Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography
Vol. 35, No. 6, 509-516, 2017
https://doi.org/10.7848/ksgpc.2017.35.6.509

ISSN 1598-4850(Print)
ISSN 2288-260X(Online)
Original article

수치 및 도해 지적측량의 면적오차 계산식에 관한 현실적 고찰

Practical Study of Area Error Formula in Numerical and Graphical Cadastral Surveying

양철수[1)]
Yang, Chul Soo

Abstract

In cadastral surveying, there are problems that no area error is allowed where numerical surveying is carried out, and allowable area error is specified irrespective of parcel shape where graphic surveying is carried out. In this research, we derived a general formula of parcel area error necessary for grasping these two problems. The calculations using the derived formula showed that where the coordinate error of the boundary point is set to 5cm+10ppm practically, then even a small parcel of 100 m^2 includes non-negligible area error of 0.71m^2. And, it is found that the area error specified by the current regulation is based on a rectangular parcel of 1:5 aspect ratio. These results show that the area error of polygon parcel can be determined by a single formula by specifying the coordinate error of the boundary points, and can be used to revise the current regulations that can be applied uniformly regardless of surveying methods.

Keywords: Cadastral Surveying, Parcel Polygon, Boundary Point Coordinate Error, Parcel Area Error, Area Error Formula

초 록

지적측량의 경우 수치측량을 실시하는 지역에서는 사실상 면적오차를 허용하고 있지 않으며, 도해측량을 실시하는 지역에서는 필지 형상과 무관하게 면적오차를 규정하고 있다는 문제점이 있다. 본 연구에서는 이 두 가지 문제점의 파악에 필요한 면적오차의 일반식을 도출하였다. 이 수식을 이용한 계산에 의하면, 현실적으로 지적재조사사업의 필지경계점의 좌표오차를 5cm+10ppm으로 둘 경우, 100 m^2 필지라 해도 면적오차가 0.71m^2 로서 무시할 수 없는 것으로 나타났다. 또, 지적법시행령에서 규정한 면적오차는 경계점 오차를 $\sigma_o = 0.3mm \times$ 도면축척으로 둘 경우 변장 비율이 1:5인 직사각형의 면적오차와 일치하였다. 이러한 결과는, 다각형 필지의 면적오차는 경계점 좌표의 오차 크기를 지정함으로써 측량 방법을 구분하지 않고 하나의 수식에 의해 면적오차의 허용범위를 정할 수 있다는 것으로, 지적측량의 면적오차를 규정하는 현행 규정을 합리적으로 개정하는 데에 활용될 수 있다.

핵심어 : 지적측량, 다각형필지, 경계점좌표오차, 필지면적오차, 면적오차공식

Received 2017. 11. 21, Revised 2017. 12. 07, Accepted 2017. 12. 15
1) Member, PPSoln Co. (E-mail: ceosyang@gmail.com)

1. 서 론

지적측량의 면적오차는 도면상에 전개된 측량결과 즉 필지경계선으로 구성되는 다각형의 필지를 대상으로 한다.「공간정보의 구축 및 관리에 관한 법률」시행령 제19조(등록전환이나 분할에 따른 면적 오차의 허용범위 및 배분 등)에 의하면 지적측량의 면적오차는 도해측량방법에 의한 토지등록 및 토지분할, 등록전환 등의 경우에만 적용하고 있다. 이 규정에 의한 면적오차는 도면축척계수와 도상면적의 크기만으로 정하고 있다.

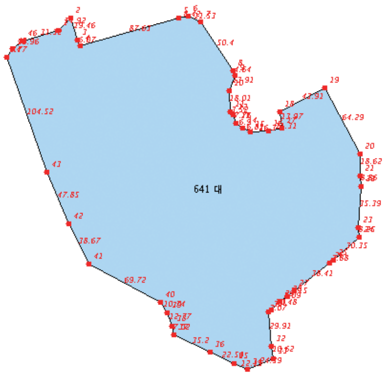
동시행령에 의하면, 경계점좌표등록부가 있는 지역, 즉 수치지적측량지역의 토지분할을 위하여 면적을 정할 때에는 분할 전 후의 면적에 증감이 없도록 정하고 있다. 분할 전 후의 면적이 같아야 한다는 것은 산술적으로는 타당하지만 실제 측량에서 이에 맞는 결과를 구하는 것은 불가능하다고 해도 과언이 아닐 것이다. 면적은 좌표를 이용해 구하게 되므로 면적의 증감이 없으려면, 경계점좌표의 수치를 현실경계와 다르게 조정해야하는 일이 생긴다.

오늘날에는 GNSS, 토탈스테이션 등의 사용이 일반화되고 있다. GNSS 측량방법에 의하여 경계점의 좌표를 곧바로 구하기도 하고, 경계점간 거리 및 각도의 관측에 의하여 경계점의 좌표를 구하기도 한다. 공부에 등록할 면적을 구하는 작업에는 경계점좌표를 이용하게 된다. 예를 들어, Fig. 1은 수치측량 시행지역의 경계점좌표등록부를 나타낸다. 경계점좌표등록부는 한국토지정보시스템을 통하여 열람할 수 있다. 경계점좌표등록부에는 모든 경계점의 부호와 평면직각좌표가 기록되어 있다. 이러한 이유로 수치측량에 의한 필지의 면적오차에 대한 규정을 두고 있지 않는 것으로 보인다.

면적은 계산에 의해 구해지는 것이지만 등록된 그 면적은 원래부터 오차를 포함하고 있다. 수치측량이라 해도 같은 점을 반복 관측하면 똑 같은 위치좌표가 산출되지 않는다. 이 때문에 경계점좌표등록부에 등록된 좌표를 이용하여 경계점을 지상에 복원할 경우 그 경계점을 등록 당시의 위치에 그대로 복원시키는 것은 불가능하다. 경계점의 위치오차에 의해 면적오차가 발생한다. 따라서, 등록전환 및 분할 등 새로이 면적을 등록해야할 경우, 지상에서 측정한 면적과 공부상 면적과의 차이에 대한 허용 가능한 범위를 정할 필요가 있다.

도해측량의 경우 도면 축척별 지목별 면적오차의 분포에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. Choi *et al.*(2004)은 대구광역시를 중심으로 공차 초과 필지의 실태를 조사 분석하였으며, Lee and Kim(2015)은 토지대장의 등록면적과 실제면적은 도면축척, 필지면적, 지목에 따라 면적오차의 발생 비율에 유의미한 차이가 있음을 확인하였다. Park(2009)은 필지의 둘레와 면적오차를 관계 짓는 시도를 하였으나 필지의 형상에 따라 면적오차가 달라지는 정도에 관한 논증에는 이르지 못하였다.

본 연구에서는 다각형 필지에 적용할 수 있는 면적오차의 일반식을 도출하고 수치실험을 실시하였다. 경계점좌표의 우연오차 및 거리에 비례하는 오차의 크기, 필지의 크기와 모양 등 면적오차에 영향을 주는 현실적 요인들에 대한 계산 논증을 실시하였다. 이로부터 수치지적측량과 도해지적측량을 구분할 필요 없이 하나의 공통 수식으로 면적오차를 규정할 수 있음을 제시하였다.



경계점좌표 목록

부호	X	Y
1	457476.67	194071.81
2	457487.11	194082.47
3	457468.50	194088.17
4	457463.37	194091.42
5	457487.50	194175.66
6	457489.05	194183.94
7	457483.74	194194.18
8	457442.16	194222.66
9	457437.70	194223.94
10	457424.58	194219.32
11	457406.57	194219.70
12	457403.92	194222.02
13	457396.80	194225.11
14	457392.84	194230.76
15	457389.42	194236.65

Fig. 1. A part of cadastral books by numerical surveying. Boundary points are denoted by numbers (top), and the corresponding coordinates are shown (bottom)

2. 면적오차의 계산

2.1 오차전달

다각형 필지의 경계점 좌표를 $X_1, X_2, \ldots$ 라 하면 필지 면적은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F(X) = f(X_1, X_2, \ldots) \tag{1}$$

where F: parcel area, and X_i:coordinate of boundary point of polygon parcel.

경계점 좌표 $X_1, X_2, \ldots$ 에 속하는 관측좌표를 $x_1, x_2, \ldots$ 라 하고, 이들의 i 번째 관측치를 x_{1i}, x_{2i}, 로 표현하면 면적 F의 오차 ϵ_{F_i} 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\epsilon_{F_i} &= F_i(x_{1i}, x_{2i}, , \ldots) - F(X_1, X_2, \ldots), \\ i &= 1, 2, \ldots n\text{회}\end{aligned} \tag{2}$$

where ϵ_{F_i}: area error from i-th measurement, x_{ji}: coordinate of j-th boundary point obtained by i-th observation.

이 경우 면적오차의 분산 $\sigma_F{}^2$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$\sigma_F{}^2 = \sum_{i=1}^{n} \epsilon_{F_i}{}^2 / n \tag{3}$$

where $\sigma_F{}^2$: variance of area error, and n: number of observations.

i번째 관측좌표 $x_{1i}, x_{2i}, \ldots$ 에 포함된 오차를 $\epsilon_{1i}, \epsilon_{2i}, \ldots$ 라 하고, $x_{1i} = X_1 + \epsilon_{1i}$, $x_{2i} = X_2 + \epsilon_{2i}$로 두고, Eq. (2)의 우변 제1항을 진의 값 $X_1, X_2, \ldots$ 근방에서 전개하여 정리하면

$$\epsilon_{F_i} = \left(\frac{\partial F}{\partial X_1}\right)\epsilon_{1i} + \left(\frac{\partial F}{\partial X_2}\right)\epsilon_{2i} + \ldots \left(\frac{\partial F}{\partial X_n}\right)\epsilon_{n_i} \tag{4}$$

where ϵ_{ji} is coordinate error of j-th boundary point obtained by i-th observation.

Eq. (3)에 의해

$$\begin{aligned}\sigma_F{}^2 &= \left(\frac{\partial F}{\partial X_1}\right)\sigma_1{}^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial X_2}\right)\sigma_2{}^2 + \ldots \\ &\quad + 2\left(\frac{\partial F}{\partial X_1}\right)\left(\frac{\partial F}{\partial X_2}\right)\sigma_{12} + \ldots\end{aligned} \tag{5}$$

where,

$$\sigma_1{}^2 = \sum_{i=1}^{n}\epsilon_{1i}{}^2/n,\ \sigma_2{}^2 = \sum_{i=1}^{n}\epsilon_{2i}{}^2/n,\ \sigma_{12} = \sum_{i=1}^{n}\epsilon_{1i}\epsilon_{2i}/n, \ldots$$

일반적으로 다각형필지의 경계점좌표 $X_1, X_2, \ldots X_n$ 간에는 특별한 상관관계가 없다. 따라서 Eq. (5)의 오차전달식은 관측치가 서로 독립이라는 가정 하에서 σ_{12} 등은 0 으로 둘 수 있다.

2.2 다각형 필지의 면적오차

지적필지는 경계점을 연결하는 다각형으로 형성된다. 지적필지의 형태는 사각형이 대부분이다. Fig. 2에서 보는 것처럼 n 다각형으로 이루어진 필지경계점의 수치좌표를 (x_0, y_0), $(x_1, y_1), \ldots (x_{n-1}, y_{n-1})$이라 하면 다각형의 필지 면적은 다음 식으로 계산할 수 있다(Weisstein, 2017).

$$F = \frac{1}{2}\sum_{j=0}^{n}(x_{j-1} + x_j)(y_{j-1} - y_j) \tag{6}$$

where x_j, y_j is the j-th point coordinate(*x,y*) of polygon parcel.

이 식에다 Eq. (5) 를 적용하면 다각형 필지의 면적오차는 다음과 같이 표현된다.

$$\sigma_F^2 = \frac{1}{4}\sum_{j=0}^{n-1}\sigma_{x_j}{}^2(y_{j+1} - y_{j-1})^2 + \sigma_{y_j}{}^2(x_{j+1} - x_{j-1})^2 \tag{7}$$

where $\sigma_{x_j}{}^2$, $\sigma_{y_j}{}^2$ is coordinate(*x,y*) error variance of j-th point of polygon parcel.

GNSS 등을 이용하는 수치지적측량에 의해 산출한 필지 경계점 좌표의 오차는 우연오차 σ_0 및 k(ppm)의 비율로 거리에 비례하는 오차로 둘 수 있다. 사각형 필지의 한 점 (x_0, y_0)을 기점으로 삼고, 이 점에 대한 다른 경계점의 x성분 및 y성분의 거리를 $x_{jo} = x_j - x_0$ 및 $y_{jo} = y_j - y_0$ 이라 하면 이들 경계점

좌표의 분산은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}\sigma_{x_0}^2 &= \sigma_{y_0}^2 = \sigma_0^2 \\ \sigma_{x_j}^2 &= \sigma_0^2 + k^2(x_j - x_0)^2 = \sigma_0^2 + \sigma_{x_{j0}}^2 \\ \sigma_{y_j}^2 &= \sigma_0^2 + k^2(y_j - y_0)^2 = \sigma_0^2 + \sigma_{y_{j0}}^2\end{aligned} \tag{8}$$

where σ_0: random error of a coordinate, k: proportional error depending on distance.

이 식에서 $\sigma_{x_{j0}}^2, \sigma_{y_{j0}}^2$는 기점 (x_0, y_0)으로부터의 거리에 비례하는 경계점좌표의 분산이다. 이 관계를 이용하여 Eq. (7)을 다시 쓰면

$$\begin{aligned}\sigma_F^2 &= \frac{\sigma_0^2}{4}\left[\sum_{j=0}^{n-1}(y_{j+1}-y_{j-1})^2+(x_{j+1}-x_{j-1})^2\right] \\ &+ \frac{\sigma_0^2}{4}\left[\sum_{j=0}^{n-1}q_{x_j}{}^2(y_{j+1}-y_{j-1})^2+q_{y_j}{}^2(x_{j+1}-x_{j-1})^2\right]\end{aligned} \tag{9}$$

where,

$$\begin{aligned}q_{x_j} &= \sigma_{x_{jo}}/\sigma_o \\ q_{y_j} &= \sigma_{y_{jo}}/\sigma_o\end{aligned} \tag{10}$$

Eq. (9)는 두 가지 형상을 갖는다. 첫째 항은 경계점좌표의 우연오차에 기인하는 면적의 분산, 둘째 항은 경계점좌표의 거리오차에 기인하는 면적의 분산을 나타낸다. 첫째항의 경계점좌표의 우연오차에 기인하는 면적의 분산은 Fig. 2 에서 보는 것처럼 다각형의 변장과 관계하는 형상을 보인다. 거리오차에 기인하는 둘째 항은 다각형의 면적과 관계하는 형상을 보이며 첫째 항과 비교하여 $q_{x_j}{}^2$ 및 $q_{y_j}{}^2$이 가해지는 크기이다. $\sigma_o=5cm, k=10ppm$이라 하면 $q^2=(2\times10^{-4}\cdot l)^2$이므로 $l=500\,m$ 가 넘을 경우라야 첫째 항 크기의 1/100이 된다. 즉, 이보다 더 짧은 변장으로 이루어진 필지라면 필계점 좌표의 거리오차에 기인하는 면적오차는 무시할 수 있다는 것이 된다. 만일, $\sigma_0=3cm$ 이고 $k=1ppm$ 이면 $l=3000m$에 해당한다.

현실적으로 대부분의 필지는 변장 500m 에 미치지 못한다. 또, 수치측량에서 $k=10ppm$을 넘지 않는다. 따라서, 수치지적측량의 면적오차는 필계점좌표의 우연오차만을 고려하는 처리로써 충분하다는 결과에 이른다. 이 경우 다각형 필지의 면적의 분산은 Eq. (9)의 첫째 항에 의한다. 이 계산은 Fig. 2에서 알 수 있듯이 이웃하는 3점으로 구성되는 삼각형의 밑변거리의 제곱합에 비례한다. 지구단위계획 등에 의해 확정측량으로 구획된 대규모의 필지에 대하여 엄밀을 기해야하는 경우라면 둘째 항까지 포함하는 계산에 의하도록 한다.

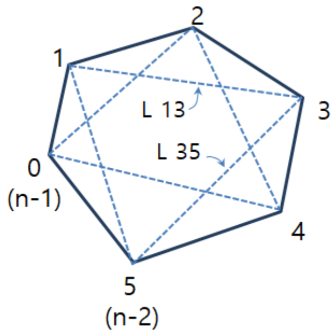


Fig. 2. A polygonal parcel made up of n points. The area variance of the polygonal parcel is the sum of squares of the diagonal distances (denoted by dashed lines L_{13}, L_{35} etc.) formed by the neighboring three boundary points

2.3 사각형 필지의 면적오차

지적 필지의 대부분은 사각형이다. 만일 사각형 필지를 대상으로 필계점 좌표의 우연오차에 기인하는 면적오차만을 표현하면 Eq. (9)의 첫째 항은 다음과 같이 표현된다.

$$\sigma_F{}^2 = \frac{1}{2}\sigma_0{}^2[L_{13}^2 + L_{24}^2] \tag{11}$$

where L_{13}, L_{24} is diagonal distance of rectangle.

여기서 L_{13}는 점1과 점3 간의 거리, L_{24}는 점2와 점4 간의 거리이다. 경계점좌표의 우연오차 σ_0 에 기인하는 면적오차는 Fig. 3에서 보듯이 대각방향의 두 점간거리 L_{13} 및 L_{24} 의 크기에 좌우된다.

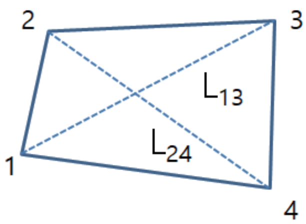


Fig. 3. A square parcel. The area variance is proportional to the sum of squares of the diagonal lengths L_{13} and L_{24}

2.4 직사각형 필지의 면적오차

면적오차에 관한 Eq. (9)를 직사각형의 필지에 적용하면, $x_{24}=x_{31}=l_x, y_{24}=y_{31}=l_y$이고, 면적이 $F=l_x \times l_y$이므로 면적분산은 다음과 같이 표현된다.

$$\sigma_F{}^2 = \sigma_0^2 L_{13}^2 + 2\,(kF)^2 \tag{12}$$

직사각형의 대각선 거리 $L_{13}{}^2 = l_x{}^2 + l_y{}^2$를 면적에 관한 식으로 바꾸어 표현하고, 거리에 비례하는 좌표오차를 x 방향의 거리 및 y 방향의 거리에 따라 $\sigma_{l_x}=k\,l_x, \sigma_{l_y}=k\,l_y$로 바꾸어 Eq. (9)에 대입하면 Eq. (12)은 다음의 식으로도 표현할 수 있다.

$$\sigma_F{}^2 = \sigma_0{}^2 F^2 \left[\frac{1}{l_x^2} + \frac{1}{l_y^2}\right] + F^2 \left[\frac{\sigma_{l_x}{}^2}{l_x^2} + \frac{\sigma_{l_y}{}^2}{l_y^2}\right] \tag{13}$$

where l_x, l_y is width and height of the rectangle respectively.

이 식에 의해 동일면적의 필지라면 면적오차는 $l_x = l_y$인 경우, 즉 정사각형일 경우 면적오차가 가장 작고, l_x 와 l_y 의 차이가 클수록 면적오차가 커진다는 것을 확인할 수 있다.

한 변의 길이가 수 km 에 달하는 대규모 필지가 아니라면 Eq. (13)의 둘째 항의 영향을 무시할 수 있다. 이 경우 면적오차의 계산식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\sigma_F = \sigma_0 \left[\frac{l_x}{l_y} + \frac{l_y}{l_x}\right]^{1/2} \times \sqrt{F} \tag{14}$$

Eq. (14)의 면적오차는 필지면적의 제곱근에 비례하는 것으로 현재 지적측량에서 채용하고 있는 면적오차의 수식과 같은 형태이다.

3. 수치측량의 면적오차 고찰

앞에서 필계점 좌표의 우연오차와 거리에 비례하는 오차에 따른 면적오차를 논하였다. 이 문제를 현재의 지적측량규정과 대비하여 정량적으로 논하기 위하여 직사각형 필지를 대상으로 수치실험을 실시하였다.

직사각형 필지의 면적분산에 관한 Eq. (12) 또는 Eq. (13)를 보면, 경계점 좌표의 우연오차에 기인하는 면적분산은

Table 1. Area variance of rectangular parcels with different aspect ratios. The coordinate error of the boundary point is assumed $3cm \pm 1ppm$ and $5cm \pm 10ppm$, respectively. $\sigma_0^2\,L_{13}{}^2$ is the contribution by the random error of the boundary point coordinates, and $k^2\,F^2$ is the contribution by the error of the boundary point coordinate proportional to the distance

Parcel Area W x L	Coordinate error $3cm \pm 1ppm$		Coordinate error $5cm \pm 10ppm$	
	$\sigma_0^2\,L_{13}{}^2$	$2\,k^2F^2$	$\sigma_0^2\,L_{13}{}^2$	$2\,k^2F^2$
10m x 10m	0.18 m^2	0 m^2	0.50 m^2	0 m^2
5m x 20m	0.38 m^2	0 m^2	1.06 m^2	0 m^2
20m x 20m	0.72 m^2	0 m^2	2.00 m^2	0 m^2
10m x 40m	1.53 m^2	0 m^2	4.25 m^2	0 m^2
5m x 80m	5.78 m^2	0 m^2	16.06 m^2	0 m^2
100m x 100m	18.00 m^2	0 m^2	50.00 m^2	0.02 m^2
50m x 200m	38.25 m^2	0 m^2	106.25 m^2	0.02 m^2
1000m x 1000m	1800.00 m^2	2.00 m^2	5000.00 m^2	200.00 m^2
500m x 2000m	3825.00 m^2	2.00 m^2	10625.00 m^2	200.00 m^2
3000m x 3000m	16200.00 m^2	162.00 m^2	45000.00 m^2	16200.00 m^2
1000m x 9000m	73800.00 m^2	162.00 m^2	205000.00 m^2	16200.00 m^2

$(\sigma_0 L_{13})^2$ 로서 대각선 길이의 함수로써 구할 수 있고, 거리에 비례하는 오차에 따른 면적분산은 $(kF)^2$ 로서 직사각형의 면적을 구하는 것으로 계산할 수 있다. 이에 따라 직사각형의 모양과 크기, 그리고 σ_0와 k 를 달리하는 계산을 실시하였다.

Table 1 은 직사각형 필지에 대한 면적분산을 나타낸다. 필계점의 좌표오차가 $5cm \pm 10ppm$ 이면 면적이 100m^2 인 소규모의 필지라 해도 필지 모양에 따라 면적오차가 필지면적의 1%를 넘어설 수 있다는 것을 보여준다. 또, 필지 면적이 10^{6}m^2 이하라면 면적오차의 대부분은 필지경계점의 우연오차에 기인하며, 거리에 비례하는 오차가 미치는 영향은 무시할 수 있음을 확인할 수 있다. 한 변의 길이가 1,000m 인 정사각형 필지의 면적오차는 $\sqrt{5000+200}$ 에 의해 72.11m^2 이지만 이 중에서 거리오차에 기인하는 양은 1.4m^{2}가 더해지는 데에 그친다. 즉 주된 면적오차의 1%에 지나지 않는다. 단, 10^{6}m^2 를 초과하는 경우에는 필지 모양에 따라 판단이 필요하다. 예를 들어, 한 변의 길이가 3,000m 인 정사각형 필지의 경우 면적오차는 247.39m^2 이며 이 중 거리오차에 따른 기여분은 35.25m^2 로서 면적오차의 14%에 달한다.

현실적으로 오늘날의 토탈스테이션, GNSS 등에 의한 측량의 경우 $k=10ppm$ 을 넘지 않는다. 또 대부분의 필지 면적은 10^{6}m^2 에 미치지 못한다. 이러한 사정을 감안하면 경계점 좌표의 우연오차만을 고려하는 처리만으로써 면적오차의 산정이 충분하다는 것을 알 수 있다.

그러나, Table 1 에서 보듯이 경계점좌표의 우연오차로 인해 100m^2, 200m^2, 400m^2 등 소규모의 필지라 해도 필지 모양에 따라 면적오차가 필지면적의 1%를 넘어설 수 있음을 주의해야 한다.

4. 도해측량의 면적오차 고찰

도해측량방법에 의한 등록전환이나 분할에 따른 면적 오차의 허용범위는 다음의 식에 의하고 있다. 이 식은 1976년 지적법 시행령 개정 이래 현재까지 사용되고 있다.

$$A = 0.026^2 M\sqrt{F} \tag{15}$$

where A: area error, M: map scale factor, and F: registered parcel area.

여기서, A는 면적 허용오차, M은 도면의 축척분모, F는 등록된 필지의 면적이다. 이 식의 면적오차는 면적의 제곱근과 도면축척의 곱에 비례하며 필지형상에 무관하다는 특징이 있다.

앞의 Eq. (14)는 Eq. (15)과 같은 형식이지만 필지의 형상을 반영할 수 있다. 이 식의 계산에 필요한 경계점오차 σ_0는 도해측량의 특성을 감안하여 정하면 된다.「지적측량시행규칙」에서는 측량오차 및 제도오차를 종합하여 도면상 오차를 0.3mm 로 간주한다. 도면상 점의 오차를 σ_d라 하면, 경계점오차는 도면축척(M)에 비례하여 $\sigma_o = \sigma_d \times M$ 로 둘 수 있다.

$\sigma_d = 0.3mm$라 하고 $l_x = l_y$ 로 두어 계산하면, Eq. (15)의 값은 Eq. (14) 계산 값의 1.6배가 된다. 즉 정사각형 필지의 1.6배로 산출된다. 만일 $l_x = 5l_y$ 이면 두 계산 값은 거의 동일하다. 즉, Eq. (15)의 값은 가로:세로 = 1:5 인 직사각형 필지의 면적오차에 해당함을 알 수 있다. Table 2 는 이들 계산 값의 차이를 보여준다.

Table 2. Comparison of area error (unit in m^2). Where (A): area error by Eq. (15) for the 1:600 drawing scale, (B): area error of a square by Eq. (14), and (C): area error of a rectangle with 1: 5 aspect ratio by Eq. (14)

Parcel Area (m^2)	(A)	(B)	(C)
100	4.056	2.546	4.074
200	5.736	3.60	5.762
400	8.112	5.09	8.148
1,000	12.83	8.05	12.883
10,000	40.56	25.456	40.74
1,000,000	405.60	254.558	407.42

지적필지의 면적오차는 정사각형의 필지보다 가로 및 세로의 변장 차이가 클수록 크게 산출된다. 같은 크기의 좌표 오차라 해도 상대적으로 긴 변장에 가해지는 것이 더 크게 영향을 미치기 때문이다. 따라서 도해지적측량에서 정한 면적오차의 허용범위는 변장 비율이 약 1:5 보다 작은 필지의 경우에는 Eq. (15)의 계산 값보다 크고, 변장 비율이 1:5 보다 큰 필지의 경우에는 작다는 결과에 이른다. 지목이 대(垈) 등 비교적 정방형에 가까운 필지의 경우에는 완화되어 있고, 지목이 하천, 도로, 구거 등 긴 변장의 필지에는 강화되어 있다. 이러한 사실은 Choi *et al.*(2004)의 연구에서 면적 공차가 $100m^2$를 초과하는 대부분의 필지는 등록면적이 $1000m^2$ 이상인 도로, 구거 등의 필지에서 발생하고 있다는 것으로 확인할 수 있다.

다시 말하면, 도해측량의 면적오차에 관한 Eq. (15)는 변장 비율이 1:5인 직사각형 필지를 대표하는 것으로 볼 수 있다. 이

때문에 변장 비율 1:5를 경계로 면적오차의 허용범위가 상반된 결과를 보인다는 문제는 간과할 수 없다. 지목이 도로, 하천, 구거뿐만 아니라 전, 답, 임야 등도 정방형 필지에서 크게 벗어나는 경우가 많다. 수치실험 결과는 도해지적측량의 경우라 해도 지적필지의 형상에 따른 영향을 반영할 수 있도록 관련 규정이 개정되어야 함을 시사한다.

5. 결론 및 논의

지적측량의 경우 수치측량을 실시하는 지역에서는 사실상 면적오차를 허용하고 있지 않으며, 도해측량을 실시하는 지역에서는 필지형상에 무관하게 면적오차를 규정하고 있다는 문제점이 있다. 본 연구에서는 이 두 가지 문제점의 파악에 필요한 면적오차의 일반식을 유도하였으며, 도해측량 및 수치측량의 면적오차에 대한 수치실험을 실시하고 문제점을 분석하였다.

첫째, 현재의 도해 지적측량에서는 면적오차를 필지의 형상에 무관하게 규정하고 있으나, 이 면적오차는 필지 경계점 오차를 $\sigma_o = 0.3mm \times M$ (M은 도면축척)으로 둘 경우 변장 비율이 1:5인 직사각형 필지의 면적오차에 해당한다는 것이다. 이 때문에 현행 규정은 필지의 형상에 따라 불합리한 결과를 낳을 수 있다. 가로:세로 비율이 1:5 이하인 정사각형에 가까운 필지는 허용오차가 과다이고, 반대로 한쪽 변이 긴 필지의 경우에는 허용오차가 과소로 되기 때문이다. 이러한 문제점은 지적필지의 형상에 따른 영향을 반영할 수 있도록 관련 규정이 개정되어야 함을 시사한다.

둘째, 수치지적측량에서는 경계점간 거리 및 각도에 의하여 경계점좌표가 얻어지고, 경계점좌표를 이용하면 공부에 등록할 면적이 계산에 의해 구해지므로 필지의 면적오차에 대한 규정을 두고 있지 않는 것으로 보인다. 예를 들어, 경계점좌표등록부가 있는 지역의 토지분할을 위하여 면적을 정할 때에는 분할 전 후의 면적에 증감이 없도록 정하고 있다. 그러나 이 규정은 등록당시의 좌표 및 필지면적에 오차가 없다는 것을 전제로 한다. 이 때문에 추후 분할 측량 등이 이루어질 경우 경계점 좌표에 발생하는 오차가 면적오차에 파급된다. 면적은 좌표를 이용해 구하게 되므로, 면적오차를 허용하지 않게 되면 경계점좌표의 수치를 현실경계와 다르게 조정해야하는 일이 생긴다.

실제로, 「지적재조사에 관한 특별법 시행규칙」 제7조(지적재조사측량성과의 결정)에서는 지적재조사측량성과와 지적재조사측량성과에 대한 검사의 연결교차를 지적기준점의 경우 ± 0.03미터, 경계점의 경우 ± 0.07미터를 허용범위로 하고 있다. 경계점의 점간 연결교차가 0.07미터라면 각 점의 좌표는 ±0.05미터의 오차를 갖는 것으로 볼 수 있다. 현실적으로 필지경계점의 좌표오차를 $\pm(5cm + 10ppm)$로 두면 100m^2 필지라 해도 면적오차가 최소 0.7m^2로서 무시할 수 없는 크기이다. 또,「지적측량시행규칙」제27조(지적측량성과의 결정)는 경계점좌표등록부 시행지역에서의 연결교차를 0.10미터로 정하고 있다. 이 경우에는 필지경계점좌표의 오차가 ±7cm에 해당하므로 면적오차는 1.0m^2에 달한다.

따라서, 지적재조사측량 등 수치측량작업방법이 경계점의 연결교차를 규정하고 있다면 이에 부합하는 면적오차에 대한 규정이 필요하다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 필지는 다양한 형태를 가진다. 다양한 형태를 가진 필지의 면적오차를 규정하기 위해서는 다각형필지에 대한 면적오차의 계산식 도입이 필요하다. 다각형 필지의 면적오차는 필계점 좌표의 우연오차 및 필계점간 거리에 따른 오차에 기인하므로, 수치측량의 특성에 맞게 경계점좌표의 오차 크기를 정해주는 것만으로 면적오차의 허용범위를 정할 수 있다.

본 연구에서 도출한 면적오차의 일반식은 수치측량과 도해측량을 구분할 필요 없이 한 가지 수식으로 정리하여 적용할 수 있다. 수치측량에서 필지 형태를 그대로 채용할 경우라면 다각형 필지를 적용하여 Eq. (9)의 첫째 항의 계산만으로 충분하다. 만일 사각형 필지로 근사할 경우에는 Eq. (11)를 적용하면 된다. 도해측량의 경우에는 현재까지 운영되어온 제도적 관점을 고려할 수 있다. 필지 형태를 가로:세로 비율이 1:5 인 직사각형으로 근사하고 있으므로 변장비율에 따라 Eq. (14)의 적용방법을 세부적으로 정해주면 된다.

이들 적용방법은 면적오차에 대한 일반식 Eq. (9)에 근거하여 다각형의 형태에 따라 구분한 것에 지나지 않는다. 따라서 실제 문제로서 도해측량이냐 수치측량이냐에 따라 우연오차의 크기와 필지를 묘사하는 도형의 형태만 지정하는 것만으로 면적오차에 관한 하나의 통일된 규정을 만들 수 있다는 결과에 이른다.

References

Choi, D.S., Kim, Y.J., and Lee, S.C. (2004), A study on removing area exceeding the error limit due to computerization of the cadatral map – Focusing on Deugu megapolis, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 6, No. 1, pp. 85-103. (in Korean with English abstract)

Lee, Y.G. and Kim, G.Y. (2015), Analysis on the error amount of land Register area for placing coordinates of land boundaries, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 17, No. 1, pp. 91-105. (in Korean with English abstract)

Park C.B. (2009), *A Study on Areal Error Limit of Cadastral Survey - Apply on Haeundae-Gu, Busan*. Master's thesis, Pusan National University, Pusan, Korea, 64p.

Weisstein, E. (2017), Polygon Area, *Wolfram MathWorld,* http://mathworld.wolfram.com/PolygonArea.html (last date accessed: 20 September 2017).