

지적측량의 면적오차 계산공식에 대한 문제점 및 개선방안 고찰

A Study on the Problems and Improvements of the Area Error Formula in Cadastral Surveying

양철수*
Yang, Chul-Soo

Abstract

Based on the general formula for the area error of a polygon and rectangular parcel, the constant term $0.026^2 \times M$ (scale denominator) of the area error calculation formula prescribed by the Enforcement Decree was analyzed. As a result, it is found that the formula appropriately reflects the characteristics of the graphical surveying as a typical rectangular parcel model, but quantitatively allows a relatively large area error. In addition, it is found that, even if the area is the same, 50% more area error than a square parcel could be calculated depending on the shape of the parcel, and that the allowable area error should be different when dividing a parcel. Based on the analysis, furthermore, this study shows a solution that can solve the problems at once from the point of cadastral surveying. These are, the problem of reflecting the accuracy of the surveying, the problem of reflecting the size and shape of the parcel, and the problem whether a single area error formula can be used without having to distinguish between graphical and numerical surveyings. The new formula that solves these problems will bring about improvements in many related factors and promote the development of digital cadastral system.

Keywords: cadastral surveying, polygon parcel, parcel area error formula, tolerance of area error

1. 서론

지적측량의 면적오차란 공부에 등록된 면적과 경계 점으로 구성되는 다각형 필지의 실제 면적과의 차이이다. 도해도면을 수치도면으로 전환(변환)할 경우라든지 토지를 분할·등록할 경우에는 새로이 면적을 결

정하여 등록한다. 등록된 면적과 새로 결정된 면적 간의 차이가 허용오차보다 클 때에는 사회적 행정적 문제를 발생시킨다. 면적의 과부족은 지적재조사사업이나 등록전환 등으로 축척이 변경될 때 또는 도시개발 사업의 보상 및 토지 거래시에 분쟁을 유발할 수 있다. 또, 부적절하게 산정된 허용면적오차는 경계점의 위

* (前)공간정보연구원장/한성대학교 교수 Professor, Hansung University (first author: ceosyang@gmail.com)

치를 현실경계와 다르게 인위적으로 조정해야하는 작업을 불러올 수 있다.

「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률 시행령」 제19조(등록전환이나 분할에 따른 면적오차의 허용 범위 및 배분 등)에 허용면적오차로서 $A = 0.026^2 M \sqrt{F}$ 로 정하고 있다. 여기서 M은 축척분모이고, F는 등록전환될 면적 또는 분할하기 전의 면적이다. 이 공식은 1976년 지적법 전문개정시 도입된 것으로 필지의 크기만을 변수로 하는 단순 계산식이다. 도해측량에 근거하여 작성된 현재의 면적오차계산공식은 측량 기술의 발전, 도해지적에서 수치지적으로로의 전환 등에도 불구하고 특별한 개정 없이 현재에 이르고 있다.

최두산·김용준·이수창(2004)은 대구광역시의 면적불부합지에 대한 분석에 근거하여 공차를 초과하는 필지를 줄이기 위해서는 현행법의 허용공차에 대한 정립, 공차산식 적용의 지적법령체계 재정비 등을 제시하였다.

이영길·김갑열(2015)은 원주시를 대상으로 실시한 통계적 분석에 의해 토지대장의 등록면적과 실제 면적은 도면축척, 필지면적, 지목에 따라 면적불부합지의 비율 및 면적오차의 비율에 유의미한 차이가 있다고 하였다. 지목별로는 면적불부합지가 구거(19.6%), 도로(16.3%)에서 높고, 면적오차의 비율은 도로(6.24%), 구거(3.60%) 등이 높다. 또, 면적이 8,000㎡를 초과하는 필지(20.1%), 축척이 1/6,000인 지역(7.8%)에서의 면적불부합지의 비율이 높다고 하였다. 면적불부합지란 대장면적과 측정면적의 차이가 허용범위를 벗어나는 토지이다. 도면축척, 필지면적, 지목 등에 따라 유의미한 차이가 있는 것은 측량 및 도면작성의 정확도가 다르다는 것뿐만 아니라 면적오차 계산공식이 적합한지에 대한 의문을 가지게 한다.

한편, 백규영·최윤수(2020)는 2011년도부터 시행되고 있는 지적·임야도 자료정비사업의 2019년 11월까지의 정비실적은 전체추출오류대비 공부반영 정비율이 29.6%이고 정비보류비율이 41.3% 라고 발표하

였다. 공부반영 비율보다 정비보류비율이 높은 것은 토지면적 공차초과 등에 의해 토지소유자의 동의절차가 필요하거나 현지측량이 별도로 수반되어야 하는 등의 사유가 되기 때문이다. 또, 김홍열·민웅기(2020)는 지적재조사사업의 2018년도의 성과로서 시·도별 면적증감 필지수 비율이 전국적으로 평균 50%에 달한다고 하였다. 면적공차를 초과하는 문제, 면적증감을 고려해야하는 필지의 여부는 허용면적오차에 따라 달라진다. 적절한 면적오차의 산정은 지적제도의 발전을 도모하고 행정의 효율을 향상시킬 수 있다.

이 논문은 양철수(2017)의 후속연구로서 면적오차의 일반식에 근거하여 지적측량의 정확도 및 필지의 크기와 모양 등 면적오차의 계산에 영향을 주는 요인들에 대하여 정량적 분석을 실시하였다. 또, 일본과 폴란드에서 채택하고 있는 면적오차 계산공식의 특성을 분석하고 허용면적오차의 크기를 비교하였다. 이러한 분석에 기초하여 현재의 지적측량의 면적오차규정에 대한 문제점을 도출하고, 현실에 맞게 개정되어야 할 방향을 제시하였다.

2. 다각형 필지의 면적오차

토지의 면적은 경계점을 연결하는 다각형으로 이루어지므로, 면적오차는 경계점 간의 거리오차 및 필지의 형상에 관계한다. Figure 1에서 다각형 필지의 (x,y)좌표를 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_{n-1}, y_{n-1})$ 라 하면, 다각형의 면적은 Eq.(1)로 계산된다.

$$F = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_{i-1} + x_i)(y_{i-1} - y_i) \quad (1)$$

오차전달에 관한 일반식을 이용하여 다각형 필지의 면적오차에 관한 공식을 나타내면 다음과 같다(양철수 2017).

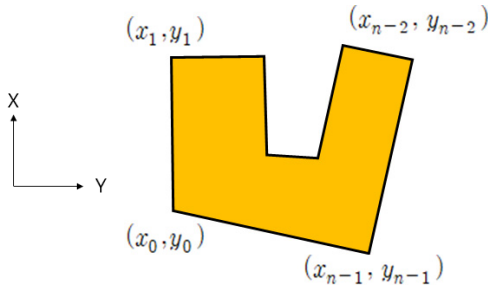


Figure 1. Cartesian(x,y) coordinate system and polygonal parcel

$$\sigma_F^2 = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^{n-1} \sigma_{x_i}^2 (y_{i+1} - y_{i-1})^2 + \sigma_{y_i}^2 (x_{i+1} - x_{i-1})^2 \quad (2)$$

여기서 $\sigma_{x_i}, \sigma_{y_i}$ 는 경계점 상호간 거리오차의 x, y 성분이다. 거리측정의 우연오차를 σ_0 라 하고, 점간거리에 비례하여 오차가 커진다고 하자. 다각형 필지의 한 점 (x_0, y_0) 을 기점으로 관측한 다른 경계점 (x_i, y_i) 의 x 및 y 거리를 각각 $x_i - x_0, y_i - y_0$ 라 하면, 점간거리의 분산을 다음과 같이 표현할 수 있다. 여기서 k 는 거리에 비례하는 상수이다.

$$\sigma_{x_i}^2 = \sigma_0^2 + k^2 (x_i - x_0)^2 \quad (3)$$

$$\sigma_{y_i}^2 = \sigma_0^2 + k^2 (y_i - y_0)^2$$

지적 필지는 지형적 특성과 용도 등에 따라 다양한 형태를 갖지만, 대부분의 필지는 사각형이다. Eq.(2)와 Eq.(3)을 Figure 2와 같은 사각형 필지에 적용하면 면적오차의 분산 σ_F^2 은 다음과 같이 표현된다.

$$\sigma_F^2 = \frac{\sigma_0^2}{2} [L_{13}^2 + L_{02}^2] + \frac{k^2}{4} \sum_{i=0}^3 [(x_i - x_0)^2 (y_{i+1} - y_{i-1})^2 + (y_i - y_0)^2 (x_{i+1} - x_{i-1})^2] \quad (4)$$

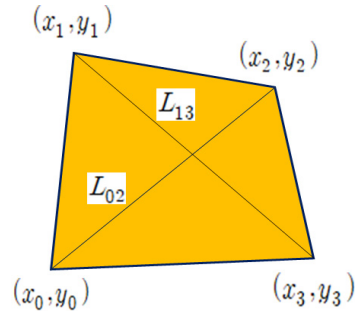


Figure 2. Square parcel. L_{13} and L_{02} is diagonal lengths of the square.

이 식에서 L_{13}, L_{02} 는 사각형의 두 정점을 잇는 거리이다. 첫째 항은 우연오차에 의한 부분이고, 둘째 항은 계통오차로서 점간거리 $\times k$ (비례계수)에 의한다. 만일 $\sigma_0 \gg k$ 이면 첫째 항만으로 면적오차를 대표할 수 있다. 즉, 면적오차 σ_F 는 두 대각선거리의 제곱평균제곱근으로 간단히 계산된다.

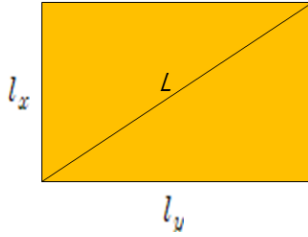
$$\sigma_F = \sigma_0 \sqrt{\frac{L_{13}^2 + L_{02}^2}{2}} \quad (5)$$

3. 직사각형 필지의 면적오차

직사각형 필지에 대한 면적오차는 사각형 필지에 대한 Eq.(4)에다 직사각형의 도형적 특성으로서 다음의 조건을 적용하는 것으로 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_1 - x_0 &= x_2 - x_0 = x_2 - x_3 = x_1 - x_3 = l_x \\ y_2 - y_0 &= y_3 - y_0 = y_2 - y_1 = y_3 - y_1 = l_y \\ k(x_3 - x_0) &= k(y_1 - y_0) = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

이로부터 직사각형 필지의 면적의 분산은 Eq.(7)으로 표현된다. 여기서 L 는 직사각형 필지의 대각선거리이고 F 는 면적이다.

Figure 3. Rectangular parcel. $l_y = ml_x$

$$\sigma_F^2 = \sigma_0^2 L^2 + k^2 F^2 \quad (7)$$

이로부터 직사각형 필지의 면적오차는 다음의 식으로 나타낸다.

$$\sigma_F = \sigma_0 L \left[1 + \left(\frac{k}{\sigma_0} \right)^2 \left(\frac{F}{L} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

직사각형의 가로변 및 세로변의 관계를 종횡비율 m 을 도입하여 $l_y = ml_x$ 로 두면 다음처럼 나타낼 수 있다.

$$\sigma_F = \sqrt{\frac{1+m^2}{m}} \sigma_0 \sqrt{F} \left[1 + \left(\frac{k}{\sigma_0} \right)^2 \left(\frac{m}{1+m^2} \right) F \right]^{1/2} \quad (9)$$

이 식은 면적오차에 작용하는 거리오차의 특성을 보여준다. 필지의 형상이 장방형이면 우연오차 σ_0 에 의한 영향이 크고, 정방형이면 비례계수 k 에 의한 영향이 크다. σ_0 는 면적의 제곱근에 비례하지만, 비례계수 k 는 면적에 작용하므로 면적이 큰 필지일수록 영향을 크게 미친다.

우리나라의 지적측량시행규칙 제26조에는 측량대상 토지의 경계점 간 실측거리와 경계점의 좌표에 따라 계산한 거리의 교차는 $3 + L(\text{미터})/10$ 센티미터 이내여야 한다고 규정되어 있다. 점간 실측거리(L)를 d_{ij} 로 표현하면,

$$ds = \sigma_0 + k \cdot d_{ij} \quad (10)$$

로서 $\sigma_0 = 0.03$ 미터이고 $k = 0.001$ 이다. 이 값을 적용하면 면적 F 가 100m^2 보다 작은 경우에는 면적오차의 계산에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

따라서, 소규모 필지를 다루거나 $\sigma_0 \gg k$ 인 경우에는 Eq.(9)의 첫째 항만으로 면적오차를 산정할 수 있다. 공교롭게도 이 첫째 항은 현재 지적측량에서 사용하고 있는 면적오차의 계산식 Eq.(11)의 형식과 일치한다.

$$A = 0.026^2 \times M \times \sqrt{F} \quad (11)$$

여기서 A 는 허용면적오차, M 은 도면의 축척분모, F 는 필지의 면적이다.

4. 상수항 $0.026^2 \times M$ 분석

다각형 필지의 면적오차계산식으로부터 출발하여 직사각형 필지에 이르는 수식 전개에 의해 현재의 면적공차공식이 직사각형 필지의 면적오차계산식에 근거함을 알 수 있다. Eq.(9)의 첫째항으로부터 면적오차계산식의 상수항 $0.026^2 \times M$ 과 우연오차 σ_0 간에는 다음의 관계를 지을 수 있다.

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{m}{1+m^2}} \cdot 0.026^2 \cdot M \quad (12)$$

실제 거리관측의 우연오차 σ_0 는 관측기기에 기인하는 우연오차와 경계점의 위치오차가 합성되어 나타난다. 경계점의 위치오차에는 각종 오차가 누적되어 있다. 도해측량의 경우라면 경계점의 위치오차가 σ_0 의 대부분을 차지한다. 이 때문에 σ_0 를 경계점의 위치오차로 취급할 수 있다.

Table1. Boundary point coordinate error and corresponding borderline disturbance of rectangular parcel(scale denominator M=600) depending on side length ratio of rectangular.

Ratio ($l_x : l_y$)	σ_0 (cm)	Disturbance(mm)
1:1	28.68	0.48
1:2	25.65	0.43
1:3	22.22	0.37
1:4	19.67	0.33
1:5	17.79	0.30

Table 1은 축척분모 M=600 으로 두고, 가로변 l_x 및 세로변 l_y 의 길이를 달리하여 계산한 경계점의 위치오차를 나타낸다. 비율 $l_y/l_x=1$ 이면 정사각형이고, l_y/l_x 가 클수록 횡으로 길게 늘어나는 장방형의 직사각형으로 된다. 경계점의 위치오차는 도해측량에서 경계선의 교란으로 나타나므로 다음처럼 관계 지을 수 있다.

$$\text{경계선의 교란} = \frac{\text{경계점의 위치오차}}{\text{도면의 축척분모}} \quad (13)$$

도해측량에서 도면상 필지경계선을 작성하는 데에 이르는 과정을 종합하여 0.1mm 정확도로 작업이 이루어진다면 확률 99.9%가 되는 제도오차는 최대 0.3mm이다. 그 외 오차 요인이 없다면, Table 1에 의해, 현 규정의 면적오차계산식은 $l_y/l_x=5$ 인 직사각형 필지모형에 기초하는 것으로 추정할 수 있다.

그러나, 경계선의 위치오차로서 도면의 신축·변형, 도면재작성 등에 의한 영향을 0.1mm 정도 더 감안한다면 오차의 총합은 $0.42\text{mm} (= \sqrt{0.3^2 + 0.3^2})$ 가 된다. 이 값은 도해측량체계에서 발생가능한 오차의 최댓값이라 할 수 있으므로 이에 따른 면적오차의 허용한도 역시 최댓값에 해당한다. 오늘날의 지적제도는 도해측량이라 해도 실제 작업을 전산화하여 운영하고

Table 2. Tolerance of area error(m^2) of rectangular parcel ($M=600, \sigma_0=25.65\text{cm}, k=0$). One is from the regulation(Eq.11) and another is from Eq.(9). Unit in m^2 .

Parcel Area	by Eq.(11)	Ratio ($l_x : l_y$)		
		1:1	1:2	1:5
100	4.06	3.63	4.06	5.85
500	9.07	8.11	9.07	13.08
1000	12.83	11.47	12.83	18.50
5000	28.68	25.65	28.68	41.36
10000	40.56	36.27	40.56	58.49

있지만, 토지조사당시의 지적공부를 계승하고 있는 실정이므로 이해할 수 있는 수준이다. 이러한 여건에서라면 현 규정의 면적오차계산식은 $l_y/l_x=2$ 인 직사각형 필지모형에 기초한다고 보는 것이 합리적이다.

5. 토지분할의 면적오차

현 규정의 계산식이 변장비가 $l_y/l_x=2$ 인 직사각형 필지모형을 기준으로 한다면, 필지의 면적이 같더라도, 기준 직사각형 보다 더 정방형인 경우에는 면적오차를 더 작게 허용하고, 반대로 기준 직사각형보다 더 장방형인 경우에는 면적오차를 더 크게 허용해야 한다는 결과가 된다. 그러나, 현재의 계산식은 이러한 결과를 반영하지 못하고 있다. 도로 하천 등 굴곡점이 많은 필지라든지 변장의 차이가 큰 필지인 경우에는 허용면적오차가 작게 책정되어 있음을 뜻한다.

Table 2는 실제로 Eq.(9)을 적용하되, 현 규정의 계산식 Eq.(11)과 일치하도록 축척분모 M=600인 도면에 대하여 $\sigma_0=25.65\text{cm}, k=0$ 로 두어 계산한 값을 나타낸다. Table 2를 보면 허용면적오차는 기준 직사각형 필지와 비교하여 $l_y/l_x=1$ 인 정사각형 필지는 0.89배이고, $l_y/l_x=5$ 이면 1.44배로 계산된다. 직사각형 필지로서 동일 면적이지만 필지 형상에 따라 허용면적

오차의 차이가 60%에 달함을 알 수 있다.

허용면적오차의 부조화는 분할의 경우에도 발생한다. 현행 법령에 의하면 분할 전후 면적의 차이가 Eq.(11)에 따른 허용범위 이내인 경우에는 그 오차를 분할 후의 각 필지의 면적에 따라 나누고, 허용범위를 초과하는 경우에는 지적공부(地籍公簿)상의 면적 또는 경계를 정정하도록 정하고 있다. 단, 이 규정은 분할 전후의 전체 필지의 허용면적오차를 동일시하고 있다. 원면적 F 인 필지를 F_1, F_2, \dots, F_n 으로 분할할 경우 전체필지의 허용면적오차 A_F 는, 오차전달의 일반식에 의해, 각 필지의 면적오차 $A_{F_1}, A_{F_2}, \dots, A_{F_n}$ 를 합성하는 것임을 전제로 한다. 합성면적오차는 각 필지의 면적분산을 합한 값에다 제곱근을 취한 것이며, 분할 전 면적분산 A_F^2 는 분할 후 전체 필지의 면적분산 $A_{F_1}^2 + A_{F_2}^2 + \dots + A_{F_n}^2$ 와 같다.

이 때문에 분할의 경우 현행법령을 적용하는 데에는 문제가 없다고 할 수 있다. 그러나 이 논리는 원래의 필지를 같은 형태의 여러 필지로 분할하는 경우를 제외하면 성립하지 않는다. 예를 들어, Eq.(9)에 의하면 면적이 $10,000\text{m}^2$ 인 정사각형 필지의 면적오차는 36.27m^2 이다. Figure 4처럼 이 필지를 $l_y/l_x=3$ 인 3개의 직사각형 필지로 분할하면, 분할 후 허용면적은 각 필지당 $3,333.33 \pm 27.03\text{m}^2$ 이고, 이들 3필지의 합성면적은 $10,000\text{m}^2 \pm 46.82\text{m}^2$ 가 산출된다. 분할에 따른 전체 필지의 허용면적오차는 분할하기 전의 면적오차인 36.27m^2 보다 더 커진다는 것을 알 수 있다.

토지의 분할은 원래 필지의 형상과 다른 소규모 필지로 분할하는 것이 일반적이다. 앞의 계산 예제는, 분할이 많아지면 분할 후 전체 필지의 합성면적오차는 분할 전의 면적오차보다 더 커진다는 것을 나타낸다. 따라서, 분할 후 전체 필지의 허용면적오차를 분할 전의 값을 기준으로 삼을 경우에는 면적불합치 판정이 늘어날 수 있다.

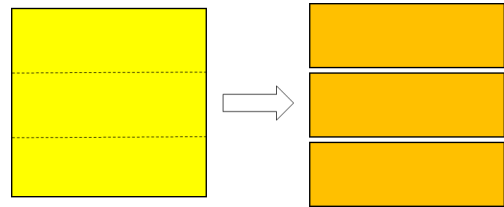


Figure 4. Area error variance of a square parcel of area $10,000\text{m}^2$ due to dividing the area into 3 equal parts. The rms area error increases 36.27m^2 to 46.82m^2 after division.

6. 새로운 면적오차계산식 검토

6.1. 도해측량 및 수치측량

도해측량의 성과는 도면에 표시되므로 최종적 결과인 축척에 비례하는 경계선의 위치오차가 면적오차계산에 작용한다. 따라서 현재의 면적오차계산식을 수치측량에 적용하는 것은 적절치 않고, 지적재조사측량 등 수치측량작업방법에 부합하는 면적오차에 대한 규정이 필요하다. 단, 도해측량과 수치측량을 구분하지 않고 단일의 면적오차계산식을 채택하는 것이 편리하다.

다각형 필지의 면적오차에 대한 계산식 Eq.(2)은 이러한 요구조건에 대응할 수 있다. 다각형 필지의 면적오차는 필계점간 거리에 따른 오차에 기인하므로 도해측량 및 수치측량의 특성에 맞게 면적오차계산의 변수인 σ_0 와 k 를 정해주면 된다. 도해측량의 경우, 현재까지의 시스템을 그대로 운영하는 것이라면, σ_0 는 Eq.(12)에 의해 정하고 $k=0$ 로 설정하면 된다.

수치측량의 경우 채용 가능한 σ_0 와 k 는 지적측량 시행규칙에서 정한 Eq.(10)에 근거할 수 있다. 여기서는 $\sigma_0=3\text{cm}$ 이고 $k=0.001$ 로 정하고 있다. 한편, 「지적재조사에 관한 특별법 시행규칙」 제7조(지적재조사측량성과의 결정)에서는 지적재조사측량성과와 지적재조사측량성과에 대한 감사의 연결교차를 경계점의

경우 ± 0.07 미터를 허용범위로 하고 있다. 경계점의 점간 연결교차가 0.07미터라면 각 점의 좌표는 0.05미터의 오차를 갖는 것으로 추정된다. 그러므로 면적오차의 계산식에 들어가는 거리측정의 우연오차는 새로운 수치 값으로서 $\sigma_0 = \sqrt{3^2 + 5^2} = 6$ cm로 두면 된다. 이렇게 정한 σ_0 는 모든 측척에 동일하게 적용할 수 있다.

6.2. 다각형 필지

다각형에 대한 면적오차계산식을 유도하고 이로부터 직사각형 모델로서 면적오차를 논하였으나, 직사각형모델로서 면적오차를 대표할 수 있는가에 대한 검토가 필요하다. 다양한 형상의 필지에 대한 정량적 차이를 알아보기 위해 다각형 필지에 관한 면적오차의 일반식을 이용하여 몇 가지 필지 모형에 대해 수치 실험을 실시하였다.

필지 모형은 L형, T형, U형으로 선정하고 필지의 면적은 같도록 설계하였다. Figure 4는 각 필지의 형상을 나타낸다. 각 모형은 변장이 l 인 정사각형에서 면적의 49%를 도려낸 형태이다. 예를 들어, 면적이 204m^2 L형은 변장이 20m인 정사각형에서 우상단 $14\text{m} \times 14\text{m}$ 를 도려내고, T형은 양 측면에서 각각 102m^2 를 도려낸 것이 된다. 면적오차의 계산은 같은 면적의 정사각형 및 기준직사각형($l_x : l_y = 1:2$)과 비교

하였다. 면적오차계산의 입력 변수는 앞의 6.1절에서 논한 값으로 $\sigma_0 = 6.0\text{cm}$, $k = 0.001$ 로 하였다.

Table 3는 이들 지적측량시행규칙의 값을 적용하여 필지형상 및 면적에 따른 면적오차를 나타낸다. 각 셀의 상·중·하단 수치는 다각형 면적오차계산식 Eq.(2)에서 우연오차 σ_0 및 오차계수 k 에 의한 계산 값과 이들의 합성 값이다. 이 계산결과로부터 다음의 두 가지 특징을 파악할 수 있다.

첫째, 필지의 형상에 따라 허용면적오차에 큰 차이가 있다. 1:2 직사각형필지와 비교하여 정사각형 필지는 10% 작고, 1:5 직사각형필지는 30%가 크다. 또, L형과 비교하여 U형은 25% 더 크다. 정사각형(459m^2)과 비교하여 U형(204m^2)은 면적이 50%에도 미치지 못하지만 면적오차가 거의 같다.

둘째, 필지의 면적이 커질수록 오차계수 k 에 의한 영향이 커진다. 이 영향은 직사각형필지에 대한 계산식 Eq.(6)에서 면적에 비례하는 것으로 알 수 있다. 면적오차의 크기는 면적이 459m^2 경우 10%, 5100m^2 경우에는 50% 이상 증가한다.

이처럼 허용면적오차는 필지의 형상이 정방형에서 벗어날수록, 면적이 커질수록 현 규정에서 정한 계산 값에서 벗어난다. 이것은 이영길·김갑열(2015)의 연구에서 지목이 도로 또는 구거인 필지, 면적이 $8,000\text{m}^2$ 를 초과하는 필지에서 면적의 불부합 발생률이 높

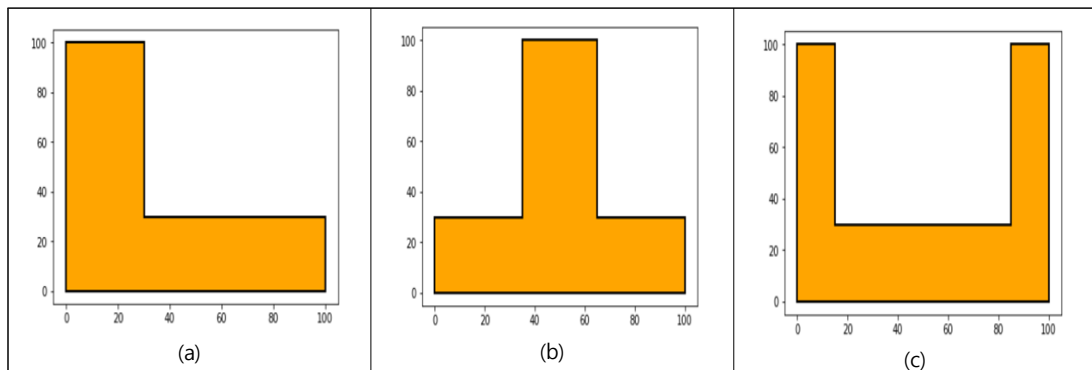


Figure 5. The equal area parcel model for numerical calculations. (a) L-type, (b) T-type, (c) U-type.

Table 3. Area error of a rectangle and polygon parcel with the same area. There is a big difference in the area error depending on the shape and area of the parcel. $\sigma_0=6\text{cm}$, $k=0.001$. Unit in m^2 .

Area	Rectangle($l_x : l_y$)			Polygon		
	1:1	1:2	1:5	L-type	T-type	U-type
204	1.21	1.36	1.95	1.51	1.34	1.80
	0.20	0.20	0.20	0.15	0.19	0.34
	1.23	1.37	1.97	1.52	1.35	1.83
459	1.82	2.03	2.93	2.26	2.01	2.70
	0.46	0.46	0.46	0.33	0.44	0.77
	1.87	2.08	2.97	2.29	2.06	2.81
1275	3.03	3.39	4.89	3.77	3.35	4.45
	1.28	1.28	1.28	0.92	1.21	2.12
	3.29	3.62	5.05	3.88	3.56	4.93
5100	6.06	6.78	9.77	7.54	6.70	9.01
	5.10	5.10	5.10	3.66	4.84	8.53
	7.92	8.48	11.02	8.38	8.27	12.41

다는 것을 설명한다.

특정 모델의 필지에 기준하여 허용면적오차를 규정하는 것은 지적제도의 효율적 운영을 방해한다. 본 연구의 면적오차계산식은 다각형모델로서 필지의 형상을 그대로 반영하고, 지적측량의 오차와 부합하는 면적오차계산식의 채용을 가능하게 한다.

7. 외국의 면적오차 공식

7.1. 폴란드

폴란드의 기술규범(technical specification G-5)에서는 등록면적과 측량면적의 차이를 다음과 같이 정하고 있다(Beata and Wojciech, 2009).

$$\Delta P = 0.001P + 0.2\sqrt{P} \quad (14)$$

여기서 P는 필지의 면적이다. 다음으로 도면의 축척을 고려하는 것으로 도면의 축척분모 M을 적용하는 수식을 소개하고 있다.

$$\Delta P = 0.001P + 0.0002M\sqrt{P} \quad (15)$$

이들 수식은 첫째 항에서 면적의 0.1%를 취하고, 둘째 항에서 면적의 제곱근에 비례하는 오차를 더하고 있다. 이들 계산식은 경험에 의해 구한 것이라고 하지만, 본 연구의 이론적 계산식과 유사한 형태를 갖는다. 근사적으로 Eq.(7)의 제곱근을 우변 각 항의 제곱근을 합치는 것으로 하면 다음의 형식으로 표현되기 때문이다.

$$\sigma_F = \sigma_0 \sqrt{F} + kF \quad (16)$$

우리나라의 계산식 Eq.(11)과 폴란드의 Eq.(15)을 비교하면 면적의 제곱근에 비례하는 상수의 크기가 $0.0262/0.0002=3.4$ 이므로, 소규모 필지라면, 우리나라는 폴란드와 비교하여, 3배를 넘는 큰 면적오차를 허용하고 있다. 단, 필지 면적이 증가하면 Eq.(15)의 첫째 항이 더해지므로 차이가 줄어든다.

Table 4. Tolerance of point to point distance and parcel area error by region in Japan

Classification	Map scale	Distance error(m)	Area error (m ²)
A1	1/100	$0.020 + 0.003 \sqrt{S} + \alpha$	$(0.025 + 0.003 \sqrt[4]{F}) \sqrt{F}$
A2	1/250	$0.04 + 0.01 \sqrt{S} + \alpha$	$(0.05 + 0.01 \sqrt[4]{F}) \sqrt{F}$
A3	1/250	$0.08 + 0.02 \sqrt{S} + \alpha$	$(0.10 + 0.02 \sqrt[4]{F}) \sqrt{F}$
B1	1/500	$0.13 + 0.04 \sqrt{S} + \alpha$	$(0.10 + 0.04 \sqrt[4]{F}) \sqrt{F}$
B2	1/500	$0.25 + 0.07 \sqrt{S} + \alpha$	$(0.25 + 0.07 \sqrt[4]{F}) \sqrt{F}$
B3	1/1000	$0.50 + 0.14 \sqrt{S} + \alpha$	$(0.50 + 0.14 \sqrt[4]{F}) \sqrt{F}$

7.2. 일본

일본은 지역을 갑1(A1)~갑3(A3), 을1(B1)~을3(B3)으로 6단계로 구분하고, 각 지역마다 필계점의 위치오차 및 거리오차에 관계되는 계수를 달리 적용하고 있다. Table 4는 일본의 국토조사법시행령별표4에서 정한 점간거리 및 면적측정의 공차를 나타낸다.

Table 4의 면적오차계산식은 면적의 제곱근 \sqrt{F} 뿐만 아니라 $\sqrt[4]{F}$ 이 포함되는 있어 다소 복잡해 보이지만 계산식의 근원은 같다. 최종 표현식에 차이가 나는 것은, Eq.(10)에서와 달리 점간거리에 관계하는 오차를 다음과 같이 거리의 제곱근에 비례하는 것으로 설정한 것에 기인한다.

$$\sigma_{x_i} = \sigma_0 + k \sqrt{x_i - x_0} \quad (17)$$

이 관계를 면적오차계산의 일반식의 직사각형 모형에 적용하면 면적오차의 계산식은 다음 식으로 간략화 된다.

$$\sigma_F^2 = \sigma_0^2 L^2 + \frac{k^2}{2} F [l_x + l_y] \quad (18)$$

대각선거리 L^2 는 면적(F)과 차원이 같고, 변장 $l_x + l_y$ 는 면적의 제곱근에 해당한다. 정사각형이라면 다음으로 표현된다.

$$\sigma_F^2 = \sigma_0^2 F + k^2 F \sqrt{F} \quad (19)$$

면적오차 σ_F 는 Eq.(19)의 제곱근을 취하는 것으로 나타난다. Eq.(19) 우변의 두 항을 분리하여 제곱근을 취하면 다음의 수식이 된다.

$$\sigma_F = (\sigma_0 + k \sqrt[4]{F}) \sqrt{F} \quad (20)$$

이 식은 Table 4의 수식과 일치한다. Eq.(19) 우변의 두 항을 분리하여 제곱근을 취한 것은 정성적으로는 수식의 취급이 쉽고 정량적으로는 정사각형의 경우보다 큰 면적오차가 산출되어지기 때문인 것으로 보인다.

Table 4의 계산식에 의해 을1(B1) 지역의 1/500 도면축척에 대하여, 면적이 100m² 인 필지의 허용되는 공차는 2.26m² 이 된다. 같은 계산 조건에서 우리나라의 경우라면 Eq.(11)에 의해 3.38m² 이다. 그런데, 일본의 을1 지역은 시 외곽의 평지이므로, 상대적으로 우리나라에서 허용하는 면적오차가 매우 크다는 것을 알 수 있다.

8. 결론 및 논의

공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률 시행령에

서 규정하는 면적허용오차는 도면축척계수와 도상면적의 크기만으로 정하고 있다. 면적오차계산의 일반식으로부터 직사각형필지의 면적오차계산식을 정량적으로 분석하여 면적오차계산의 상수항 $\alpha_M = 0.026^2$ 이 가지는 의미를 파악한 결과, 우리나라의 지적측량의 면적오차 공식은 단순하지만 도해측량제도의 특성을 잘 반영하고 있음을 알 수 있었다.

그러나 현행의 면적오차계산식은 개선되어야 할 몇 가지 문제를 안고 있다. 첫째, 추정할 수 있는 최대값의 측량오차에 의한 것이어서 허용면적오차가 과다하게 책정되어 있다고 아니할 수 없다. 이러한 경향은 폴란드, 일본 등 외국의 사례와 비교해볼 만하다. 소규모 필지라면, 폴란드와 비교하여 3배가 넘는 큰 면적오차를 허용하고 있고, 일본의 경우보다 50% 더 크다.

둘째, 필지 형상을 가로변장 : 세로변장 = 1:2 인 직사각형 모형을 기준으로 삼고 있어 이보다 정사각형에 가까운 필지는 허용면적오차가 크게 나오고, 장방형의 필지는 허용면적오차가 작게 나온다는 문제가 있다(Table 2). 실제 문제로서, Figure 5에서 보는 것처럼, 정사각형 필지와 비교하여 면적이 같다 하더라도 뾰족한 필지 등 굴곡점이 많은 경우에는 면적오차가 50% 더 커질 수 있다. 이 결과는, 도로 하천 등 굴곡점이 많은 필지라든지 변장의 차이가 큰 필지인 경우에는 현 규정의 필지면적으로 산출되는 값보다 더 큰 면적오차를 허용해야 한다는 것을 의미한다.

셋째, 부적합한 허용면적오차는 분할의 경우에도 발생한다. 현행 법령의 면적오차는 면적의 제곱근에 비례하므로, 각 분할 필지의 면적오차를 합성하면 분할 이전의 원면적의 허용오차와 같으므로 문제가 없어 보인다. 그러나, Figure 4에서 논한 것처럼, 분할 필지의 형상에 따라 분할 후 전체 필지의 면적오차가 달리 산출된다는 문제는 간과할 수 없다. 토지의 분할은 원래 필지의 형상과 다른 소규모 필지로 분할하는 것이 일반적이므로, 분할이 많아지면 분할 후 전체 필지의 합성면적오차는 분할 전의 면적오차보다 더 커진

다. 따라서, 분할 후 전체 필지의 허용면적오차를 분할 전의 값과 동일하게 취급할 경우에는 면적불합치 필지가 발생할 수 있다. 따라서, 허용면적오차는 분할하기 전의 면적오차가 아니라 분할 후 전체 필지의 합성면적오차를 기준으로 삼는 것이 합리적이다.

넷째, 수치측량에 대해서는 특별히 그 특성을 고려한 면적오차계산식이 없는 상태로 운영되고 있다. 도해측량의 면적오차계산식에서 축척을 달리하여 적용하게 되지만, 축척에 대한 적용기준을 정하고 있지 않다. 만일 1/500 축척을 적용하면 측량정확도에 비하여 지나치게 큰 면적오차를 허용하게 된다. 외국사례로서 폴란드, 일본 등과 비교하더라도 2배가 넘는다. 이 때문에, 측량의 정확도에 부합하는 면적오차 규정이 필요하다. 단, 도해측량과 수치측량을 구분하지 않고 단일의 면적오차계산식을 채택할 수 있어야 한다.

면적오차계산식은 면적에 대한 오차이므로 면적을 주요 변수로 삼고 있다. 그러나 허용면적오차를 면적의 몇% 이내로 한다든지 등을 규정할 수 없다. 필지의 형상과 크기에 따라 면적오차가 달리 산정되기 때문이다. 직사각형 필지 모델은 직관적 해석에 유리하지만 다양한 형상의 필지에 대한 면적오차 계산에 제약이 있다. 이상적인 계산식은 다각형 모델이다. 컴퓨터를 이용하는 계산이라면 경계점좌표를 입력하는 것으로 쉽게 처리할 수 있는 단순계산에 속한다.

본 연구에서 도출한 면적오차계산식은 다음의 3가지 문제를 해결해준다. 측량의 정확도를 반영하는 문제, 필지의 크기와 형상을 반영하는 문제, 도해측량과 수치측량을 구분할 필요 없이 단일의 계산식을 채택하는 문제이다. 이들 문제를 한꺼번에 해소하는 새로운 면적오차계산식의 채용은 측량기술의 발전을 반영하고 지적제도의 개선을 촉진할 것이다. 본 연구의 면적오차계산식은 다각형모델로서 필지의 형상을 그대로 반영하고, 도해 및 수치 지적측량의 오차와 부합하는 단일의 면적오차계산식의 채용을 가능하게 한다.

참고문헌

References

- 김흥열, 민웅기. 2020. 지적재조사 조정금 산정 및 부과 방식의 개선 연구 - 남원시 지적재조사사업지구를 중심으로 -. 지적과 국토정보, 50(2): 53-68.
- Kim HR, Min WK. 2020. A Study on the Way to Reduce Cadastral Renovation Business Period through Compensation System Improvement - Centered around the Namwon-si Cadastral Research Area -. *Journal of Cadastre & Land Informatix*, 50(2): 53-68.
- 백규영, 최윤수. 2020. 지적 임야도 자료정비 사업의 문제점 및 개선방안 연구, 지적과 국토정보, 50(1): 63-73.
- Baek KY, Choi YS. 2020. A study on the Problems and Improvement Plan of Cadastral Map Data Maintenance Project. *Journal of Cadastre & Land Informatics*, 50(1):63-73.
- 양철수. 2017. 수치 및 도해 지적측량의 면적오차 계산식에 대한 현실적 고찰. 한국측량학회지, 35(6): 509-516.
- Yang, CS. 2017. Practical Study of Area Error Formula in Numerical and Graphical Cadastral Surveying. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 35(6):509-516.
- 이영길, 김갑열. 2015. 토지경계 좌표화를 위한 토지대장 면적의 오차량 분석, 한국지적정보학회지, 17(1):91-105.
- Lee, YG, Kim GY. 2015. Analysis on the Error Amount of Land Register Area for Placing Coordinates of Land Boundaries. *Journal of The Korean Cadastre Information Association*, 17(1):91-105.
- 최두산, 김용준, 이수창. 2004. 지적도면전산화에 따른 공차초과 면적 소거방안 연구 - 대구광역시를 중심으로. 한국지적정보학회지, 6(1):85-103.
- Choi DS, Kim YJ, Lee SC. 2004. A Study on Removing the Area Exceeding the Error Limit Due to Computerization of the Cadastral Map - Focusing on Daegu Megalopolis. *Journal of The Korean Cadastre Information Association*, 6(1):85-103.
- Beata Hejmanowska, Wojciech Woźniak. 2009. Influence of the Number of Measured Parcel Boundary Points on the Accuracy of Land Parcel Area Calculation. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 20, pp.123 - 133.

2022년 04월 16일 원고접수(Received)
 2022년 05월 17일 1차심사(1st Reviewed)
 2022년 06월 22일 게재확정(Accepted)

초 록

다각형 필지의 면적오차계산에 대한 일반식으로부터 직사각형 필지의 면적오차계산식을 도출하고 관련 법률 시행령에서 정하고 있는 면적오차계산의 상수항 $0.026^2 \times M$ (측척분모)이 갖는 의미를 분석하였다. 그 결과, 현행의 면적오차 공식은 직사각형 필지모형으로서 도해측량의 특성을 적절히 반영하고 있으나, 정량적으로는 면적오차를 비교적 크게 허용한다는 것을 알 수 있었다. 또, 면적이 같더라도 필지의 형상에 따라 정사각형 필지보다 50% 더 많은 면적오차가 산출될 수 있다는 문제, 필지 분할시 허용면적오차가 달라져야 하는 문제 등을 파악하였다. 이와 더불어, 본 연구에서 도출한 면적오차계산식으로써 지적측량의 관점에서 문제를 한꺼번에 해결할 수 있는 방안을 제시하였다. 즉, 필지의 크기와 형상을 반영하는 문제, 측량의 정확도를 반영하는 문제, 도해측량과 수치측량을 구분할 필요 없이 단일의 면적오차계산식을 채택하는 문제에 대한 해결책이다. 이들 문제를 해소하는 새로운 면적오차계산식의 채용은 많은 관련 요소들의 개선을 촉진하여 선진적 지적제도로의 발전을 강화할 것이다.

주요어 : 지적측량, 다각형필지, 면적오차계산공식, 허용면적오차