

論 文

해안매립을 위한 토공량 산정에 관한 연구

이 용 희* · 문 두 열**

A Study on an Earthwork Calculation for Reclamation of the Harbor

Y. H Lee · D. Y Mun

Key Words : 매립(reclamation), 토공(earthwork), 심프슨공식(simpson formular), 角柱公式(prismoidal formula), 사다리꼴공식(trapezoidal formular)

Abstract

The calculation of earthwork plays a major role in plan or design of many civil engineering projects and thus it has become very important to advanced the accuracy of earthwork calculation. The purpose of this paper is to calculate the excavation volume of terrain using a proposal area formular in eathwork volume determination for reclamation of the harbor. A proposal area formular by first and third equation is compared with end area, middle area, prismoidal formula by trapezoidal, simpson formular to excavation volume for an experimental terrain 1~12.

As a result of this study, algorithm of a proposal area formula by prismoidal formula should provide a better accuracy than end area, middle area, prismoidal formula by trapezoidal formular, simpson formular.

1. 序 論

1.1 研究目的 및 方法

대형 建設工事나 港灣埋立과 같은 넓은 지역의 넓이나 체적, 그리고 매립용 토공량의 범위를 결정할 때 정확한 土工量의 계산이 요구된다. 특히, 근래에는 토취장의 확보가 어려워 공사의 어려움이 있는 현장 여건에서 꼭 필요한 만큼의 토공량

을 결정하는 것은 매우 중요하다. 아울러 埋立工事에서 공정의 대부분을 차지하는 토공사에 대하여 경제적인 시공을 기대할 수 있다.

지금까지 토공량의 계산은 지형의 表面曲率을 단순히 선형으로 假定하여 사다리꼴법칙, 삼각형법, 최소제곱법, 횡단면법으로 각 구간의 면적을 곱하여 결정하거나 아니면 전체의 지형경계를 전적으로 2, 3차식의 곡선으로만 가정한 Simpson의 법칙으로

* 정희원, 양산전문대학 토목공학과 교수

** 동의대학교 토목공학과 교수

면적을 구하여 양단면 평균법으로 결정하고 있다. 그러나 不規則적이고 변화가 심한 지형표면의 전체 경계식을 단순히 선형, 비선형으로만 가정하는 면적 및 체적의 계산식은 실제의 지형과 부합되지 않으므로 불합리한 면이 많으며 지형의 굴곡에 대한 變曲點(최대, 최소점)을 정확히 선택할 수 없으므로, 그 경계식에서 많은 오차가 수반된다. 따라서 본 연구에서는 토공량(면·체적) 계산의 정확도 향상을 위하여 먼저 지형의 境界式을 3차 곡선식과 1차 직선식을 혼합한 면적식을 유도한 후, 각 구간별로 양단면평균법, 중앙단면법, 각주공식으로 구한 결과와 기존의 사다리꼴법칙이나 Simpson 제1,2법칙에 의한 兩斷面平均法, 中央斷面法, 角柱公式 토공량 계산식과 비교한다.

토공량 계산의 결과에 대한 정확도 비교를 위해 가로·세로가 각 100m인 6가지의 실험대상지형을 선정하였다. 표고점의 간격은 각 지형별로 가로·세로가(5m×5m)인 Ad1~Ad6와 가로·세로가(10m×10m)인 Mad1~Mad6의 지형으로서 직접 측량하여 구하였으며 정확도의 기준은 2m 간격의 표고값에 의한 Mod1-Mod6의 토공량 값을 기준으로 하였다.

1.2 研究 沿革

최근의 지형의 형상과 부합되는 非線型 解析은 1983년 Amed가 변곡점을 고려한 곡선과 직선을 혼합한 면적식을 제시하였고, 1987년 M.EL Hassan은 보간다항식에 의해 Simpson 제 2법칙을 해석하여 사다리꼴 법칙과 면적계산을 비교하였다. 1988년 Easa는 Simpson 제1법칙을 변곡점을 고려하여 非等間隔으로 分割하여 면적계산을 하였으며, 구간이 홀수개인 경우 나머지 구간의 경계식은 미분으로 구하였고, 1989년 D.W Chambers는 보간다항식에 의한 비선형 부등간격의 點高法으로 토공량 계산식을 유도하였다.

지형의 형상과 부합되는 비선형 해석은 1983년 Amed가 변곡점을 고려한 곡선과 직선을 혼합한 면적식을 제시하였고, 1987년 M.EL Hassan은 보간다항식에 의해 Simpson 제 2법칙을 해석하여 사

다리꼴 법칙과 면적계산을 비교하였다. 1988년 Easa는 Simpson 제 1법칙을 변곡점을 고려하여 非等間隔으로 분할하여 면적계산을 하였으며, 구간이 홀수개인 경우 나머지 구간의 경계식은 미분으로 구하였다. 1989년 D.W Chambers는 보간다항식에 의한 비선형 부등간격의 점고법으로 토공량 계산식을 誘導하였다.

국내에서는 1987년 오는 座標法으로 토공량을 구하여 豫測모델을 제시하였고, 1989년 조는 도로의 토공량 산정식에서 경계선을 선형으로만 가정하여 양단면평균법을 적용하였고, 1990년 유는 보간법에 의한 토공량계산을 심프슨 1, 2법칙으로 구하였다.

1990년 유는 草球場建設에 토공량 계산을 사다리꼴법칙과 심프슨1, 2법칙으로 계산하였고, 1991년 박은 비선형 점고법과 선형 점고법과 비교하였으며, 1993년 이는 난지도 쓰레기 매립장의 이용계획에 사다리꼴과 심프슨법칙을 혼합한식을 제시하였고, 1993년 정은 최적노선 선정에서 토공량 계산을 사다리꼴법칙과 심프슨 1법칙으로 구하였으며, 1993년 최는 도로노선 결정시 각 노선의 토공량 산정을 선형으로 가정한 좌표법으로 구하여 토목설계 업무의 효율성을 높였다. 1994년 조는 最短路線의 선정에서 좌표법에 의한 면적과 양단면평균법으로 토공량계산을 하였고, 1995년 박은 도로시설물 관리를 위한 자료기반 설계에서 영도구의 체적을 심프슨법칙과 사다리꼴법칙에 의한 양단면평균법으로 구하였다. 국내외의 연구동향을 보면 지형의 경계식을 1차식으로 假定한 사다리꼴 법칙이나 2, 3차식으로 가정한 심프슨의 법칙이 대부분이므로 혼합된 식의 연구가 未洽하여 이에 대한 연구가 요구되고 있다.

2. 土工量計算

2.1 兩斷面平均法

양단면의 면적을 A_1 , A_2 라 하고 그 간격을 l 이라 하면 토공량 V 는 다음과 같다.

$$V = \frac{1}{2} (A_1 + A_2) \times \ell \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

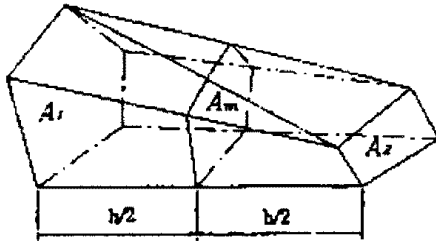


Fig. 1 End area formula

2.2 中央斷面法

중앙 단면을 Am이라고하고 양 단면간의 거리를 l 이라하면 다음식과 같다.

$$V = A_m \cdot \ell \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

2.3 각주공식

Fig. 2와 같이 다각형의 위,아래의 면이 평행이고 측면이 모두 평면으로 된 입체로서 체적은 다음식과 같다.

$$V = \frac{h}{6} (A_0 + 4A_m + A_1) \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

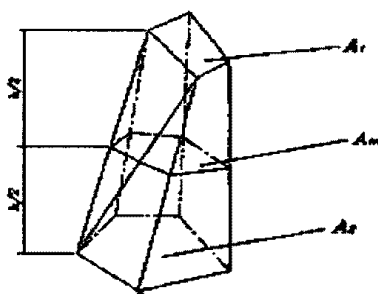


Fig. 2 Prismoial formular

2.4 사다리꼴공식(梯形公式)

Fig. 3에서 y0, y1, y2, ..., yn 는 지거의 길이이고, l0, l1, l2, ..., ln이 지거의 간격이라면면적은 다음식과 같다.

$$\begin{aligned} \Sigma A = & \frac{1}{2} \{y_0 l_1 + y_1(l_1 + l_2) + y_2(l_2 + l_3) \\ & + \dots\dots\dots + y_{n-1}(l_{n-1} + l_n) + y_n l_n\} \quad \dots\dots\dots (2.4) \end{aligned}$$

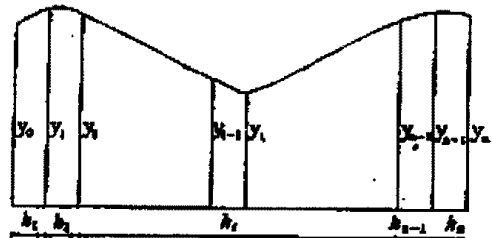


Fig. 3 Trapezoidal formular

2.5 Simpson 제1법칙

Fig. 4는 수평거리 h인 점 x0, x1, x2의 절토고 f0, f1, f2를 나타내며 그 단면적을 계산하기 위하여 경계 곡선식을 2차 다항식으로 가정한다. 여기서 a0, a1, a2는 다항식의 계수이다.

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\begin{aligned} a_0 &= \int_0^{h_0+h_1} \frac{(x-x_1)(x-x_2)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)} dx \\ &= \frac{(h_0+h_1)(2h_0-h_1)}{6h_0} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_1 &= \int_0^{h_0+h_1} \frac{(x-x_0)(x-x_2)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)} dx \\ &= \frac{(h_0+h_1)^3}{6h_0h_1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_2 &= \int_0^{h_0+h_1} \frac{(x-x_0)(x-x_1)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)} dx \\ &= \frac{(h_0+h_1)(2h_1-h_0)}{6h_1} \end{aligned}$$

식(2.5)에서 다항식 아래의 면적을 계산하면 다음과 같다.

$$A = \int_0^b (a_0 + a_1x + a_2x^2) dx = \frac{h}{3} (f_0 + 4f_1 + f_2) \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

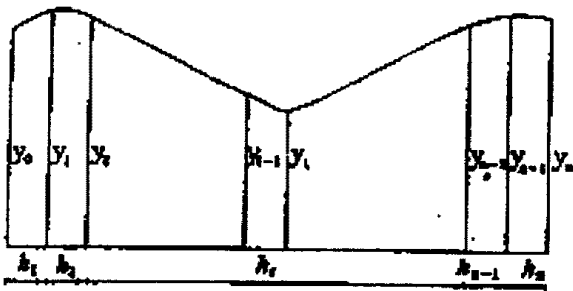


Fig. 4 Simpson's first formular

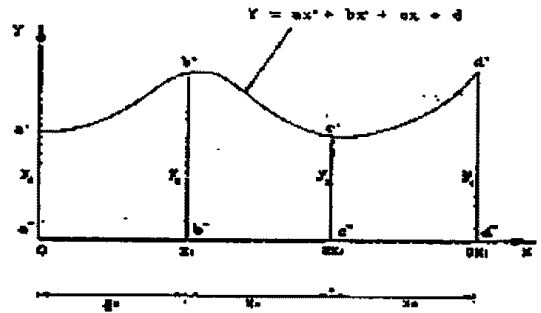


Fig. 5 Simpson's second formular

2.6 Simpson 제2법칙

Fig. 5에서 경계를 3차 다항식으로 가정하여 그 아래의 면적을 계산하면 식(2.7)과 같다.

$$\begin{aligned}
 A &= \int_0^{3x_1} (ax^3 + bx^2 + cx + d)dx \\
 &= \left(\frac{ax^4}{4} + \frac{bx^3}{3} + \frac{cx^2}{2} + dx + e\right)_0^{3x_1} \quad \dots (2.7) \\
 &= \left(\frac{81ax_1^4}{4} + \frac{27bx_1^3}{3} + \frac{9cx_1^2}{2} + 3dx_1\right)
 \end{aligned}$$

여기서 다항식계수

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{1}{6x_1^3} (-y_1 + 3y_2 - 3y_3 + y_4) \\
 b &= \frac{1}{2x_1^2} (2y_1 - 5y_2 + 4y_3 - y_4) \\
 c &= \frac{1}{6x_1} (-11y_1 + 18y_2 - 9y_3 + 2y_4) \\
 d &= y_1
 \end{aligned}$$

라 하면 곡선 아래의 면적은 y의 함수를 적분하고 위의 계수값을 대입함으로써 결정된다.

식(2.7)에 다항식 계수값을 대입하고 정리하면 다음과 같이 심프슨 제2법칙에 의해 단면적이 결정된다.

$$A_s = \frac{3}{8} x_1 \left[y_1 + y_n - \sum_{i=0}^{\frac{(n-2)}{3}} y_{4+3i} + 3 \sum_{i=2}^{n-1} y_i \right] \quad \dots (2.8)$$

2.7 線形點高法

두 연속점 f₀ 와 f₁ 을지나는 1차 다항식의 면적은

$$A = \frac{h}{2} (f_0 + f_1) \quad \dots (2.9)$$

이며 단위 격자의 토공량(체적)을 계산하기 위해 적분하면 다음식과 같다.

$$V = \int_{x_0}^{x_1} \int_{y_0}^{y_1} f(x, y) dy dx \quad \dots (2.10)$$

식(2.2)에서 y에 대한 적분을 하면

$$V = \frac{h}{2} \left[\int_{x_0}^{x_1} f(x, y_0) dx + \int_{x_0}^{x_1} f(x, y_1) dx \right] \quad \dots (2.11)$$

이 되고, 다시 x에 대한 적분을 하여 토공량(체적)을 구하면 식(2.4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{h^2}{4} [f(x_0, y_0) + f(x_1, y_0) \\
 &\quad + f(x_0, y_1) + f(x_1, y_1)] \quad \dots (2.12)
 \end{aligned}$$

f(x_i, y_j) 를 f_{ij}로 놓으면

$$V = \frac{h^2}{4} [(f_{00} + f_{01} + f_{10} + f_{11})] \quad \dots (2.13)$$

여기서 격자 간격이 m 과 n 일때 전체 토공량(체적) V 는

$$V = \frac{h^2}{4} \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} f_{ij} \quad \dots (2.14)$$

이 되고, 여기서 a_{ij} 는 아래의 행렬과 같다

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & \dots & 2 & 1 \\ 2 & 1 & \dots & 4 & 2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 2 & 4 & \dots & 4 & 2 \\ 1 & 2 & \dots & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

2.8 提案式(混合式)

Fig. 6에서 境界式을 3차식과 1차식을 혼합하여 면적을 계산하여

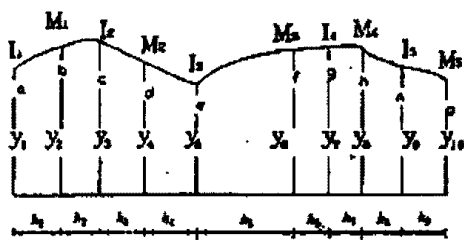


Fig. 6 A congruence area formular

Fig. 6에서 ba' 가 ba 와 대칭이라면 3차곡선 aba' 아래의 면적은

$$A_{aba'} = \frac{1}{2} \ell_1 (y_1 + 3y_2) \text{ 이고}$$

$$A_{ab} = \frac{1}{4} \ell_1 (y_1 + 3y_2) = \frac{1}{4} \ell_1 (y_{11} + 3y_{M2})$$

이다. 마찬가지로

$$A_{bc} = \frac{1}{4} \ell_2 (y_{12} + 3y_{M1})$$

직선 ce 아래의 면적은

$$A_{ce} = \frac{1}{2} \ell_{ce} (y_3 + y_5) = \frac{1}{8} \ell_{ce} (4y_3 + 4y_5)$$

이며, 여기서

$\ell_{ce} = 2\ell_3 = 2\ell_4$ 이다.

$$y_4 = \frac{1}{2} (y_3 + y_5) \text{ 이므로}$$

$$A_{ce} = \frac{1}{8} \ell_{ce} (6y_4 + y_3 + y_5) \text{ 가 된다.}$$

그러므로 직선 아래의 면적은 아래와 같다.

$$A_{ce} = \frac{1}{4} \ell_3 (3y_4 + y_3) + \frac{1}{4} \ell_4 (3y_4 + y_5) \dots (2.15)$$

$$A_{ce} = \frac{1}{4} \ell_3 (3y_{M2} + y_{12}) + \frac{1}{4} \ell_4 (3y_{M2} + y_{13}) \dots (2.16)$$

곡선 ef 아래의 면적은 다음으로부터 구할 수 있다.

$$A_{ef} = \frac{1}{4} \ell_5 (3y_6 + y_5) + \frac{1}{4} \ell_5 (3y_{M3} + y_{13}) \dots (2.17)$$

직선 fh 를 수평으로 생각하면 면적은 $A_{fh} = \ell_{fh} \cdot y$ 이다.

여기서 $y = y_6 = y_7 = y_8$ 이고 $\ell_{fh} = 2\ell_6 = 2\ell_7$ 이다.

$$A_{fh} = \frac{1}{8} \ell_{fh} (3y_6 + 3y_8 + 2y_7) = \frac{1}{4} \ell_6 (3y_6 + y_7) + \frac{1}{4} \ell_7 (3y_8 + y_7) = \frac{1}{4} \ell_6 (3y_{M3} + y_{14}) + \frac{1}{4} \ell_7 (3y_{M4} + y_{14})$$

면적 hnp 의 면적은 곡선 ab 와 유사한 방법으로 구할수있다.

$$A_{hn} = \frac{1}{4} \ell_8 (3y_{M4} + y_{15})$$

$$A_{np} = \frac{1}{4} \ell_9 (3y_{M5} + y_{15})$$

전체면적을 구하면 다음과 같다.

$$A = \frac{1}{4} \{ yI_1 \ell_1 + yI_2 (\ell_2 + \ell_3) + yI - 3(\ell_4 + \ell_5) + yI_4 (\ell_6 + \ell_7) + yI_5 (yI_5 + \ell_8 + \ell_9) + 3yM_1 (\ell_1 + \ell_2) + 3yM_2 (\ell_3 + \ell_4) + 3yM_3 (\ell_5 + \ell_6) + 3yM_4 (\ell_7 + \ell_8) + yM_5 \ell_9 \} \dots (2.18)$$

이것을 일반식으로 나타내면 식(2.13)과 같다.

$$A = \frac{1}{4} \left[\sum_{i=1}^k yI_i (\ell_{L_i} + \ell_{R_i}) + \sum_{i=1}^k yM_i (\ell_{L_i} + \ell_{R_i}) \right] \dots (2.19)$$

3. 實驗 및 考察

3.1 航空寫眞測量

가시적으로 지형의 변화가 뚜렷한 100m×100m의 6가지의 지형(Mod1~Mod6)을 선정하였다. 각지

형의 표고자료는 정밀도화기 Wild A10을 통해 격자 간격을 5m(Ad1~Ad6), 10m(Mad1~Mad6)의 등간격으로 각 지형별로 표고를 추출하였으며, 그 정확도의 기준이 되는 최확값은 2m의 격자 간격(Mod1~Mod6)의 표고값에 대한 토공량으로 하였다. 정규격

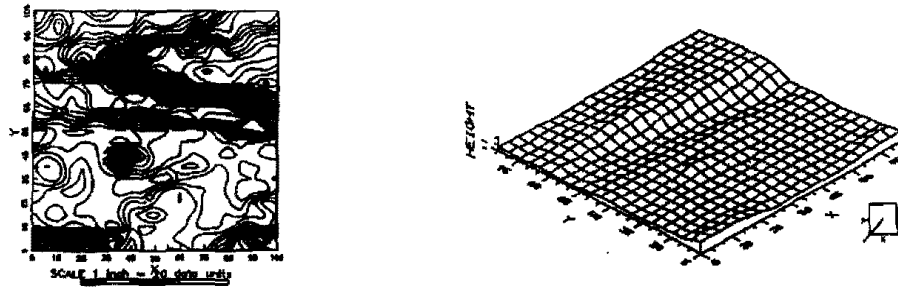


Fig. 7 A contour map and perspective drawing of Ad1

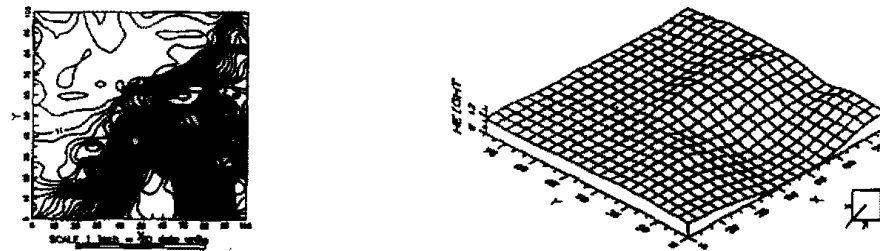


Fig. 8 A contour map and perspective drawing of Ad2

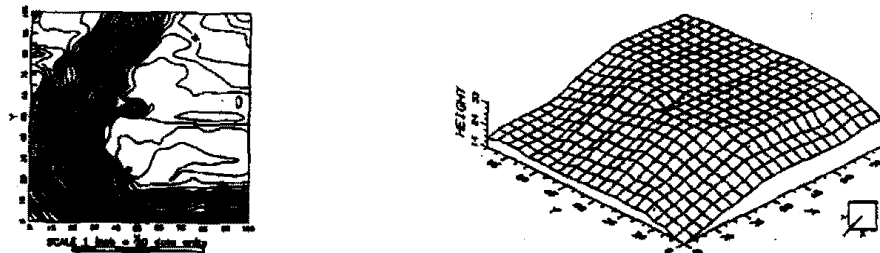


Fig. 9 A contour map and perspective drawing of Ad3

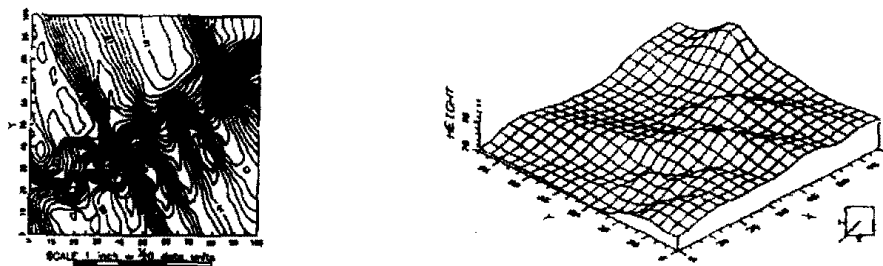


Fig. 10 A contour map and perspective drawing of Ad4

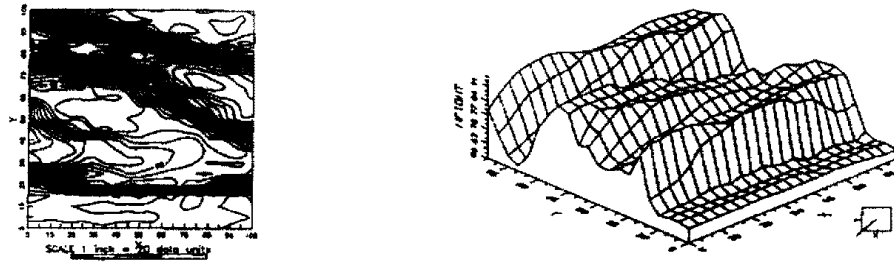


Fig. 11 A contour map and perspective drawing of Ad5

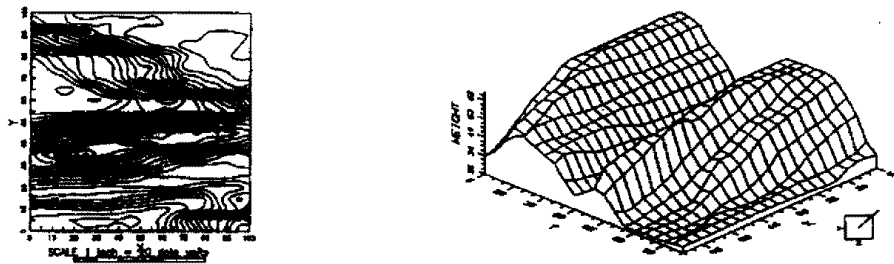


Fig. 12 A contour map and perspective drawing of Ad6

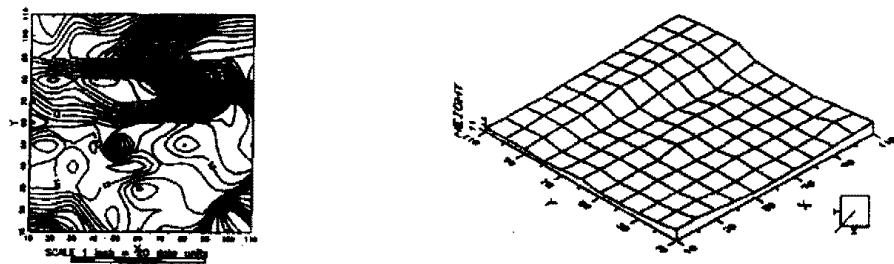


Fig. 13 A contour map and perspective drawing of Mad1

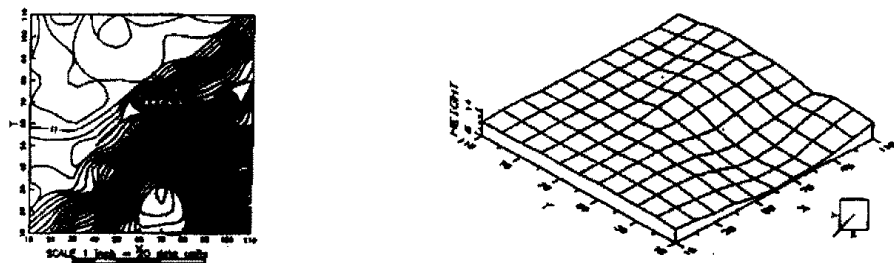


Fig. 14 A contour map and perspective drawing of Mad2

자로 된 각 지형(Ad1~Ad6, Mad1~Mad6)에 대한 등고선도와 3차원 투시도는 Fig.7~Fig.18과 같다.

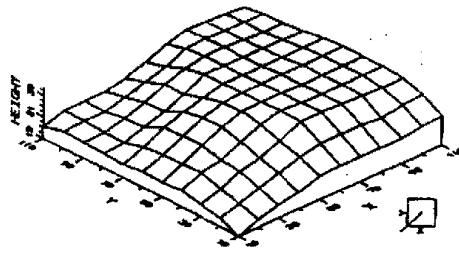


Fig. 15 A contour map and perspective drawing of Mad3

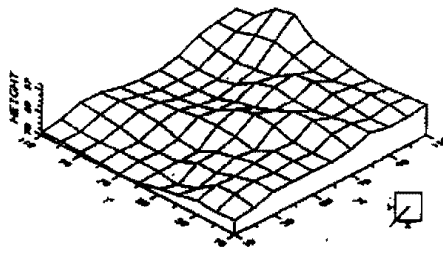
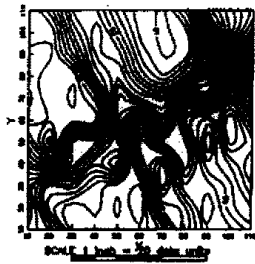


Fig. 16 A contour map and perspective drawing of Mad4

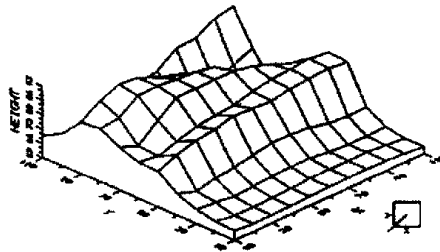
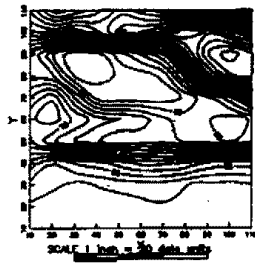


Fig. 17 A contour map and perspective drawing of Mad5

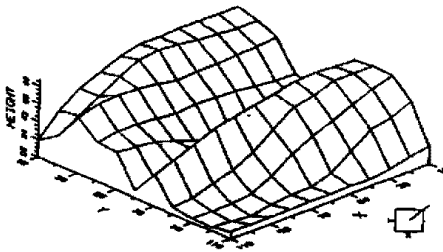
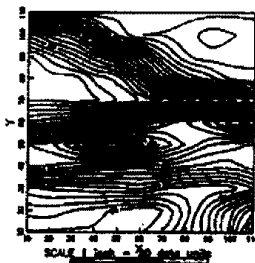


Fig. 18 A contour map and perspective drawing of Mad6

3.2 土工量計算

各 格子間隔을 달리한 6가지 지형에 대해 Simpson과 사다리꼴, 점고법 그리고 본 연구에

서 제안한 혼합식으로 면적을 구하여 양단면평균 법, 중앙단면법, 각주공식에 의한 13가지 방법으로 토공량의 계산을 하였으며, 최확토공량에 대한 정확도는 Table 1 ~ 6과 같다.

Table 1 A deviation and accuracy for earthwork computation of Ad1,2

Ca-se	Terrain Method		Ad 1			Ad 2		
			Earth	Deviat	Accuray	Earth	Deviat	Accuray
C1	Sim1	End	132609.1	1635.1	1/80.1	100245.1	1023.8	1/96.9
C2		Mid	132870.9	1896.9	1/69.0	100318.9	1097.6	1/90.4
C3		Pri	131274.1	300.1	1/436.4	99585.69	364.36	1/272.3
C4	Sim2	End	131268.9	294.9	1/444.1	99558.7	337.37	1/294.1
C5		Mid	132887.2	1913.2	1/68.5	100528.6	1361.27	1/72.9
C6		Pri	131092.6	118.6	1/1104.3	99355.2	133.82	1/741.5
C7	Tra	End	132542.8	1568.8	1/83.5	101081.0	1859.7	1/53.4
C8		Mid	132465.2	1491.2	1/87.8	101777.2	2555.87	1/38.8
C9		Pri	132699.6	1725.6	1/75.9	100567.7	1346.37	1/73.7
C10	Der	End	131252.4	278.4	1/470.5	99379.00	157.67	1/629.3
C11		Mid	134585.6	3611.6	1/36.3	101951.1	2729.77	1/36.3
C12		Pri	131080.7	106.7	1/1227.5	99316.24	94.91	1/1045.4
C13	Spot		132050.5	1076.5	1/121.7	99800.63	579.3	1/171.3
	Mpe		130974			99221.33		

- Earth. : Earthwork
- Sim1,2 : Simpson'1,2rule
- End. : End area formula
- Deviat : Deviation
- Tra. : Trapezoidal rule
- Der. : Dervied rule(Congruence area formula)
- Mpe. : Most probable earthwork
- Spot : Spot levels formula
- Mid. : Middle area method

Table 2 A deviation and accuracy for earthwork computation of Ad3,4

Ca-se	Terrain Method		Ad 3			Ad 4		
			Earth	Deviat	Accuray	Earth	Deviat	Accuray
C1	Sim1	End	272889.2	2378.7	1/113.7	834290.2	9696.0	1/85.0
C2		Mid	272247.9	1737.4	1/155.7	832676.3	8082.1	1/102.0
C3		Pri	271173.8	663.3	1/407.8	826335.6	1741.4	1/473.5
C4	Sim2	End	273997.8	3487.3	1/77.6	832569.9	7975.7	1/103.4
C5		Mid	273976.5	3466.0	1/78.0	831728.4	7134.2	1/115.6
C6		Pri	270929.1	418.6	1/646.2	825682.9	1088.7	1/757.4
C7	Tra	End	277469.3	6958.8	1/38.9	837148.5	12554.3	1/65.7
C8		Mid	277393.2	6882.7	1/39.3	836910.8	12316.6	1/66.9
C9		Pri	274283.8	3773.3	1/71.7	835788.9	11194.7	1/73.7
C10	Der	End	272690.5	2180.0	1/124.1	828703.6	4109.4	1/200.7
C11		Mid	277102.8	6592.3	1/41.0	826849.4	22552.2	1/36.6
C12		Pri	270814.2	303.7	1/890.7	825375.7	781.5	1/1055.1
C13	Spot		271351.7	841.2	1/321.6	828701.3	4107.1	1/200.8
	Mpe		270510.5			824594.2		

Table 3 A deviation and accuracy for earthwork computation of Ad5,6

Ca-se	Terrain Method		Ad 5			Ad 6		
			Earth	Deviat	Accuray	Earth	Deviat	Accuray
C1	Sim1	End	752068.4	9993.4	1/74.3	452953.9	6372.3	1/70.1
C2		Mid	748741.3	6666.3	1/111.3	451416.9	4835.3	1/92.4
C3		Pri	744302.5	2227.5	1/333.1	447828.9	1247.3	1/358.0
C4	Sim2	End	753147.3	11072.3	1/67.0	453648.2	7066.6	1/63.2
C5		Mid	754596.2	12521.2	1/59.3	455062.9	8481.3	1/52.7
C6		Pri	743738.5	1663.5	1/446.1	447527.7	946.1	1/472.0
C7	Tra	End	762778.4	20703.4	1/35.8	459636.7	13055.1	1/34.2
C8		Mid	764038.5	21963.5	1/33.8	460955.7	14374.1	1/31.1
C9		Pri	752407.7	10332.7	1/71.8	453258.3	6676.7	1/66.9
C10	Der	End	748107.4	6032.4	1/123.0	454865.7	8284.1	1/53.9
C11		Mid	763714.0	21639.0	1/34.3	460757.7	14176.1	1/31.5
C12		Pri	742829.8	754.8	1/983.1	447260.0	678.4	1/658.3
C13	Spot		745105.1	3030.1	1/244.9	447858.5	1276.9	1/349.7
	Mpe		742075			446581.6		

Table 4 A deviation and accuracy for earthwork computation of Mad1,2

Ca-se	Terrain Method		Mad 1			Mad 2		
			Earth	Deviat	Accuray	Earth	Deviat	Accuray
C1	Sim1	End	132745.9	1771.9	1/ 73.9	100464.6	1243.8	1/ 79.8
C2		Mid	131967.8	993.8	1/131.8	99830.0	608.7	1/163.0
C3		Pri	131287.8	313.8	1/417.4	99683.0	461.7	1/214.9
C4	Sim2	End	132960.2	1986.2	1/ 65.9	99753.3	532.0	1/186.5
C5		Mid	132975.9	2001.9	1/ 65.4	100664.8	1443.5	1/ 68.7
C6		Pri	131134.4	160.4	1/816.5	99430.8	209.5	1/473.6
C7	Tra	End	132575.5	1601.5	1/ 81.8	101072.6	1851.3	1/ 53.6
C8		Mid	133548.2	2574.2	1/ 50.9	102072.0	2850.7	1/ 34.8
C9		Pri	132707.6	1733.6	1/ 75.6	100570.5	1349.2	1/ 73.5
C10	Der	End	133282.7	2308.7	1/ 56.7	99528.4	307.1	1/323.1
C11		Mid	134647.8	3673.8	1/ 35.7	101924.5	2703.2	1/ 36.7
C12		Pri	131117.6	143.6	1/ 912.1	99390.5	169.2	1/ 586.4
C13	Spot		132283.7	1309.7	1/ 100.0	99972.9	751.6	1/ 132.0
	Mpe		130974			99221.33		

Table 5 A deviation and accuracy for earthwork computation of Mad3,4

Ca-se	Terrain Method		Mad 3			Mad 4		
			Earth	Deviat	Accuray	Earth	Deviat	Accuray
C1	Sim1	End	272988.5	2478.0	1/109.2	835241.2	10647	1/ 77.4
C2		Mid	272109.1	1598.6	1/169.2	832734.1	8139.9	1/101.3
C3		Pri	271499.0	988.5	1/273.7	826560.4	1966.2	1/419.4
C4	Sim2	End	271332.1	821.63	1/329.2	833731.5	9137.3	1/ 90.2
C5		Mid	274058.3	3547.8	1/ 76.2	836593.3	11999.1	1/ 68.7
C6		Pri	271092.7	582.2	1/464.6	825957.3	1363.1	1/604.9
C7	Tra	End	277304.7	6794.2	1/ 39.8	837107.4	12513.2	1/ 65.9
C8		Mid	277475.0	6964.5	1/ 38.8	836933.1	12338.9	1/ 66.8
C9		Pri	274149.0	3638.5	1/ 74.3	835729.7	11135.5	1/ 74.1
C10	Der	End	274518.5	4008.0	1/ 67.5	829643.6	5049.4	1/163.3
C11		Mid	276957.0	6446.5	1/ 42.0	847088.5	22494.3	1/ 36.7
C12		Pri	270923.9	413.4	1/ 654.4	825397.9	803.7	1/1026.0
C13	Spot		271815.1	1046.0	1/ 258.6	828658.9	1064.71	1/ 202.9
	Mpe		270510.5			824594.2		

Table 6 A deviation and accuracy for earthwork computation of Mad5,6

Ca-se	Terrain		Mad 5			Mad 6		
			Earth	Deviat	Accuray	Earth	Deviat	Accuray
C1	Sim1	End	751828.3	9753.3	1/ 76.1	453284.2	6702.6	1/ 66.6
C2		Mid	746908.0	4833.0	1/153.5	452336.3	5754.7	1/ 77.6
C3		Pri	743611.4	1536.4	1/433.0	448413.0	1831.4	1/243.9
C4	Sim2	End	752930.0	10855.0	1/ 68.4	453864.5	7282.9	1/ 61.3
C5		Mid	752834.1	10759.1	1/ 69.0	455857.5	9275.9	1/ 48.1
C6		Pri	743355.8	1280.81	1/579.4	448016.8	1435.2	1/311.2
C7	Tra	End	762548.1	20473.1	1/ 36.2	459857.8	13276.2	1/ 33.6
C8		Mid	762266.4	20187.4	1/ 36.8	461724.0	15142.4	1/ 29.5
C9		Pri	752710.9	10635.9	1/ 70.0	453968.6	7387.0	1/ 60.5
C10	Der	End	747880.4	5805.4	1/127.8	455100.0	8518.4	1/ 52.4
C11		Mid	761972.3	19897.3	1/ 37.3	459538.5	12956.9	1/ 34.5
C12		Pri	742951.2	876.2	1/ 846.2	447494.2	912.6	1/ 489.4
C13	Spot		745254.2	3179.2	1/ 233.4	449079.1	2497.5	1/ 178.8
	Mpe		742075			446581.6		

Fig. 19~24는 토공량계산을 위해 각 이론식의 적용에 대한 결과의 정확도 분석을 막대(Bar)그래프로 나타내었다.

3.3 考 察

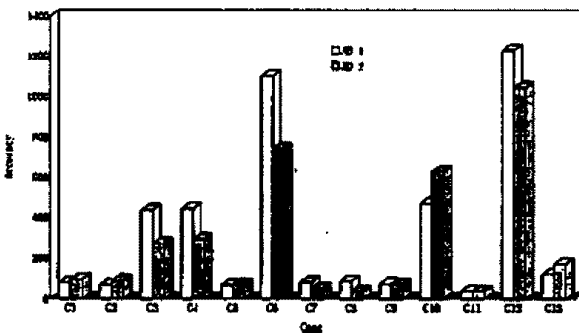


Fig. 19 Accuracy of terrain Ad1, Ad2

평탄한 지형인 Ad1, Ad2에서 정확도가 제안식의 각주, Simpson2의 각주, 제안식의 양단면, Simpson2의 양단면, Simpson1의 각주, 점고법, 사

다리꼴중앙단면, 사다리꼴양단면 順으로 높게 나타났다. 각주공식이 양단면과 중앙단면식 보다 그리고 경계식이 곡선인 제안식, Simpson식이 선형의 점고법이나 사다리꼴법칙보다 더 정확하였다.

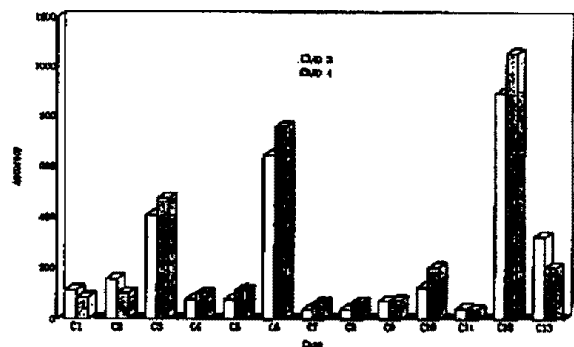


Fig. 20 Accuracy of terrain Ad3, Ad4

구릉지인 Ad3, Ad4에서 정확도가 제안식의 각주, Simpson2의 각주, Simpson1의 각주, 점고법, Simpson1의 중앙단면법, 제안식의 양단면, Simpson1의 양단면 順으로 높게 나타났다. 각주공

식이 양단면과 중앙단면식 보다 그리고 경계식이 곡선인 제안식, Simpson식이 선형의 점고법이나 사다리꼴법칙보다 더 정확하였고, 사다리꼴과 Simpson식의 중앙단면법이 양단면보다 더 정확한 결과를 나타내었다.

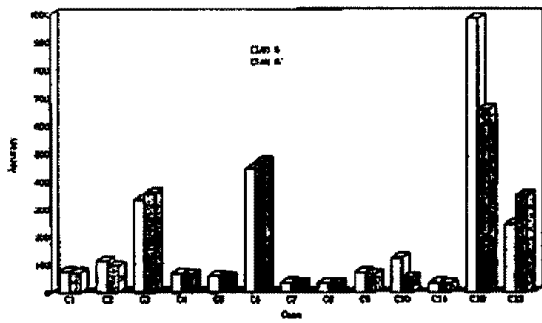


Fig. 21 Accuracy of terrain Ad5, Ad6

산악지인 Ad5, Ad6에서 정확도가 제안식의 각주, Simpson2의 각주, Simpson1의 각주, 점고법, 제안식의 양단면, Simpson1의 중앙단면법 順으로 높게 나타났다. 각주공식이 양단면과 중앙단면식보다 더 정확하였으며, Simpson1에서는 중앙단면이 양단면보다 더 정확하였고, Simpson2, 사다리꼴법칙, 제안식에서는 양단면이 중앙단면보다 더 정확하였다.

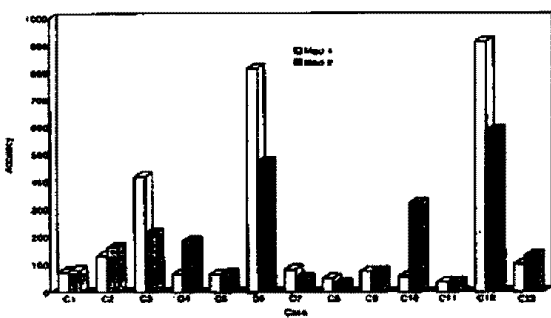


Fig. 22 Accuracy of terrain Mad1, Mad2

간격을 넓게 取한 평탄한 지형인 Mad1, Mad2에서 정확도가 제안식의 각주, Simpson2의 각주, Simpson1의 각주(제안식의 양단면), Simpson2의 양단면법, Simpson1의 중앙단면법, 점고법 順으로 높

게 나타났으며 대체로 각주공식이 양단면과 중앙단면식 보다 더 정확하였다. 그리고 경계식이 곡선인 제안식, Simpson식이 선형의 점고법이나 사다리꼴법칙보다 더 정확하였으며 Simpson1에서는 중앙단면이 양단면보다 더 정확하였고, Simpson2, 사다리꼴법칙, 제안식에서는 양단면이 중앙단면보다 더 정확하였다.

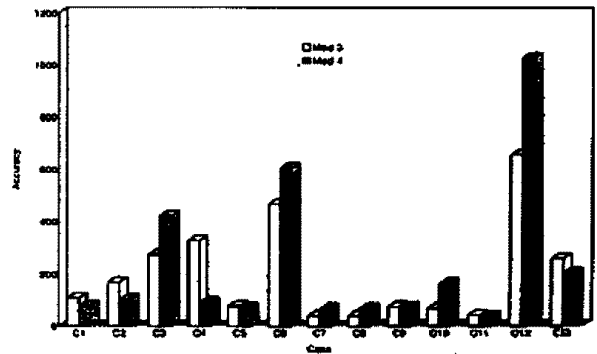


Fig. 23 Accuracy of terrain Mad3, Mad4

간격을 넓게 取한 구릉지인 Mad3, Mad4에서 정확도는 제안식의 각주, Simpson2의 각주, Simpson2의 양단면, Simpson1의 각주, 점고법, Simpson1의 중앙단면법, Simpson1의 양단면 順으로 높게 나타났으며 대체로 각주공식이 양단면과 중앙단면식 보다 더 정확하였다. 그리고 경계식이 곡선인 제안식, Simpson식이 선형의 점고법이나 사다리꼴법칙보다 더 정확하였으며 점고법이 간격을 넓게 취한 결과로 정확도가 높게 나타났다.

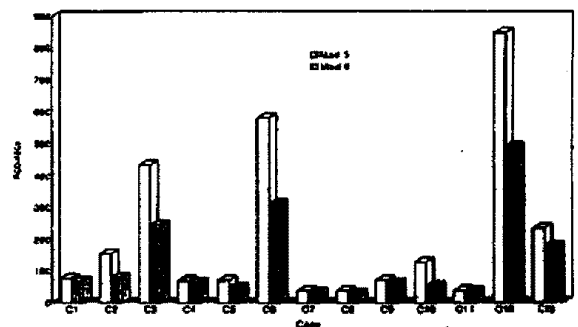


Fig. 24 Accuracy of terrain Mad5, Mad6
간격이 넓은 산악지인 Mad5, Mad6에서 정확도가 제안식의 각주, Simpson2의 각주, Simpson 1의 각주,

접고법, Simpson 1의 중앙단면법, 제안식의 양단면 順으로 높게 나타났다. 각주공식이 양단면과 중앙단면식보다 더 정확하였으며, Simpson 1에서는 중앙단면이 양단면보다 더 정확하였고, Simpson2와 사다리꼴, Mad6 제안식에서는 중앙단면과 양단면이 비슷한 값을 보였다.

이상의 Fig. 19~24에서 격자 간격이 5m와 10m일 때 각 방법에 대한 정확도 분석을 하면 전체 지형 6가지(Ad1~Ad6, Mad1~Mad6,) 모두 본 연구에서 제시된 제안식(혼합식)을 각주공식에 적용한 방법이 가장 정확도가 높게 나타났다. 평탄한 지형 Ad1, Mad1에서는 Simpson 제2법칙에 의한 각주공식이 비교적 정확하였고, 지형 Ad2, Mad2는 Simpson 제2법칙에 의한 각주공식과 제안식에 의한 양단면 법의 순으로 높게 나타났다. 또한 지형 Ad3, Mad3와 Ad4, Mad4는 제안식의 각주공식, 그리고 Simpson 제2법칙의 각주공식, 그 다음 Simpson 제1법칙의 각주공식 순으로 정확도가 높게 나타났다. 경사가 급한 지형인 Ad5, Mad5와 Ad6, Mad3은 제안식의 각주공식과 그 다음 Simpson 제2법칙의 각주공식 그리고 Simpson 제1법칙에 의한 각주공식과 접고법이 비교적 높은 정확도를 나타내었다.

4. 結 論

지금까지 항만 매립공사에 필요한 최저 토공량을 구하기 위하여 각 이론식을 유도하고 프로그램하였다. 정확도 비교를 위해 항공사진에 의한 수치표고자료의 실험 결과, 다음과 같은 몇가지의 결론을 얻었다.

첫째, 6가지 지형의 격자 간격이 5m(Ad)와 10m(Mad)일 때 각 방법에 대한 정확도는 본 연구에서 제시한 직선식과 3차 곡선식을 혼합시킨 면적식을 각주공식에 적용한 방법이 다른 12가지 방법과 비교할 때 가장 높은 정확도를 나타내었다.

둘째, 제안식에 의한 각주式 以外에 지형 Ad1~6과 Mad1~6에서는 Simpson 제2법칙에 의한 각주식이 비교적 정확하였으며, 제안식에 의한 양단면법과 Simpson 제1법칙의 각주식 順으로 정확도가 높게 나타났으며 간격이 넓은 선형인 경우 접고

법도 비교적 높은 정확도를 나타내었다.

셋째, 양단면과 중앙단면을 비교할 때 Simpson 제1법칙에서는 중앙단면이 양단면보다 그리고 Simpson 제2법칙과 사다리꼴법칙에서는 양단면이 중앙단면법보다 더 정확하였다.

이상의 13가지 방법(C1~C13)을 컴퓨터 프로그램으로 간략화하여, 적용을 용이하게 하였으므로 현장의 실무 작업시 널리 이용될 것으로 사료된다.

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 irregularregion with unequal intervals, J.Surveying Engrg., ASCE, 114(2), 1988, pp. 50~58.
- 4) D.W., Chambers, Estimating pit excavation volume using unequal intervals, J.Surveying Engrg., ASCE, 115(4), 1989, pp. 390~401.
- 5) 오창수, "수치지형 모델에 의한 토공량계산 정확도의 예측모델에 관한연구", 한국측지학회지, 제 5권, 제1호, 1987, pp.49~58.
- 6) 조영호, "수치지형모델을 이용한 도로의 토공량산정에 관한 연구", 한국측지학회지, 제7권, 제2호, 1989, pp.7~19.
- 7) 유복모, 박운용, 권현, 문두열, "수치지형모형에 있어서 지형의 분석과 조합보간법의 적용에 관한 연구", 한국측지학회지, 제 8권, 제2호, 1990, pp.53~61.
- 8) 유복모, 조기성, 박성규, "사진측량을 이용한 초구장 기본 계획에 관한 연구", 한국측지학회지, 제 8권, 제1호, 1990, pp.31~40.
- 9) 유복모, 윤용택, 이현직, "사진측량을 이용한 토공량 결정에 관한 연구", 한국측지학회지, 제

- 8권, 제1호, 1990, pp.41~50.
- 10) 박운용, 문누열, 차성열, “비선형해석에 의한 부등간격의 토공량에 계산에 관한 연구”, 한국측지학회지, 제 9권, 제2호, 1991, pp.19~36.
- 11) 이재기, 조재호, 이현직, 이인성, “수치표고모형을 이용한 난지도 쓰레기 매립장의 이용계획에 관한 연구”, 한국측지학회지, 제 11권, 제 1호, 1993, pp.19~27.
- 12) 정영동, 박정남, 박성규, 김진기, “수치표고모형을 이용한 최적노선선정에 관한 연구”. 한국측지학회지, 제 11권, 제2호, 1993, pp.17~26.
- 13) 최재화, 이석배, 심정민, “도로선형의 결정에서 토공량 산정에 관한 연구”, 한국측지학회지, 제 11권, 제2호, 1991, pp.89~100.
- 14) 조규전, 조영호, 임선일, “DTM에서 최단노선과 토공량을 고려한 최적노선의 선정에 관한 연구”, 한국측지학회지, 제 12권, 제2호, 1994, pp.219~226.

