고 있다.

자연적으로 발생하는 왜곡과 빈번한 이용에 따른 변형으로 지적도면은 원래의 도곽 형태를 그대로 유지하지 못하며 필지경계점의 위치와 필지의 형상에 왜곡이 발생하게 된다.

1978년에 시작된 지적도면 자동제도사업에 이어서, 1996년에는 지적도 전산화사업이 본격적으로 시작되었다. 지적도 전산화사업은 현재 사용되고 있는 “현행지적도”인 종이지적도를 스캔하여, 그 래스터 파일을 컴퓨터 화면에 띄우고, 마우스로 필지경계점을 독취하여 벡터화하는 절차를 거친다. 전산화 지적도란 결국 왜곡된 종이지적도를 그대로 복사한 수치도면인 셈이다. 2003년 현재 72여만 매에 달하는 지적도 및 임야도의 전산화를 거의 완료한 상태이다.

지적도 왜곡의 문제는 지적도 전산화사업에 의해 현행지적도를 전산화하면서

본격적으로 부각되기 시작하였다. 종이 지적도는 필지의 모양만 유효할 뿐, 실제의 필지경계선 복원에서는 도근점 등을 이용한 상대측량으로 그 모양을 재현함으로써 큰 문제없이 사용될 수 있었다. 그러나 전산화를 하게 되면 각 필지경계점은 좌표를 숫자로 가지게 되므로 현실세계의 좌표값과 대응되는 값을 가지게 하여야만 수치도면 그대로를 사용하여 필지경계복원, 필지면적계산, 인접 도곽과의 연결이 가능하게 된다. 지적도 도엽별 왜곡보정이 되지 않고 있는 현 상태로는, 수치도면은 수치화의 목적을 모두 달성하지 못하고 종이도면의 인쇄를 위한 수치파일의 역할에 그치게 된다. 이러한 필요성에 의하여 지적도 왜곡보정의 방법이 많이 연구되었다. 그러나 어떤 방법도 불규칙적, 비선형적으로 일어나는 왜곡을 완전하게 보정할 수는 없다는 결론에 이르게 되었으며 따라서, 그 중에서 나은 방법을 택할 수밖에 없는 선택의 문제에 이르게 되었다. 도엽과 도엽의 연결은 더 큰 문제를 안고 있다. 즉, 측량 당시에는 한 직선으로 관측된 경계선이고 도면에 한 직선으로 그렸다고 하더라도, 그 직선이 두 도엽으로 나누어진 후에 각각 수치화되었기 때문에, 다시 연결을 하더라도 하나의 직선이 되지 않는다. 즉, 직선의 두 끝점을 이용하여 다시 직선을 만들어야 하는 것이다.

이와 같이 해결될 수 없는 어려움을 안

고 있는 지적도 도곽보정과 도곽연결의 문제를, 현실적으로 허용 가능한 위치오차 범위 내에서 적용 가능한 즉, 작업 효율성이 있는 보정방법과 연결방법을 찾아 보고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

## 2. 지적도 변형유형 고찰

### 2.1 현행지적도 변형유형

1996년의 「지적도면 전산화 시범사업 완료보고서」 [참고문헌 1]에서는 도곽선의 변형패턴에 대하여 ① 종·횡방향에서 모두 축소된 경우, ② 중앙부위를 중심으로 방사방향으로 신축되어 도곽선이 곡선 형태가 된 경우, ③ 상부는 신축이 적고 하부만 신축된 경우 또는 이와 반대의 경우의 3가지로 분류하였다.

1997년도 「지적도면 수치파일화 작업 규정 및 전산화에 관한 연구」 [참고문헌 2]에서는 대전광역시 유성구 12개 동의 세부측량원도와 동일지역의 현행지적도에 대하여 신축량을 조사하여 그 구체적인 자료를 제시하였다. 조사방법은 도면당 4 도곽선의 길이를 측정하여 정규도곽의 길이와 비교하는 방식으로 이루어졌다. 곡선적인 변형을 정확히 파악하기에는 부족하지만 변형량을 추정하기에는 적당한 조사였다.

대상지역 내 81장의 세부측량원도(81\*4=324개의 도곽선)에 대한 조사 결과, 77%의 도곽선에 축소변형이 있었으며 5%만이 신장변형이 일어났다. 그리고 신축이 2mm를 초과하는 도곽선은 없는 것으로 나타났다. 도곽선 수의 69%(220개)에 0.5mm

이내의 신축이 일어났다.

동일지역의 현행지적도에 대해서도 같은 방법으로 신축량을 조사하였다. 현행지적도는 1980년을 기준으로 1980년 이후 제작과 이전 제작으로 나누어 비교하였다.

1980년 이후에 제작된 현행지적도는, 전체적인 신축경향은 정규도곽 상태를 유지하고 있는 도곽선의 비율이 높으며, 최근에 작성된 도면은 늘어나는 경향도 나타나서, 도면의 전체적인 신축경향을 말하기는 어렵다. 전체적으로 적은 신축을 보였으나 (90% 이상이  $\pm 0.5\text{mm}$  이내의 신축을 나타내었다) 0.5~2mm의 신축을 나타낸 비율이 4% 정도였다.

1980년 이전에 작성된 도면의 도곽 신축량은 0~3mm로 고르게 발생했음을 알 수 있으며 특히 2mm 이상의 신축을 보인 도곽선이 전체의 16%에 이르렀다.

이 조사결과로부터 지적도면의 신축 경향을 분석하면 다음과 같다.

첫째, 현재 사용하고 있는 현행지적도의 신축량이 토지조사당시에 작성된 세부측량원도의 신축량보다 크게 나타났다. 1990년대에 들어서 재작성된 지적도면은 거의 신축이 발생하지 않았지만 그 이전에 작성되어서 사용되고 있는 도면의 신축량은 세부측량원도의 것보다 훨씬 큰 것으로 나타났다.

둘째, 작성 후 오랜 기간 사용한 도면은 전체적으로 줄어드는 경향을 보였고, 최근에 재작성된 도면은 신축량이 일정하게 유지되는 도면이 전체적으로 많았으며, 도곽이 늘어나는 도면도 있었다.

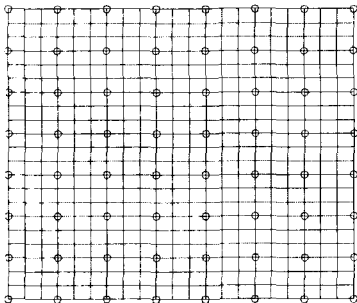
셋째, 1980년 이전에 작성되어 사용되고 있는 현행지적도는 4 도곽선에 걸쳐 평균 약 1mm의 축소가 일어났으며, 1980

년 이후에 작성되어 사용되고 있는 현행 지적도는 약 0.7mm 이내의 신장 또는 축소를 보였다.

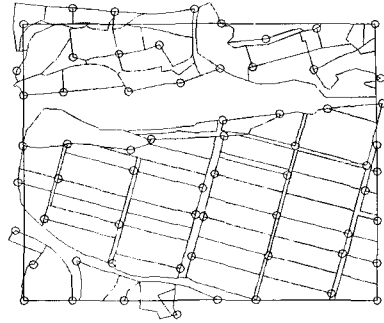
## 2.2 현행지적도 변형 모델

1999년의 「지적도 전산화를 위한 도곽 보정·접합보정 및 품질검사전문가시스템 개발」 [참고문헌 3] 연구에서는 세부측량 원도와 현행지적도의 변형 모델을 수학적 으로 재현하고, 보정 알고리즘을 적용하여 보정의 정확도를 확인하였다. 1999년 정동훈의 「도곽선을 이용한 지적도 신축 보정 연구」 [참고문헌 4]에서는 도곽선이 직선을 유지하도록 보정하는 방법이 제안되었다. 다음은 이 연구들의 연구결과를 정리하여, 변형 모델과 보정 알고리즘을 요약한 것이다.

왜곡과 보정의 결과 비교를 쉽게 하기 위하여, “세부측량원도”에 있는 그리드 원형을 정규 도곽 크기로 CAD도면을 작성하였고[그림 1], 그 세부측량원도에 해당하는 가상의 지적도 원형을 CAD도면으로 작성하였다. [그림 2] 원형의 도곽의 크기는 416.667mm\*333.333mm를 사용하였다.



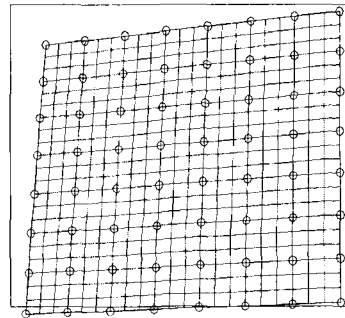
[그림 1] 정규도곽 그리드



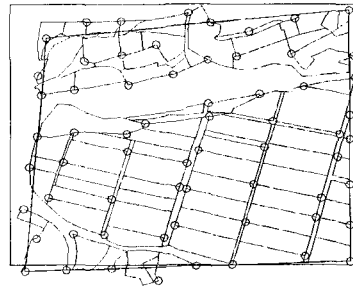
[그림 2] 지적도 원형

작성된 원형에 가상의 4가지 변형을 적용하였는데, 그 변형의 유형을 그림으로 정리하면 다음과 같다. ([그림 3] ~ [그림 10])

### ① 선형변형 모델

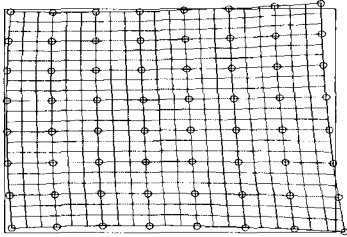


[그림 3] 선형변형(그리드)

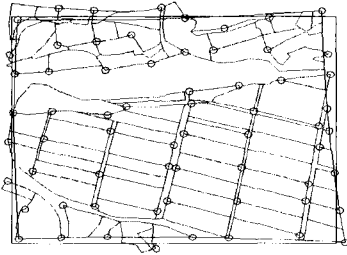


[그림 4] 선형변형(지적도)

② 편향곡선변형 모델

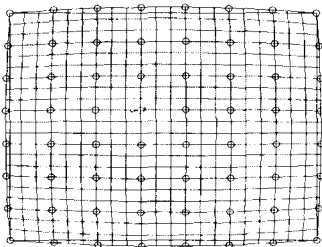


[그림 5] 편향곡선변형(그리드)

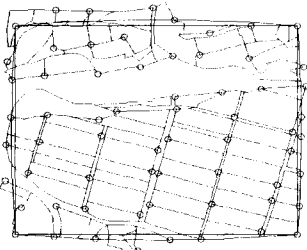


[그림 6] 편향곡선변형(지적도)

③ 팽창곡선변형 모델

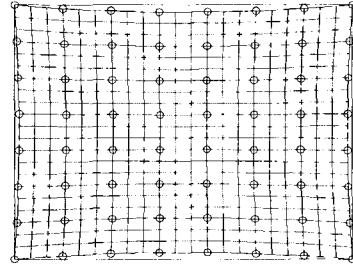


[그림 7] 팽창곡선변형(그리드)

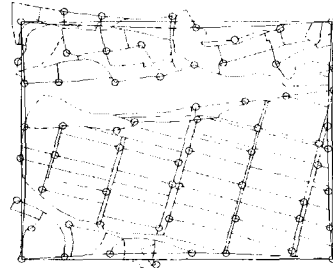


[그림 8] 팽창곡선변형(지적도)

④ 수축곡선변형 모델



[그림 9] 수축곡선변형(그리드)



[그림 10] 수축곡선변형(지적도)

3. 도곽보정에 대한 이론적 고찰

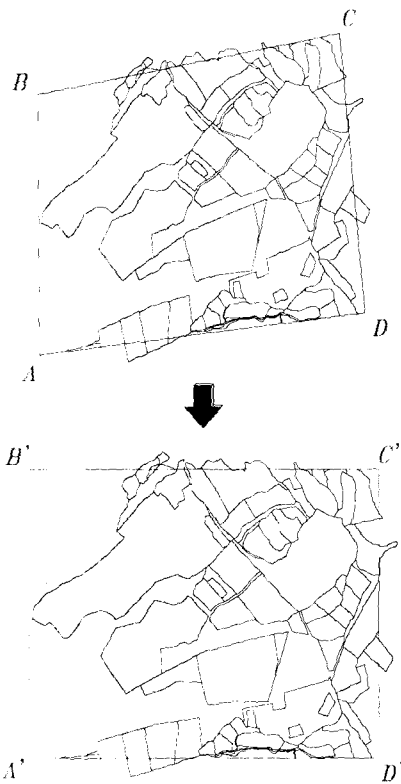
도곽보정을 위한 수학적 이론으로는 단순 2차원 변환법과 기준점의 이동량에 따라 미지점의 이동량을 비례 계산한 비례 계산법이 있다. 2차원 변환법은 4 도곽점을 이용하는 방법이며, 비례계산법은 영역분할 방법, 세부측량원도를 이용한 방법과 도곽선에 의한 보정방법으로 나눌 수 있다.

3.1 도곽점을 이용하는 방법

[그림 11]와 같이 변형된 지적도의 4 도곽점 A, B, C, D를 정규도곽의 도곽점 A',

B', C', D'로 변환하며, 도곽에 생긴 변형량을 도곽 내의 도면 전체에 고르게 분배하게 된다. 변환식은 2차원 부등각 변환(2D Affine Coordinate transformation)을 사용한다.

이 방법은 이론이 비교적 간단하고 보정에 사용되는 기준점이 4개의 도곽점이므로 작업이 쉽다. 도면전체에 균일하고 선형으로 발생한 변형을 보정하는데 적합하다. 그러나 도면의 신축이 영역에 따라 불규칙하고 부분적이며, 비선형적일 경우 보정 결과가 맞지 않게 된다는 단점이 있다. 지적도의 신축이 대체로 불규칙하므로 보정 방법으로 적합하다고 할 수는 없다.

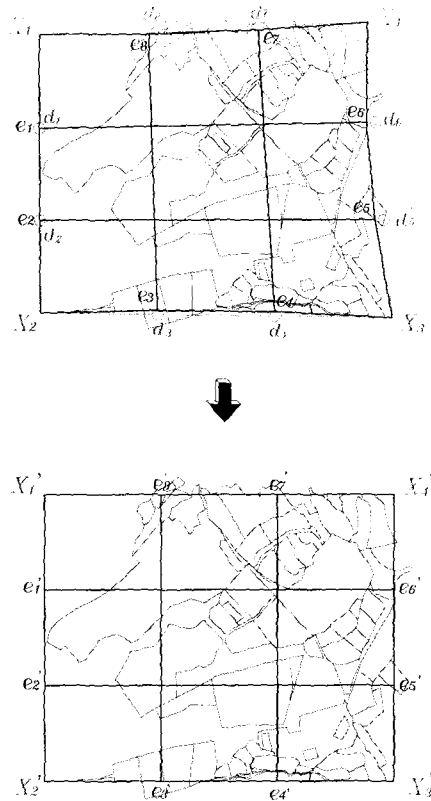


[그림 11] 도곽점을 이용한 왜곡보정

### 3.2 영역을 분할하는 방법

[그림 12]와 같이 지적도의 영역을 9개의 소구역으로 분할하여 각 구역별로 다른 보정식을 적용하므로 4 도곽점을 이용하는 방법에 비해 보다 세밀한 보정 효과를 거둘 수 있다. 또한 이 방법은 도곽선의 모양이 직선으로부터 변형된 경우 어느 정도 직선화 보정이 된다.

그러나 이 방법은 직선의 도곽선이 원호의 일부분으로 변형된다고 가정하였으며, 그 원호의 변형도 도곽선 중앙점 1점으로만 정의하였다는 것에 결함이 있다.



[그림 12] 영역 분할에 의한 신축보정

### 3.3 세부측량원도를 이용하는 방법

원칙적으로 격자가 있는 세부측량원도를 사용하여, 먼저 세부측량원도의 변형을 보정하고, 다음으로 현행지적도를 보정된 세부측량원도에 맞게 변환시키는 것이다. 세부측량원도가 없거나, 있더라도 격자가 없는 경우가 있으므로 다음과 같은 3가지 경우에 따라 각기 다른 절차를 제안하였다.

#### 3.3.1 세부측량원도가 있고 격자가 있는 경우 (A유형)

세부측량원도도 변형이 일어났을 것이며, 그 위에 그려진 격자점도 종이의 신축에 따라 그 위치가 변하였을 것이다. 따라서 격자점을 독취하고 이론적으로 계산된 정규 격자점의 위치와 비교하여 변화량이 있다면 그 변화량이 도면의 격자 영역별 왜곡량이 된다. 그 영역별 왜곡량만큼 투영변환방법으로 보정하여 세부측량원도를 작성당시의 정규도곽으로 변환시킨다. 다음으로는, 변형된 현행지적도에서 세부측량원도에서와 동일한 사정선의 굴곡점과 그 외 필지경계선의 굴곡점을 독취한다. 정규도곽으로 보정된 세부측량원도의 사정선의 굴곡점을 기준으로 하여 현행지적도의 필지경계선을 보정한다. 이 경우의 장점은 30.303mm \* 30.303mm 간격의 격자점을 기준점으로 사용하여 그 격자 영역 내에 해당되는 세부측량원도의 국부적인 변형을 정규도곽 체계로 세밀한 보정을 할 수 있다는 것이다.

#### 3.3.2 세부측량원도는 있으나 격자가 없는 경우(B유형)

이 경우에는 세부측량원도에 격자가 나타나 있지 않다고 가정하여, 세부측량원도에서 4도곽점과 사정선의 굴곡점을 독취하고 보정 전 현행지적도에서도 동일한 점과 필지경계점을 독취하여 변형된 세부측량원도의 좌표계로 변환시킨다. 다음으로 4도곽점을 이용하여 정규도곽좌표계로 다시 변환시킨다. 이 방법은 A유형과 비슷한 보정 절차를 가지지만, 세부측량원도의 국부적인 변형을 보정하지 못하였기 때문에 원도의 변형이 있을 경우에는 A유형의 보정 정밀도에 미치지 못한다. 그러나 세부측량원도 사정선의 굴곡점을 이용하여 현행지적도의 필지경계선 굴곡점을 보정하므로 현행 보정 방법(4도곽점을 이용한 방법; 9개 영역분할 방법)과 비교했을 때는 더 효과적이라고 할 수 있다.

#### 3.3.3 세부측량원도가 없는 경우(C유형)

세부측량원도가 없는 경우에는 2차원 투영변환(2D Projective Coordinate Transformation) 알고리즘만을 이용하여 정규도곽으로 보정한다. 즉, 현행지적도의 4도곽점과 정규도곽의 이론적 4도곽점을 변환의 기준점으로 삼아 현행지적도의 모든 점을 2차원 투영변환하는 것이다. 이 경우에는 현행지적도의 부위별 신축량을 예측할 수 없기 때문에 도곽점에 발생된 변형량을 도면 전체에 균등하게 배분하므로 위치정확도는 앞의 두 경우보다 훨씬 떨어진다고 할 수 있다. 본 C유형은 2차원

부등각변환 알고리즘을 이용하고 있는 현재의 4 도곽 보정 방법과 동일한 방법인데, 다만 사용하는 변환식을 2차원 투영 변환식을 사용하도록 한 것이 다를 뿐이다.

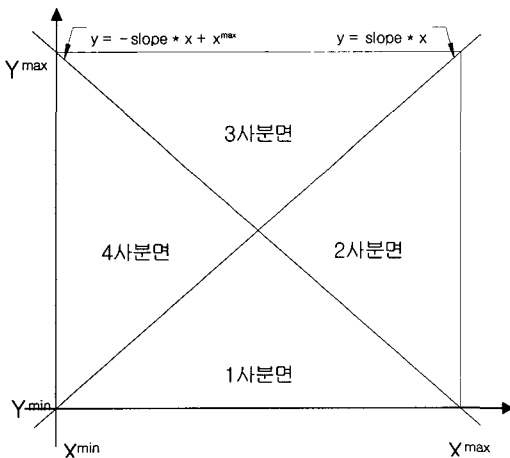
### 3.4 도곽선을 이용하는 방법

도곽선의 선형을 관측하여 도곽선이 직선이 되어야 한다는 사실에 착안한 보정 방법이다. 점 좌표와 영역 변형을 이용한 것과는 달리 선의 선형에만 주안점을 두었다는 것이 다른 방법과의 차이이다.

#### 3.4.1 사분면 구분

[그림 13]에 보인 바와 같이 정규도곽의 4 도곽점(꼭지점)을 서로 이어 대각선을 그으면 그 대각선의 기울기는 <식 1>과 같다.

$$slope = \frac{y_{max} - y_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$



[그림 13] 도곽선의 사분면 결정

어떤 점의 소속 사분면을 판단하기 위하여 <식 2>와 같이  $a$ 와  $b$ 를 정의하였다.

$$a = y_i - slope \times x_i$$

$$b = (y_i - y_{max}) + slope \times x_i \quad (2)$$

독취된 도곽선상의 점 또는 도면의 점 좌표를 <식 2>에 대입하여  $a$ 와  $b$ 를 구한 후 다음과 같은 조건문으로 각 사분면을 결정하게 된다.

- $a < 0$  이고  $b < 0$  이면 1사분면(중심점의 하단)
- $a < 0$  이고  $b > 0$  이면 2사분면(중심점의 우측)
- $a > 0$  이고  $b > 0$  이면 3사분면(중심점의 상단)
- $a > 0$  이고  $b < 0$  이면 4사분면(중심점의 좌측)

$a=0$  이거나  $b=0$ 인 점은 도곽점이므로 이는 따로 사분면을 규정하였다. 즉, 1/1,200 지적도에서 (0,0)은 1사분면, (416.667,0)은 2사분면, (416.667, 333.333)은 3사분면, (0,333.333)은 4사분면으로 하였다.

#### 3.4.2 도곽선 모델링

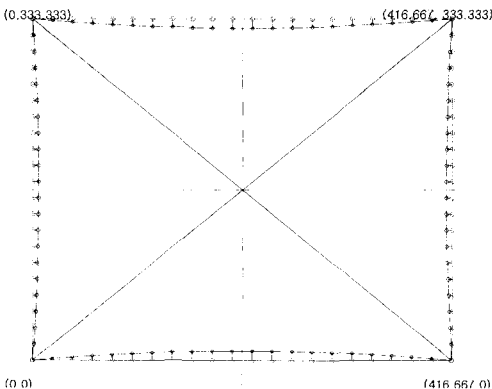
독취된 도곽선 상의 점들이 도면의 신축을 대표하기 위해서는 조밀하면서도 일정한 간격을 유지하여야 한다. 그러나 실제 독취는 수작업으로 이루어지고 시간과 비용의 제약이 있기 때문에 간격이 불규칙하고 점의 수가 적게 될 경우가 많다. 따라서 도곽선을 모델링하여 독취된 점들 사이의 도곽선상 점들을 추정하여야 한다. 여기서는 선형비례계산법, curve fitting, spline 함수 비례계산법을 사용하였다.



선형비례계산법은 점과 다음 점 사이를 직선으로 연결하고 그 기울기를 계산하여 사이 값을 추정하는 방법이다. curve fitting 은 독취된 모든 점들을 고려하여 도곽선을 하나의 함수로 나타낸다. 따라서 구간을 따로 정할 필요 없이 함수에 구하고자 하는 위치를 입력하면 된다. spline 함수 비례계산법은 선형 비례계산법과 마찬가지로 도곽선 상의 미지점을 찾기 위해서는 구간을 정하여야 한다. 그러나 이때는 직선 대신 곡선으로 연결하고 곡선의 방정식은 이웃한 4개의 점으로부터 계산된 3차식이 된다.

### 3.4.3 도곽선 변형량 계산

도곽선 모델링이 끝나면 정규도곽과 비교하여 그 변형량을 계산한다. 예를 들어 1/1,200 지적도를 독취하면 [그림 14]과 같은 모양이 될 것이다. 안쪽으로 완만하게 들어간 선은 변형된 지적도의 도곽선이고 바깥쪽의 직선은 정규도곽선이다. 도곽선 상의 점은 독취된 점들이다.



[그림 14] 도곽선의 변형량 계산

도면의 중심점으로부터 위쪽과 아래쪽의 도곽선에서는 y축 변형만을 계산하고 왼쪽과 오른쪽의 도곽선에서는 x축 변형만을 계산한다.

### 3.4.4 변형량 보정

본 도곽선을 이용한 보정 방법에서는 도곽선의 변형은 도면전체의 신축을 반영한다고 가정하였으므로, 미지점의 변형량은 해당 사분면 도곽선의 변형량에 도면 중심점에서 미지점까지 거리의 중심점에서 도곽선까지 거리에 대한 비율을 곱한 것이라고 추정하였다.

도곽선에 나타난 변형을 도면 전체에 배분하여 미지점의 변형량을 계산하는 방법은 <식 3>과 같다.

$$\Delta X_i = \frac{\Delta x_i \times l_i}{L}, \quad \Delta Y_i = \frac{\Delta y_i \times d_i}{D} \quad (3)$$

여기서,

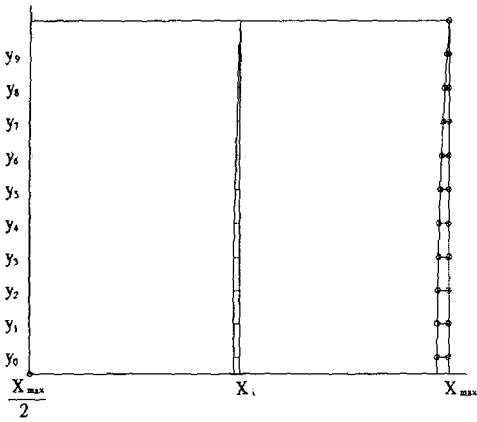
$\Delta X_i, \Delta Y_i$  : 미지점  $i$ 의 변형량

$\Delta x_i, \Delta y_i$  : 도곽선상 점  $i$ 의 변형량

$l_i, d_i$  : 중심점에서 미지점  $i$ 까지 수평, 수직거리

$L, D$  : 중심점에서 해당구간의 도곽선상 점까지 수평, 수직거리

[그림 15]는 도곽선의 변형을 이용하여 미지점의 변형을 계산하는 방법을 그림으로 표현한 것이다.



[그림 15] 도곽선 선형을 이용한 변형량 계산

각 사분면에 대한 변형량 계산식을 정리하면 <식 4>, <식 5>, <식 6>, <식 7>과 같다.

$$1\text{사분면} \quad \Delta Y_i = -\Delta y_i \times \frac{Y_i - (Y_{\max}/2)}{(Y_{\max}/2)} \quad (4)$$

$$2\text{사분면} \quad \Delta X_i = \Delta x_i \times \frac{X_i - (X_{\max}/2)}{(X_{\max}/2)} \quad (5)$$

$$3\text{사분면} \quad \Delta Y_i = \Delta y_i \times \frac{Y_i - (Y_{\max}/2)}{(Y_{\max}/2)} \quad (6)$$

$$4\text{사분면} \quad \Delta X_i = -\Delta x_i \times \frac{X_i - (X_{\max}/2)}{(X_{\max}/2)} \quad (7)$$

미지점의 보정량은 변형량과 동일하며, 부호만 반대로 적용하면 된다. 따라서, 왜곡된 지적도에서 얻어진 점 좌표에 보정

량을 더하여 보정된 좌표로 삼게 된다.

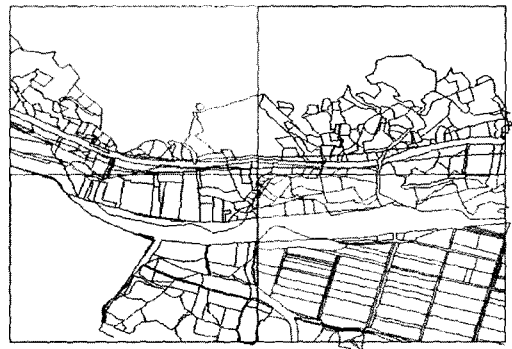
## 4. 도곽보정 알고리즘 적용

앞에서 나열한 왜곡 보정 알고리즘 중에서 세부측량원도를 이용한 보정과 도곽선을 이용한 보정에 대하여, 프로그램으로 그 알고리즘을 구현하고 현행지적도 자료에 적용하여 보았다.

### 4.1 세부측량원도를 이용한 보정 기법 적용

#### 4.1.1 기법 적용

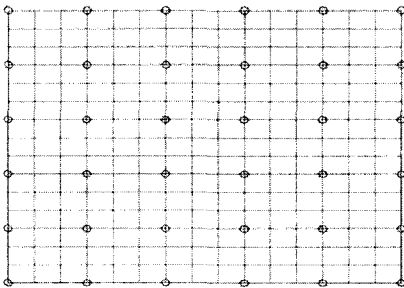
대전광역시 유성구 구암동의 축척이 1/1,200이고 서로 인접한 4장의 지적도를 편집하여 세부측량원도와 현행지적도의 수치 파일을 모의 제작하였다.([그림 16]) 서로 인접한 지역의 지적도를 택한 이유는 보정 후 필지경계선이 중복되는 부분에서의 연결 정확도를 확인하기 위해서이다.



[그림 16] 편집하여 결합시킨 실험 원형 좌상도면이 지적도 1; 우상 도면 지적도 2; 좌하도면 지적도3; 우하도면 지적도 4

우선 왜곡되어 있는 지적도를 2차원투영변환으로 정규도곽으로 맞추고 도곽선 근처에서 서로 어긋나거나 중첩되는 선은 임의로 결합시키거나 이동시켰다. 임의 결합시에는 변형이 비교적 적은 지적도면의 왼쪽과 위쪽을 기준으로 변형이 많다고 생각되는 도면의 오른쪽과 아래쪽을 맞추었다. 이 도면에 여러 변형 모형을 적용하고, 다시 보정 알고리즘을 적용하여 얼마나 원래의 위치에 돌아오는지를 실험한 것이다.

한편, 세부측량원도의 격자점을 모의하기 위해서, AutoCAD를 이용하여 [그림 17]과 같은 그리드를 작성하였다.([그림 1]과 동일) Line의 수가 512개이고 기준점의 수가 36개인 그리드인데, 각 그리드선은 교차점에서 끊어져 있도록 하여 변형 및 보정의 정도를 쉽게 알아볼 수 있도록 하였다. 도곽의 크기는 일반지역 지적도의 정규도곽 크기인 416.667×333.333 mm으로 하였으며, 좌측하단 도곽점이 원점(수평방향이 X축)이 되도록 하였다.



[그림 17] 정규 그리드

세부측량원도에서는 기준점으로서 도곽선과 격자점, 사정선의 굴곡점 좌표를 자료로 사용하고, 현행지적도에서는 도곽선,

사정선의 굴곡점에 대응하는 필지경계선의 굴곡점(기준점), 그리고 변형을 적용할 나머지 필지경계점을 자료로 사용하였다. 독취된 도곽선상의 점 수는 4개의 도면이 똑같이 84개이고 세부측량원도의 격자점의 수는 168개이다. 지적도별로 기준점과 미지점(필지경계점)의 수는 <표 1>과 같다.

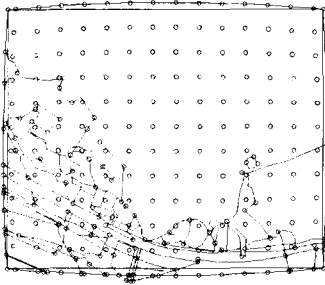
<표 1> 사용된 지적도의 점 수

|      | 기준점 수 | 미지점 수 |
|------|-------|-------|
| 지적도1 | 105   | 684   |
| 지적도2 | 126   | 1416  |
| 지적도3 | 144   | 968   |
| 지적도4 | 202   | 1310  |

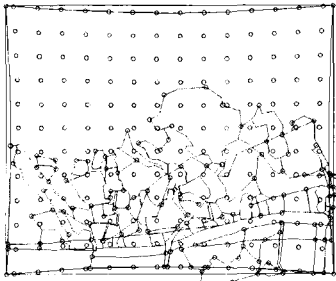
① 세부측량원도 모의 변형 적용

세부측량원도는 작성 후 사용하지 않고 보관하여 오고 있어 신축변형이 상대적으로 적지만, 실제 보정 프로그램이 모든 경우에 적용될 수 있도록 하기 위해서는 과대한 변형까지도 보정할 수 있어야 할 것이다. 따라서 본 실험에서는 지적도 변형 모델 중에 팽창곡선변형과 수축곡선변형을 세부측량원도에 적용하였다.

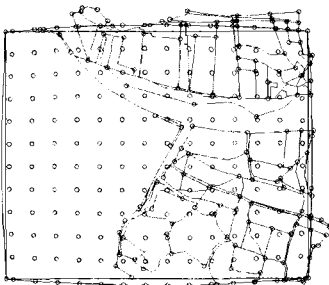
- 세부측량원도1 → 팽창곡선변형 → 변형된 원도1
- 세부측량원도2 → 수축곡선변형 → 변형된 원도2
- 세부측량원도3 → 팽창곡선변형 → 변형된 원도3
- 세부측량원도4 → 수축곡선변형 → 변형된 원도4



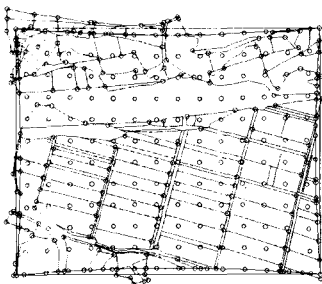
[그림 18] 변형된 원도1



[그림 19] 변형된 원도2



[그림 20] 변형된 원도3

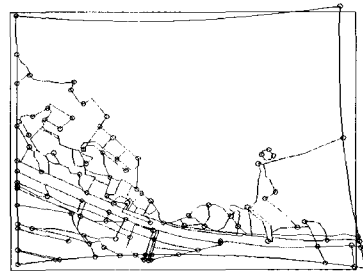


[그림 21] 변형된 원도4

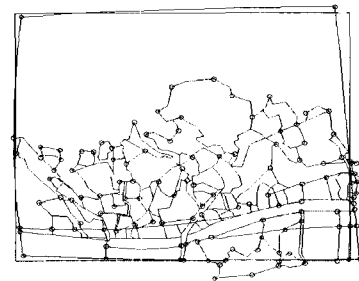
## ② 현행지적도 모의 변형 적용

현행지적도는 보관상태가 좋지 않고 사용이 빈번하므로 건습에 의한 신축이나 사용에 의한 변형 등이 복합적으로 일어나는 경우가 많다. 따라서 본 실험에서는 한 지적도에 대하여 여러 가지 변형 모델 중에서 2가지의 변형을 동시에 적용하여 변형의 정도가 현실에 가깝도록 하였다.

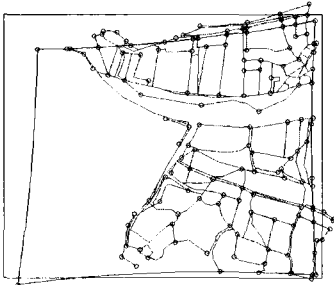
- 현행지적도1 → 수축곡선변형 → 편향곡선변형 → 변형된 지적도1
- 현행지적도2 → 팽창곡선변형 → 편향곡선변형 → 변형된 지적도2
- 현행지적도3 → 수축곡선변형 → 선형변형 → 변형된 지적도3
- 현행지적도4 → 팽창곡선변형 → 선형변형 → 변형된 지적도4



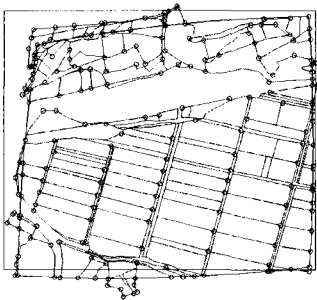
[그림 22] 변형된 지적도1



[그림 23] 변형된 지적도2



[그림 24] 변형된 지적도3



[그림 25] 변형된 지적도4

#### 4.1.2 지적도별 보정 결과

위의 변형된 세부측량원도와 변형된 지적도에 A 유형의 보정을 실시하였다. 본 결과를 도출하는데 사용된 비례계산법은 여러 다른 실험에 의하여 보정정도가 가장 좋았던 거리제공반비례 비례계산법이다. 계산한 RMS Error는 정규도곽으로 보정한 세부측량원도를 참값으로 하여 정규도곽좌표계로 변환한 현행지적도의 보정정도를 나타낸 것이다.

<표 2>는 각 도엽별 신축보정의 결과에 따른 RMSE를 나타내었다. 기준점이 많았던 곳은 오차가 거의 없이 원형과 일치하고 있으나 기준점이 적었던 곳은 오차가 많이 발생하고 있다. 도곽 내에서 지적도

면의 외곽지역이 중심지역보다 오차가 많이 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 외곽지역에 대해서는 가능한 한 많은 기준점을 입력하여야 할 것이다.

<표 2> 지적도별 RMS Error

(단위 : mm)

| 지적도 | 변형         | 좌표축 | RMS Error |
|-----|------------|-----|-----------|
| ①   | 축소 + 편향 변형 | X   | 0.303     |
|     |            | Y   | 0.056     |
| ②   | 팽창 + 편향 변형 | X   | 0.148     |
|     |            | Y   | 0.000     |
| ③   | 축소 + 선형 변형 | X   | 0.158     |
|     |            | Y   | 0.114     |
| ④   | 팽창 + 선형 변형 | X   | 0.090     |
|     |            | Y   | 0.095     |

[그림 26]은 보정후의 현행지적도를 접합한 것으로 거의 모든 점에서 접합이 정확히 이루어졌는데 접합이 잘 이루어지지 않은 부분은 두 도면의 중복되는 부분에 Line의 개수가 틀리거나 사정선의 굴곡점이 선택되지 않았던 선이다.



[그림 26] 보정후 접합 결과

## 4.2 도곽선을 이용한 보정 기법 적용

### 4.2.1 기법 적용

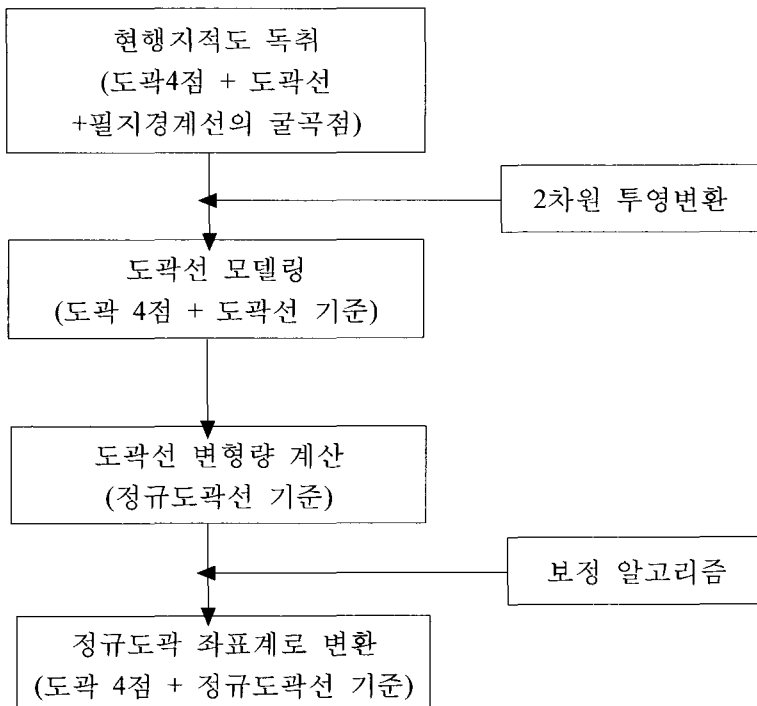
도곽선을 이용한 신축보정법은 먼저 현행지적도를 독취하고 2차원 투영변환을 통하여 정규도곽으로 변환한 후 도곽선 모델링 기법을 이용하여 도곽선의 변형량을 계산한 후 미지점의 변형을 보정한다. [그림 27]은 도곽선 이용한 신축보정법의 순서를 보여주고 있다.

도곽선을 이용한 신축보정법의 실행단계는 도곽선 입력단계, 도곽선 모델링 단계, 도곽선 변형 계산단계, 미지점 변형량 계산 및 보정단계로 구분된다. 우선, 도곽선 입력단계에서는 도곽의 크기와 자료과

일의 구조에 따른 순서에 따라 독취가 이루어지고, 도곽선 모델링 단계에서는 입력된 도곽선상의 점들을 효과적으로 모델링할 수 있도록 사분면에 따라 분리하고 선형을 모델링한다. 다음으로 도곽선 변형계산 단계에서는 정규 도곽선과 모델링된 도곽선의 차이에 의하여 변형량을 계산하는 과정이다. 그리고 미지점 변형량 계산 및 보정단계에서는 미지점의 도곽내 위치에 따라 그 변형량을 계산하고 보정해 주는 단계이다.

### 4.2.2 왜곡 보정 결과

앞에서 기술한 세부측량원도를 이용한 보정 때와 동일한 조건의 변형을 가한 지



[그림 27] 도곽선 이용 보정법의 순서도

<표 3> 도곽선을 이용한 보정법 적용결과 - 지적도별 RMS Error

(단위 : mm)

|     | 적용된 변형                     | 좌표축 | 세부측량원도<br>보정법 결과 | 도곽선<br>보정법 결과 |
|-----|----------------------------|-----|------------------|---------------|
| 도면1 | 원도(팽창곡선)<br>지적도(수축곡선+편향곡선) | X   | 0.303            | 0.199         |
|     |                            | Y   | 0.056            | 0.033         |
| 도면2 | 원도(수축곡선)<br>지적도(팽창곡선+편향곡선) | X   | 0.148            | 0.214         |
|     |                            | Y   | 0.000            | 0.018         |
| 도면3 | 원도(팽창곡선)<br>지적도(수축곡선+선형)   | X   | 0.158            | 0.019         |
|     |                            | Y   | 0.114            | 0.023         |
| 도면4 | 원도(수축곡선)<br>지적도(팽창곡선+선형)   | X   | 0.090            | 0.019         |
|     |                            | Y   | 0.095            | 0.025         |

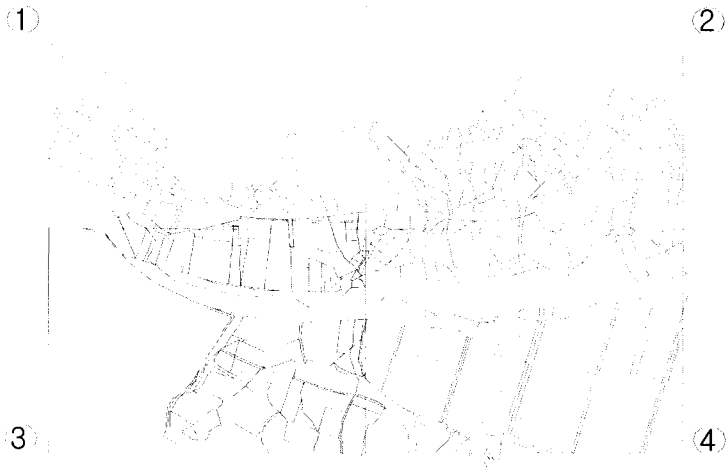
적도에 위에서 기술한 도곽선 변형 보정 방법과 절차를 적용하고 그 결과를 검토 하였다.

<표 3>은 도곽선을 이용한 변형 보정 방법을 적용한, 각 도엽별 신축보정의 결과에 따른 RMSE를 나타내었다. 본 결과를 도출하는데 사용된 도곽선 모델링 기법은 spline함수 비례계산법이다. 선형비례계산법, curve fitting 도 적용하여 보았으나 보정 정도가 가장 좋은 spline 함수 비례계산법의 결과만을 나타내었다. 계산한 RMS Error는 모의 제작된 지적도 원본을 참값으로 하여 정규도곽좌표계로 변환한 현행지적도의 보정정도를 나타낸 것이다. 세부측량원도 방법 결과와의 대비를 위하여, 두 결과 RMSE를 나란히 나열하였다.

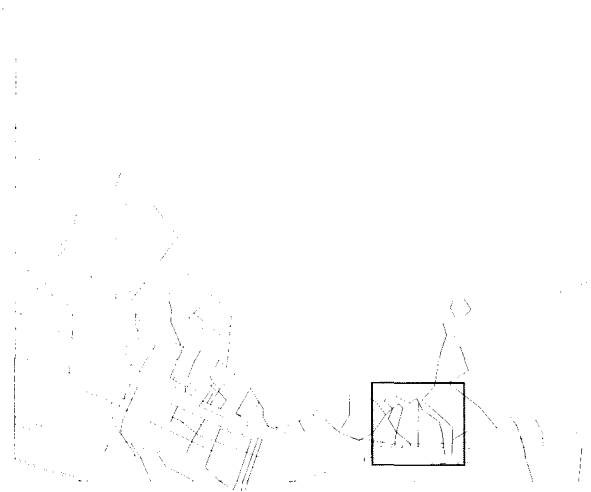
이론적으로는 세부측량원도 방법이 더 정확하여야 하는데도 불구하고 거의 대등하거나, 오히려 도곽선 방법이 더 정밀한 것으로 나타난 것을 알 수 있다. 이것은 첫째, 도곽선 방법에 도곽선형에 의한 보

정뿐만 아니라 2차원투영변환까지 적용하였고 또한 의도적인 변형이 국부적인 것이 아니라 전면에 고루 퍼져 있어서, 모의한 변형이 도곽선 방법에 의한 보정에 아주 적합한 왜곡을 부여한 때문인 것으로 해석된다. 둘째, 세부측량원도의 결과는 세부측량원도에도 변형을 가한 후 보정하였고 이것과 보정된 지적도를 다시 대비하였기 때문에, 즉, 두 차례의 보정 결과의 차이이므로 오차전파의 기본 이론으로 보자면 한 차례의 보정결과에 비하여  $\sqrt{2}$ 배 만큼 오차가 커질 수밖에 없다. 요약하자면, 이론적으로는 세부측량원도 방법의 RMSE가 더 작아야 되는데, 실험에 사용한 변형 부여 방법이 도곽선 방법에 유리한 방향으로만 진행되었던 것으로 판단된다.

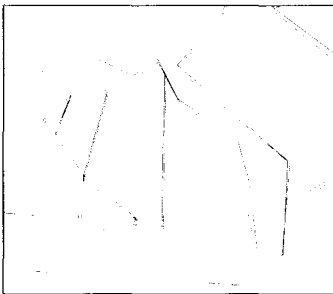
[그림 28]은 보정후의 현행지적도를 서로 연결한 그림이다. 연결 부위는 그림의 크기에 의해 거의 완전하게 연결된 것처럼 보이지만, 동일 경계선이라도 서로 다른 위치로 어긋나 있는 것은 피할 수 없다.



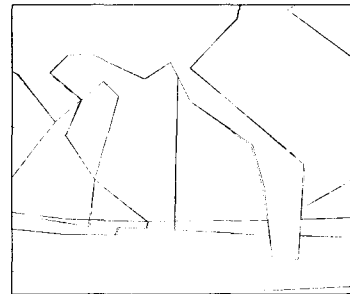
[그림 28] 보정 후 인접지역을 연결한 지적도



[그림 29] 지적도1의 원형 (편집 수정 지적도)



[그림 30] 세부측량원도 방법



[그림 31] 도곽선 방법



[그림 29]는 또 다른 지적도를 사용한 보정을 실험하기 위해 적용한 변형시키기 전의 완전한 지적도이고 [그림 30]과 [그림 31]은 두 방법을 각각 사용하여 보정한 후 원형과 중첩시킨 것이다. 이 특정 부분에 대해서도, 도곽선 방법이 세부측량원도 방법에 비하여 더 나은 결과를 보여 주고 있다.

## 5. 결론

기존에 사용하고 있는 4 도곽점에 의한 보정(대한지적공사: 2차원부등각변환법 사용)은 4점을 기준으로 일괄 변환하는 가장 기본적인 보정 방법이다. 서울시에서 개발한 9 영역분할에 의한 보정 방법은 근본적으로 4 도곽점에 의한 보정과 동일하지만 지적도의 영역을 9개로 나누었으므로 부분적인 변형을 보정할 수 있게 되어 당연히 더 정밀한 보정이 된다. 다만, 기존 방법에서 사용한 좌표변환 방법이 2차원부등각변환 알고리즘이었는데, 이것을 2차원 투영변환 알고리즘으로 교체하여 적용한다면 더욱 나은 보정 효과를 거둘 수 있을 것이다.

새로 제안한 세부측량원도를 이용한 보정 방법은, 영역을 더욱 세분화하여 사정선에 의한 필지 영역 단위로 변형보정을 수행하게 되므로 이론적으로는 가장 완벽한 보정방법이다. 그러나 세부측량원도와 현행지적도의 모든 경계점을 독취하여야 하고, 사정선의 굴곡점의 경우는 수십에서 수백 점에 이르는 점의 입력 순서를 동일하게 하거나, 벡터 매칭기법을 이용

하여 공액점을 찾은 방법(벡터 매칭기법이 완벽하게 공액점을 찾을 수도 없다.)을 동원해야 한다. 따라서, 이 방법은 이론적으로는 가장 좋은 방법이지만, 작업의 효율에 문제가 많아서 현실적으로 적용에 어려움이 있다.

도곽선을 이용한 보정 방법은 위의 기존 방법에 비하여 더 정확한 변형 보정 효과를 보이고 있다. 물론, 4 도곽점 관측에 더하여, 도곽선을 따라서 조밀하게 선형을 관측하여야 하는 작업부담이 있다.

따라서, 기존의 변형 보정 방법으로는 만족되지 못하고 있는 지적도의 왜곡 보정 정확도를 높이는 방법으로는 이 “도곽선을 이용한 보정 방법”이 가장 타당한 대안이라고 판단된다.

## 참고문헌

- 국립지리원, “ ‘98 주제도 시범제작 - 지형지번도 및 행정구역도 제작”, 1999년 11월.
- 과학기술부, “지적도 전산화를 위한 도곽보정·접합보정 및 품질검사전문가시스템 개발”, 1999년 11월.
- 내무부, 한국전산원, 대한지적공사, “지적도면전산화 시범사업 완료보고서”, 1996년 12월.
- 내무부, 한국전산원, “지적도면 수치파일화 작업 규정 및 전산화에 관한 연구”, 1997년 12월.
- 정동훈, “도곽선을 이용한 지적도 신축보정 연구”, 1999년 2월.