

## Hermite함수를 이용한 지형곡면근사 A Terrain Surface Approximation Using the Hermite Function

문두열\* · 정범석\*\* · 이용희\*\*\*

Mun, Du Yeoul · Jung, Beom Seok · Lee, Yung Hee

### 요 旨

지금까지 토공량계산을 위한 많은 방법들이 단순식에서 부터 복잡한 방법으로 개발되어 왔다. 일찍이 토공량계산을 위한 기본적인 방법은 상부면적을 x, y방향으로 뿔은 경계선의 사각격자로 나누어 계산한다. 그러나 이들 방법은 많은 측량현장에서 요구되는 토공량견적을 정확하게 계산할 수 없다. 1998년 Easa는 x, y 각 방향으로 같은 선상을 따라 사각격자를 나누었다. 이 방법은 격자 양방향으로 3차의 Hermite 다항식을 이용하였다. 이것은 반드시 동일한 x, y방향의 경계를 따라 표고데이터가 존재해야 하므로 지형의 최대, 최소점 같은 점의 선택을 불가능하게 한다. 이 연구에서 제시된 토공량 계산법은 Easa(1998)방법의 단점을 피하고 장점을 결합시켰다. 제안된 방법은 가로x, 세로y 방향의 각 경계를 따라 3차의 Hermite 다항식을 이용하지만 각각의 부등간격의 격자는 양방향으로 일정하지 않고 부분적으로 비격자형태로 이루어져 있다. 새롭게 제시된 방법은 다른 재래식 방법보다 더 나은 정확도를 제공한다.

### ABSTRACT

By this time, many methods have been developed for computing the pit excavation volumes, ranging from a simple formular to more complicated numerical methods. Earlier the standard methods for pit excavation volume computation requires that the considered area be divided the boundary ranges of x and y directions into a rectangular grid. whereas these methods may not calculate the estimation of pit excavation volume that is often required in many surveying situation exactly. In Easa methods(1998), the rectangular grid is divided into the same linear in the range x and y directions respectively. This method employs a cubic Hermite polynomial for individual intervals in both directions of the grid. Because the height data over the same boundary of x and y interval ranges have to be exist, it is not possible to choose the governing points of the terrain boundary such as points of maximum and minimum height. In this study, a method of volume computation, that combines the advantages of Easa methods(1998) and avoids the drawbacks of it, is presented. The proposed method employs a cubic Hermite polynomial for individual intervals in both directions of the non-grid, the all over intervals of it may be unequal grid x in width and y in length y, partially. The new proposed method should produce better accuracy than the other conventional methods.

### 1. 서 론

1980년대 이후 현재까지 토공량계산에 대한 연구동향과 추세를 보면, 먼저 토공량(체적)계산에 앞서 면적계산식을 구해야 하는데 굴곡이 심한 불규칙한 경계곡선을 1, 2, 3차 다항식으로 가정하여 미분에 의한 면적식을 만든다. 그 다음 단계로 지형을 일정간격으로 나누어 각 단면의 면적을

구하여 양단면 평균법을 적용하여 체적을 구하거나 아니면 x, y양방향을 동시에 중적분하여 해당지형의 체적, 즉 토공량계산을 하게 된다. 우선 그 연구의 역사를 보면 1983년 Ahmed<sup>1)</sup>는 면적경계를 1차 혹은 2차다항식으로 혼합한 후 돌출된 점들을 취득하여 면적식을 개발한 약칭 Salient points법을 유도하였고, 1987년 El-Hasan<sup>2)</sup>은 지거간격이 3개의 등간격인 3차다항식에 의한 Simpson 3/8법을 제시하였고, 1988년 Easa<sup>3)</sup>는 지거간격이 짝수개의 등간격인 2차다항식에 의한 Simpson 1/3법을 제시하였으며, 1989<sup>4)</sup>년에는 같은 조건하의 부등간격에 대한 Simpson 1/3법을 제시하였다. 1989년 Chambers<sup>5)</sup>는 3개의 지거간격을

\*동의대학교 토목·도시공학부 교수

\*\*동의대학교 토목·도시공학부 조교수

\*\*\*양산대학 건설교통정보과 조교수

1조로 하여 등·부등간격의 3차 다항식에 의한 체적식을 구하였으며 1991년 Chen과 Lin<sup>6)</sup>은 등·부등간격의 3차 Spline식을 선형방정식으로 구하였다. 1993년 Easa<sup>7)</sup>는 기존의 사다리꼴법칙과 Simpson공식의 결점을 보완하여 경계점의 곡선을 Smoothing한 3차의 Hermite다항식으로 등·부등간격의 면적식을 구하였다. 1998년 Easa<sup>8)</sup>는 자신의 1993년 면적식을 개선하여 부등간격의 격자를 양방향으로 나누어 각 간격에 3차 Hermite다항식을 적용하여 체적계산을 한 후, 기존의 Chambers법과 Chen and Lin법을 비교하여 정확도가 향상됨을 나타내었다. 그런데 1998년의 Easa방법은 격자의 x, y양방향성이 비록 부등간격 일지라도 전체의 표고 데이터점들은 반드시 가로축과 세로축이 동일선상의 사각형 격자형태가 되어야 이론식이 성립되므로 현지지형의 상황을 고려한 최대, 최소점의 선택에 제한이 따르므로 경제적인 표고데이터의 추출이나 높은 정확도의 토공량계산을 기대하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 1998년 발표된 Easa방법을 개선하여 돌출표고점을 현장상황에 따라서 적절히 취득할 수 있는 3차 Hermite함수를 사용한 토공량 계산식을 적용함으로써 토공량계산의 경제성과 정확성 그리고 신속성을 추구함을 목적으로 한다.

## 2. 3차 Hermite함수와 면적의 계산

### 2.1 3차 Hermite함수와 면적의 평가

그림 1의 불규칙한 곡선에서  $x(0), x(1), \dots, x(m)$ 에 각각 해당되는 지저  $f(0), f(1), \dots, f(m)$ 이 측정된  $m$ 개의 구간을 고려하고, 각 구간에 대응되는  $x$ 방향 간격은  $h_1, h_2, \dots, h_m$ 으로 정의한다.  $i$ 번째 구간  $[x(i-1), x(i)]$ 에

서 3차 Hermite함수는 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$H_i(x) = a_i + b_i(x - x_{i-1}) + c_i(x - x_{i-1})^2 + d_i(x - x_{i-1})^3 \quad (2-1)$$

위의 식에서 각 항의 계수값은 경계조건을 적용하여 구할 수 있다(Burden et al. 1978). 즉, 3차 Hermite함수는  $x = x(i-1)$ 과  $x = x(i)$ 에 각각 대응되는 두 지저  $f(i-1)$ 과  $f(i)$ 를 통과하고, 또한 각 점에 대한 일계 도함수값  $f'(i-1)$ 과  $f'(i)$ 을 만족해야 한다. 따라서 식 (2-1)에 포함된 4개의 미지수는 다음과 같이 계산된다.

$$a_i = H_i(x_{i-1}) = f(i-1) \quad (2-2)$$

$$b_i = H'_i(x_{i-1}) = f'(i-1) \quad (2-3)$$

$$c_i = \frac{1}{h_i^2} [-3\{f(i-1) - f(i)\} - h_i\{2f'(i-1) + f'(i)\}] \quad (2-4)$$

$$d_i = \frac{1}{h_i^3} [2\{f(i-1) - f(i)\} + h_i\{f'(i-1) + f'(i)\}] \quad (2-5)$$

식 (2-3)~(2-5)에 포함된 일계 도함수값은 테일러정리를 적용한 수치미분법에 따라 다음 식과 같이 유도된다 (Easa 1988).

$$f'(0) = \frac{-f(0)[2h_1 + h_2]h_2 + f(1)[h_1 + h_2]^2 - f(2)h_1^2}{h_1h_2[h_1 + h_2]} \quad (2-6)$$

$$f'(i) = \frac{-f(i-1)h_{i+1}^2 + f(i)[h_{i+1}^2 - h_i^2] + f(i+1)h_i^2}{h_ih_{i+1}[h_i + h_{i+1}]}, i=1, 2, \dots, m-1 \quad (2-7)$$

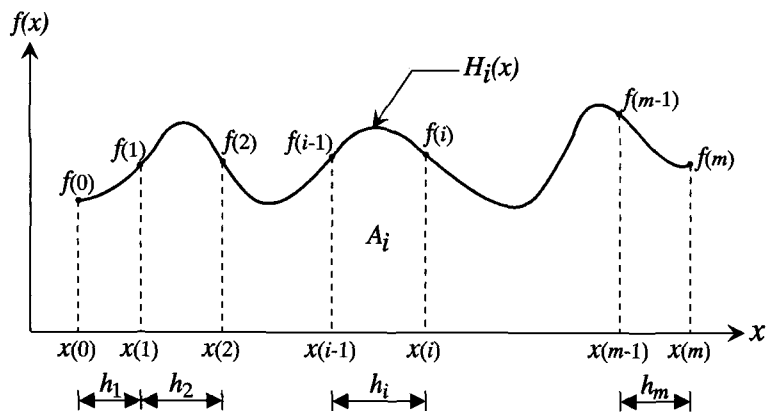


그림 1. 3차 Hermite 함수와 기준선 사이의 면적

$$f'(m) = \frac{f(m)[2h_m + h_{m-1}]h_{m-1} - f(m-1)[h_m + h_{m-1}]^2 + f(m-2)h_m^2}{h_m h_{m-1} [h_m + h_{m-1}]} \quad (2-8)$$

$i$ 번째 구간에 대한 3차 Hermite함수와 기준선 사이의 면적  $A_i$ 는 식 (2-1)을  $x(i-1)$ 에서  $x(i)$ 까지 정적분한 후 식 (2-2)에서 식 (2-5)의 계수를 대입하여 구할 수 있다.

$$A_i = \frac{h_i}{12} [6\{f(i-1) + f(i)\} + h_i\{f'(i-1) - f'(i)\}] \quad (2-9)$$

부등간격 구간으로 구성된 불규칙한 곡선의 3차 Hermite 함수에 의한 총면적 계산식은 다음과 같이 유도된다.

$$A = \sum_{i=1}^m A_i = \frac{1}{12} [h_1\{6f(0) + h_1f'(0)\} + h_m\{6f(m) - h_mf'(m)\} + \sum_{i=1}^{m-1} \{6(h_i + h_{i+1})f(i) + (h_{i+1}^2 - h_i^2)f'(i)\}] \quad (2-10)$$

식 (2-10)의 Hermite 면적함수를  $y$ 축 방향으로 적분하기 위해서는  $y$ 축에 독립적인 성분을 분리하여 식을 재구성할 필요가 있다. 즉, 식 (2-6)~(2-8)을 식 (2-10)에 대입함으로써 Hermite 면적함수에서 지거의 일계 도함수항을 제거하고  $x$ 방향 간격을 계수로 하는 지거만의 함수가 다음 식과 같이 유도된다.

$$A = \frac{1}{12} \sum_{i=0}^m w(i) f(i) \quad (2-11)$$

여기서  $w(i)$ 는 면적계산을 위한 지거의 가중치이며  $x$ 방향 간격  $h_i$ 의 함수이다. 식 (2-6)과 식 (2-8)에 나타낸 바와 같이 양쪽 경계에서 3차 Hermite함수의 도함수값은 각각 연속된 3개 점의 지거를 사용하여 평가되기 때문에 식 (2-11)의 가중치는  $m \geq 5$ 의 조건에서 다음 식으로 계산된다.

$$w(0) = \frac{4h_1^3 + 6h_1^2h_2 - h_2^3}{h_1(h_1 + h_2)} \quad (2-12)$$

$$w(1) = \frac{1}{h_1h_2} (2h_1^3 + 6h_1^2h_2 + 5h_1h_2^2 + h_2^3 - h_1h_3^2 + h_1h_2h_3) \quad (2-13)$$

$$w(2) = \frac{1}{h_2h_3} (h_2^3 + 5h_2^2h_3 + 5h_2h_3^2 + h_3^3 - h_1^2h_3 - h_2h_4^2 + h_1h_2h_3 + h_2h_3h_4) - \frac{h_1^3}{(h_1 + h_2)h_2} \quad (2-14)$$

$$w(i) = \frac{1}{h_i h_{i+1}} (h_i^3 + 5h_i^2 h_{i+1} + 5h_i h_{i+1}^2 + h_{i+1}^3 - h_i - 1^2 h_{i+1} - h_i h_{i+2}^2 + h_{i-1} h_i h_{i+1} + h_i h_{i+1} h_{i+2}), \quad i=3, 4, \dots, m-3 \quad (2-15)$$

$$w(m-2) = \frac{1}{h_{m-2} h_{m-1}} (h_{m-2}^3 + 5h_{m-2}^2 h_{m-1} + 5h_{m-2} h_{m-1}^2 + h_{m-1}^3 - h_{m-3} h_{m-1} - h_{m-2} h_m^2 + h_{m-3} h_{m-2} h_{m-1} + h_{m-2} h_{m-1} h_m) - \frac{h_m^3}{(h_m + h_{m-1}) h_{m-1}} \quad (2-16)$$

$$w(m-1) = \frac{1}{h_m h_{m-1}} (2h_m^3 + 6h_m^2 h_{m-1} + 5h_m h_{m-1}^2 + h_{m-1}^3 - h_m h_{m-2}^2 + h_m h_{m-1} h_{m-2}) \quad (2-17)$$

$$w(m) = \frac{4h_m^3 + 6h_m^2 h_{m-1} - h_{m-1}^3}{h_m (h_m + h_{m-1})} \quad (2-18)$$

3차 Hermite함수에 의한 토공량의 계산법은 굴곡이 많은 지형에 적합한 방법이므로 최소한의 측점이 확보될 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는  $m < 5$ 의 경우에 대한 가중치의 평가를 생략하였다.

## 2.2 비격자 측정망에 의한 3차 Hermite 체적의 평가

본 연구에서는 측정된 표고자료의 위치가 비격자망을 형성할 경우에 대한 토공량 산정법을 제시하였다. 그림 2에서  $y_0, y_1, \dots, y_n$ 은 표고자료가 측정된 위치의  $y$ 축 방향 좌표이며  $n$ 개의 구간으로 구성되고 각 구간에 대응되는 간격은  $k_1, k_2, \dots, k_n$ 이다.  $y = y_j$  ( $j=0, 1, \dots, n$ ) 기준선에 대한 측정위치의  $x$ 값은 모두 상이하며 각각  $m_0, m_1, \dots, m_n$ 개의 표고자료를 적용하였다. 즉,  $y = y_0$  기준선에서는  $x$ 좌표가  $x_0(0), x_0(1), \dots, x_0(m_0)$ 인 점에서 지거값이 각각  $f_0(0), f_0(1), \dots, f_0(m_0)$ 인 총  $m_0$ 개의 표고자료가 측정되었음을 가정하였다. 그림 2의 비격자 측정망에 대한 체적의 평가는 식 (2-11)의 면적공식을  $y$ 축 방향의 구간별로 적분하여 구할 수 있다. 첫 번째 구간의 체적  $V_1$ 을 평가하기 위한 적분과정에서 식 (2-11)의 가중치  $w_0(i)$ 는 적분변수에 독립이므로  $y$ 축 방향의 지거변화만을 고려한 Hermite 체적은 다음 식과 같이 계산될 수 있다.

$$V_1 = \frac{1}{12} \sum_{i=0}^{m_0} [w_0(i) \int_{y_0}^{y_1} f(i) dy] \quad (2-19)$$

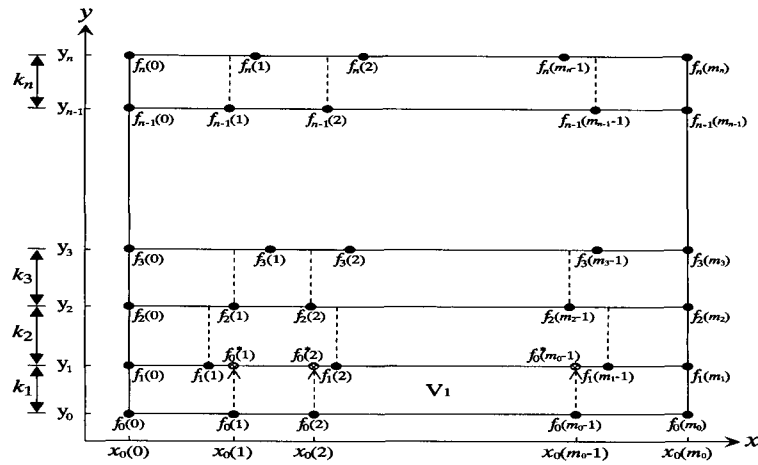


그림 2. 비격자 측정망에 의한 체적

식 (2-19)에 포함된 적분을 수행하기 위해서는 먼저 식 (2-1)에 의한  $y = y_1$  기준선에서의 3차 Hermite 함수를 평가하고, 동일한 기준선에 대한  $x = x_0(i)$ , ( $i = 0, 1, \dots, m_0$ ) 위치에서의 지거값  $f_0(i)$ , ( $i = 0, 1, \dots, m_0$ )를 계산할 필요가 있다. 이에 따라 적분항은 식 (2-9)의 결과를 이용하여 다음과 같이 유도된다.

$$\int_{y_0}^{y_1} f(i) dy = \frac{k_1}{12} [6\{f_0(i) + f_0^*(i)\} + k_1 \left\{ \frac{\partial f_0(i)}{\partial y} - \frac{\partial f_0^*(i)}{\partial y} \right\}] \quad (2-20)$$

식 (2-20)에서  $f_0(i)$ 와  $f_0^*(i)$ 의  $y$ 축에 대한 일계 도함수 값은 식 (2-6)~(2-8)과 같은 방법으로 계산된다. 식 (2-20)을 식 (2-19)에 대입하여 첫 번째 구간의 체적  $V_1$ 을 평가하고 같은 방법을  $y$ 축 방향의 모든 구간에 적용하여 비격자 측정망에 대한 Hermite 체적식이 유도된다.

$$V = \frac{1}{144} \sum_{j=1}^n \sum_{i=0}^{m_j-1} [k_j w_{j-1}(i) \{6(f_{j-1}(i) + f_{j-1}^*(i)) + k_j \left( \frac{\partial f_{j-1}(i)}{\partial y} - \frac{\partial f_{j-1}^*(i)}{\partial y} \right)\}] \quad (2-21)$$

### 3. 적용예

#### 3.1 실험예 1

제안된 방법의 정확도를 기존의 방법과 비교하기 위하여

Chen and Lin(1991)의 Example 2와 동일한 예제에 적용하였다. 본 예제의 지형은 그림 3에 나타난 바와 같고, 가로축은  $m$ 단위로  $1 \leq x \leq 121$ 의 범위이며 세로축은  $1 \leq y \leq 91$ 의 범위에 대한 함수  $z = (20 + y)/\sqrt{x}$ 의 계산결과를 표고자료로 하였다. 절토량을 계산하기 위한 격자간격은 3가지 경우가 고려되었는데 첫 번째 경우(case 1)는  $x$ 방향으로 20 m의 등간격,  $y$ 방향으로 (25, 10, 30, 15, 10)의 부등간격을 사용하여  $6 \times 5$ 의 격자를 구성하였다. 두 번째 경우(case 2)는  $x$ 방향으로 (15, 30, 10, 35, 10, 20)의 부등간격,  $y$ 방향으로 18 m의 등간격을 사용하여  $6 \times 5$ 의 격자를 구성하였으며, 세 번째 경우(case 3)는  $x$ 방향은 case 2의 부등간격,  $y$ 방향은 case 1의 부등간격을 사용하여  $6 \times 5$ 의 격자를 구성하였다. Chen and Lin(1991)의 논문에서 case

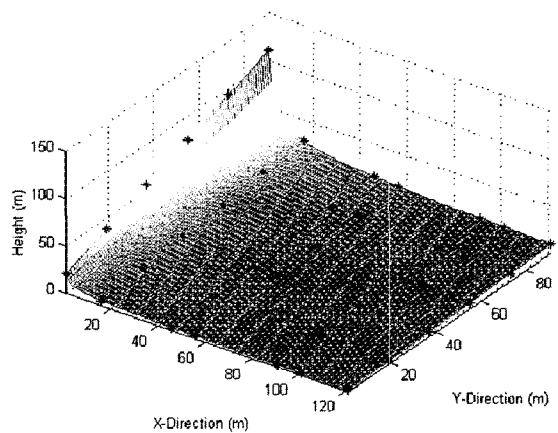


그림 3. 실험예 1의 지형

2와 case 3의 표고자료중 ( $x=101, y=91$ )에 해당되는 값이 11.45 m로 잘못 계산되어 있는데 본 논문에서는 각 방법의 정확한 비교를 위하여 정확한 값인 11.05 m로 수정한

후 절토량을 평가하였다. 지표의 높이는 함수에 의해 계산되기 때문에 정확한 절토량은 해석적 적분에 의해  $V = \int_1^{91} \int_1^{121} \frac{20+y}{\sqrt{x}} dx dy = 118,800.00 m^3$ 으로 평가되었고, 제안

표 1. 실험예1의 case1에 대한 x, y간격에 따른 표고자료

y \ x	x							
	1m	21m	41m	61m	81m	101m	121m	
1m	21.00	4.58	3.28	2.69	2.33	2.09	1.91	
26m	46.00	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	
36m	56.00	12.22	8.75	7.17	6.22	5.57	5.09	
66m	86.00	18.77	13.43	11.01	9.56	8.56	7.82	
81m	101.00	22.04	15.77	12.93	11.22	10.05	9.18	
91m	111.00	24.22	17.34	14.21	12.33	11.05	10.09	

표 2. 실험예1의 case2에 대한 x, y간격에 따른 표고자료

y \ x	x							
	1m	16m	46m	56m	91m	101m	121m	
1m	21.00	5.25	3.10	2.81	2.20	2.09	1.91	
19m	39.00	9.75	5.75	5.21	4.09	3.88	3.55	
37m	57.00	14.25	8.40	7.62	5.98	5.67	5.18	
55m	75.00	18.75	11.05	10.02	7.86	7.46	6.82	
73m	93.00	23.25	13.71	12.43	9.75	9.25	8.45	
91m	111.00	27.75	16.37	14.83	11.64	11.05	10.09	

표 3. 실험예1의 case3에 대한 x, y간격에 따른 표고자료

y \ x	x							
	1m	16m	46m	56m	91m	101m	121m	
1m	21.00	5.25	3.10	2.81	2.20	2.09	1.91	
26m	46.00	11.50	6.78	6.15	4.82	4.58	4.18	
36m	56.00	14.00	8.26	7.48	5.87	5.57	5.09	
66m	86.00	21.50	12.68	11.49	9.02	8.56	7.82	
81m	101.00	25.25	14.89	13.50	10.59	10.05	9.18	
91m	111.00	27.75	16.37	14.83	11.64	11.05	10.09	

표 4. 실험예1에 대한 오차비교

방 법	Case 1		Case 2		Case 3		
	토공량 (m <sup>3</sup> )	오차 (%)	토공량 (m <sup>3</sup> )	오차 (%)	토공량 (m <sup>3</sup> )	오차 (%)	
실제토공량	118800.00	-	118800.00	-	118800.00	-	
점고법	149510.25	25.85	141612.30	19.20	141619.38	19.21	
Chambers법	138193.14	16.32	122815.77	3.38	122816.48	3.38	
Chen과 Lin법	139955.41	17.81	122007.06	2.70	122011.88	2.70	
제안법	(표고자료42점)	138279.57	16.40	123175.07	3.68	123181.43	3.69
	(표고자료36점)	138077.81	16.23	123113.85	3.63	123126.77	3.64

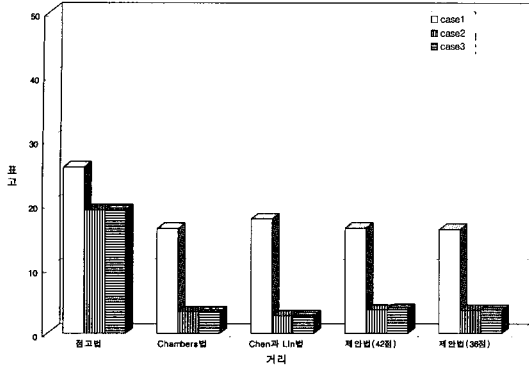


그림 4. 실험에 1의 각 경우에 대한 토공량오차

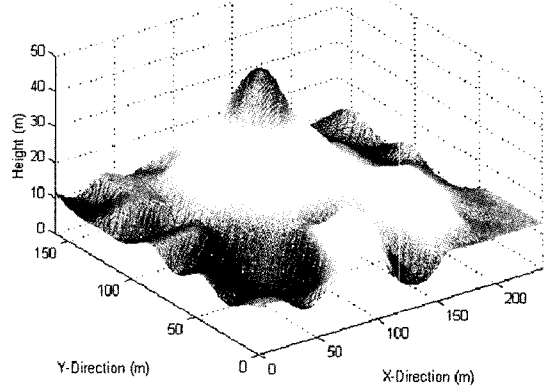


그림 5. 실험에 2의 지형

된 방법과 기존 방법의 평가결과 및 오차율을 표 4에 나타내었다.

표 4에서 각 방법에 의한 계산결과는 총 42개의 표고자료를 사용하여 평가되었으나 최하단에 나타난 결과는 각  $y$ 값에 대한 표고자료를 1개씩 제외하여 총 36개의 표고자료만으로 추정된 값이다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 제안된 방법에서는 오히려 적은 표고자료를 사용할 경우에 미소하나마 더욱 정확한 평가가 이루어졌다. 이는 제안된 방법에서는 표고자료를 3차 곡선으로 보간하여 체적을 평가하게 되는데 본 예제와 같이 평탄한 지형은 보간점을 증가시킬 경우에 곡률변화에 의한 체적오차가 가중되어 나타난 결과이다. 즉, 제안된 방법은 그림 4에 나타난 것과 같은 평탄한 지형에서는 다른 방법에 비하여 정확도가 다소 떨어지지만 소요되는 표고자료의 수를 줄일 수 있는 장점이 있다.

### 3.2 실험에 2

두 번째 예제에서는 굴곡이 많은 지형에 대한 절토량을 평가하기 위하여 그림 5와 같은 지형을 묘사하였다. 그림 5는 가로축은  $m$ 단위로  $0 \leq x \leq 240$ 의 범위이며 세로축은  $0 \leq y \leq 160$ 의 범위에 대해 격자간격  $1 m$ 로  $241 \times 161$ 의 격자에 대한 표고자료를 무작위로 입력하여 형성된 지형이다. 정확한 절토량은 표고자료를 직선적으로 연결하여 체적을 평가하는 spot heights method을  $241 \times 161$ 의 격자에 적용하여  $564251.71 m^3$ 으로 설정하였다.

기존의 방법은 등간격 또는 비등간격의 격자에 대한 표고자료만을 사용하여 체적을 평가하기 때문에 본 예제해석의 첫 번째 경우(case 1)는 그림 6과 같이  $x$ 방향으로 (32, 30, 42, 30, 34, 36, 36)의 부등간격,  $y$ 방향으로 (24, 29, 31, 44, 32)의 부등간격을 사용하여  $7 \times 5$ 의 격자를 구성하여 총 48개의 표고자료에 의한 절토량을 추정하였다.

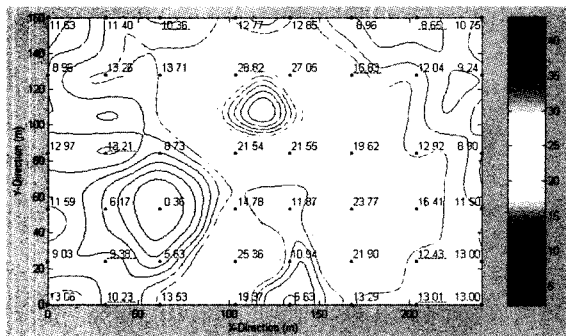


그림 6. 표고자료 48개와 40개의 등고선

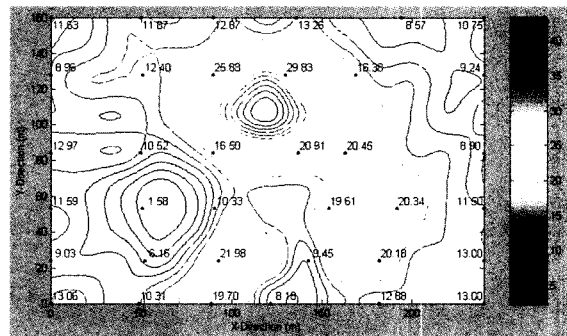


그림 7. 표고자료 36개의 등고선

표 5. 실험에 2에 대한 오차비교

방 법	Case 1		Case 2		Case 3	
	토공량 (m <sup>3</sup> )	오차 (%)	토공량 (m <sup>3</sup> )	오차 (%)	토공량 (m <sup>3</sup> )	오차 (%)
실제토공량	564251.71	-	564251.71	-	564251.71	-
점고법	551778.57	2.21	적용불가	-	적용불가	-
Chambers법	538663.43	4.53	적용불가	-	적용불가	-
Chen 과 Lin법	553390.12	1.92	적용불가	-	적용불가	-
제안법	563480.63 (표고자료 48점)	0.14	567222.24 (표고자료 40점)	0.53	564262.99 (표고자료 36점)	0.00

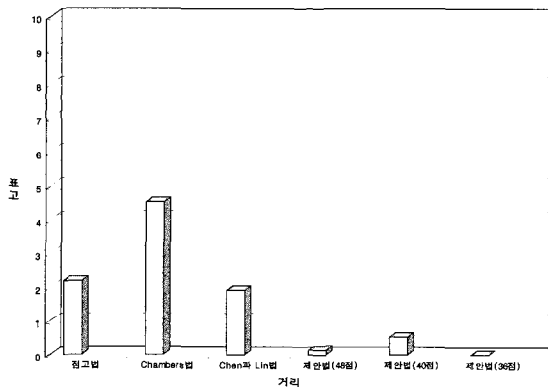


그림 8. 실험에 2의 Case 1에 대한 토공량오차

그림 6의 등고선은 표고의 최고값과 최저값을 20등분하여 보인 것이고, •의 표시는 표고자료의 측정점이며 그 값을 근처에 나타내었다. 두 번째 경우(case 2)의 해석에서는 case 1의 격자에서 부분적인 표고자료를 제거한 후 제안된 방법에 의한 절토량을 평가하였다. 제거된 8개의 표고자료는 그림 6의 표고에 밑줄을 그어 표시하였으며 이 경우에는 총 40개의 자료를 사용하였다. 상기한 2가지 경우에 대한 평가결과를 표 5에 나타내었으며 제안된 방법이 가장 정확하게 추정하고 있다.

세 번째 경우(case 3)의 해석에서는 제안된 방법의 효용성을 극단적으로 보여주기 위하여 그림 7에 나타낸 바와 같이 각 y값에 대한 표고자료의 x값을 전부 달리하여 총 36개의 표고자료에 의한 절토량을 평가하였다. 이에 대한 평가결과를 표 5에 나타내었으며 그림 8과 같이 제안된 방법에 의한 결과는 정확한 값과 거의 일치하였다.

#### 4. 결 론

지금까지 일반적인 토공량계산식의 주된 방법인 부등간격의 격자형 식들과 본 연구에서 제시한 부등간격의 비격자형 식과의 정확도를 2가지의 실험예를 통하여 비교해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 실험예1(case1)에서 정확도는 제안법(II)-Chamber법-제안법(I)-Chen과 Lin법-점고법 순이었으며 수평지형에서 갑자기 심하게 융기하는 지형이므로 Chen과 Lin-Chamber법-제안법(I, II)은 거의 비슷한 결과를 나타내었으며 그 다음 점고법 순이었다. 특히, 제안법(II)은 표고데이터를 6개(14%)를 제거하였음에도 불구하고 정확도는 비슷한 결과를 나타내었는데 이것은 제안식이 각 지형의 최대, 최소점을 선별할 수 있기 때문이며 결국 경제적인 방법이 될 수 있음을 알 수 있다.

2. 실험예2(case1)는 총 48개의 표고데이터를 추출하였는데 정확도는 제안법-Chen과 Lin법-점고법-Chamber법 순이었다. 특히, 표고데이터를 8개(17%)를 제거한 case2에서는 48개 표고데이터를 취한 case1의 제안법보다는 정확도가 떨어지지만 그밖의 Chen과 Lin법, Chamber법, 점고법보다는 더 정확하였다. 또한, 표고데이터를 12개(25%)를 제거한 case3에서 오히려 더 정확도가 현저하게 향상되었다. 이것은 대상지형에서 각 최대, 최소점들을 잘 선택하면 최소의 자료로서도 정확도가 더 향상 될 수 있다.

3. 기존의 방법들은 반드시 등간격 또는 부등간격의 일률적으로 사각격자형태에 대한 표고자료만을 사용하여 체적을 평가해야 하는 식 적용자체의 한계성 즉, 최대, 최소점을 자유로이 추출할 수 없는 제한성이 있지만 본 연구에서 제안된 방법은 가로·세로의 일직선상에 존재하는 최대·최소점은 얼마든지 고려하여 각기 다른 격자로 떼어 놓을 수 있으므로 경제적이면서 정확한 토공량 산출이 가능하다.

## 감사의 글

본 연구는 2000년도 동의대학교 자체학술연구조성비에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. F.A., Ahmed, Area computation using salient boundary points, J. Surveying Engrg., ASCE, 109(1), 1983, pp. 54-63.
2. I.M., El Hassan, Irregular boundary area computation by Simpson's 3/8 rule, J. Surveying Engrg., ASCE, 113(3), 1987, pp. 127-132.
3. S.M., Easa, Area of irregular region with unequal intervals, J. Surveying Engrg., ASCE, 114(2), 1988, pp. 50-58.
4. S.M., Easa, Irregular boundary area computation by Simpson's 3/8 Rule, by I. M. El hassan. J. Surveying Engrg., ASCE, 113(3), 1989, pp. 355-356.
5. D.W., Chambers, Estimating pit excavation volume using unequal intervals, J. Surveying Engrg., ASCE, 115(4), 1989, pp. 390-401.
6. C.S., Chen, H.C., Lin., Estimating pit-excavation volume using cubic spline volume formula, J. Surveying Engrg., ASCE, 117(2), 1991, pp. 51-66.
7. S.M., Easa, Smooth boundary approximation for directly computing irregular area, J. Surveying Engrg., ASCE, 119(3), 1993, pp. 86-101.
8. S.M., Easa, Smooth surface approximation for computing pit excavation volume, J. Surveying Engrg., ASCE, 124(3), 1998, pp. 125-133.
9. L.D., Hoffman, Applied Calculus. McGraw-Hill, New York, N. Y., 1983, pp. 265-268.
10. R.C., Binker, P.R., Wolf, Elementary Surveying. Harper and row, New York, N.Y., 1984, pp. 245-254.
11. C.F., Gerald, P.O., Wheatly, Applied Numerical Analysis. Addison-Wesley, Menlo Park, Calif., 1984, pp. 248-256.
12. M.O., Schmidt, K.W., Wong, Fundamentals of Surveying. PWS, Boston, Mass., 1985, pp. 377-385.

---

(2002년 6월 25일 원고접수)