

# 곡률변화를 고려한 수치등고선도의 작성에 관한 연구

## A Study on the Contouring Method According to the Change of Curvature

李 石 贊\* 曹 圭 田\*\*  
Lee Suck-Chan Cho Kyu-Jon  
金 泓 燦\*\*\*  
Kim Hong-Chan

### 要 旨

본 연구에서는 등고선의 곡률변화를 고려하여, 작도에 필요한 등고선점의 수를 결정하는 방법으로써 등고선도를 작성하고 실험 및 해석을 하였다.

결과로서는, 축척 1 : 2,500 수치등고선도에서 적당한 격자간격은 10~20m이고 지형의 평균경사가 크면 등고선 작도에 알맞는 격자간격이 작음을 제시하고 있다.

### ABSTRACT

This study is about the experiments and analyses of Adaptive Grid Contouring Method that determines the number of contour points according to the change of curvature.

As a result, it is presented that 10~20m grid spacings are suitable for contouring on map scales of 1 : 2,500 and that the larger the mean slope, the smaller the suitable grid spacing for contouring.

## 1. 서 론

수치지형모형(DTM)은 1957년 Miller, C. L 교수에 의하여 최초로 발표된 이래 주로 도로설계와 같은 일반 토목분야에 응용되어 왔으나 근래

에 와서는 고성능 컴퓨터의 도입에 따라 토공설계를 중심으로 한 CAD (Computer Aided Design)에서 지도제작을 위한 CAC (Computer Aided Cartography)로 확대되어 여러분야에서 널리 활용되고 있다.<sup>1) 2)</sup>

종전의 등고선 작도에서는 보간법에 의해 격자내부에 표고점을 확장하고 그 점 사이를 선형 역보간(inverse linear interpolation) 하여 등고선점(contour point)의 평면좌표를 구하는 방법

---

\* 漢陽大學校 工科學 教授

\*\* 京畿大學校 工科學 助教授

\*\*\* 漢陽大學校 工科學院



을 사용하였으나 이 방법은 등고선점의 계산에 불필요한 점까지도 계산해야 하고 격자에 따라 필요한 점의 수를 알수 없기 때문에 등고선도 작성의 효율성이 저하되었다. 이러한 문제점을 보완하여 지형의 거칠기(roughness of local terrain)와 사용자의 요구도에 따라 등고선점의 수를 조절할 수 있는 프로그램을 작성하는 것이 본 논문의 목적이다.

연구 범위로는 항공사진에서 5m 간격으로 추출된 표본자료 중에서 대표적인 3가지 지형을 선택하고, 여러가지 격자간격의 데이터를 사용하여 1:2,500 축척의 수치등고선도를 작성하고 이를 분석하였다.

## 2. 등고선도의 작성이론

### 2.1 등고선도의 작도원리

지표의 기복과 모양 및 지표상에 존재하는 지물을 합쳐서 지형이라 부르며 지형을 일정한 축척과 도식으로 그려낸 것이 지형도(topographical map)인데 지형은 주로 등고선으로 표시하고 지물은 일정한 도식으로 표현한다.<sup>3)4)</sup>

일반적으로 등고선 작도에서 해결해야할 문제점은 지형의 모든점( $x, y$ )가 다음 방정식을 만족하도록 하는 것이다.<sup>5)</sup>

$$E(x, y) - C = 0$$

여기서,  $E$ 는 횡좌표 $x$ 와 종좌표 $y$ 가 변함에 따른 점의 높이

$C$ 는 등고선값

지도제작자들은 이 문제를 해결하기 위하여 여러가지 도구, 이론과 경험을 모두 동원하였다.

이때 사용된 도구는 간단한 분할콤포스에서 복잡한 해석사진측량까지 광범위하다.

정확도가 높으면서도 사용이 편리한 데이터의 디지털 씨시스템이 연구되었는데 이는 높이를 행렬로 표시한 DTM을 사용함으로써 가능하게 되었다.

지도제작자들은 수동식으로 DTM을 사용한 작도를 시도하였으나 데이터의 양과 시간이 과다하므로 이를 컴퓨터를 사용해 처리하였다.

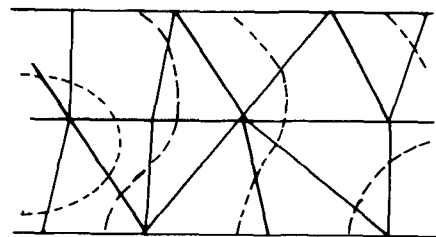
지도 축척을 고려할 때 격자간격이 상대적으로 작으면 등고선과 격자의 교차점을 계속 연결하여 등고선을 적절히 작도할 수 있다. 그러나 격자간격이 커지면 격자안에 새로운 등고선점을 설치하여야 한다.

### 2.2 등고선 작도 연혁

수치등고선 작도방법이 개발된 것은 DTM이 개발된지 수년후의 일이다. 그동안 여러 종류의 등고선 작도프로그램이 만들어졌고 그 중 일부는 상업화하여 널리 쓰이고 있다.

이 중 몇가지 예를 들어보면 다음과 같다.<sup>2)6)7)</sup>

- UBC Vancouver, Canada
- MATES (Michigan Automated Transportation Engineering System)
- GPCP (General Purpose Contouring Program of Calcom)
- GPM-2 (Gestalt Photo Mapper System)
- ITC Contour Generation Program
- SCOP Stuttgart



MATES 방법

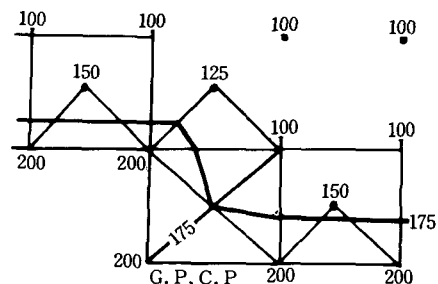


그림 2-1. 등고선 작도법



- 기타

MATES에서는 지형의 불규칙한 점을 그대로 사용하는 TIN(Triangular Irregular Network) 방법을 사용하였고 California Computer Products Inc.에서 개발한 GPCP에서는 정규격자 내의 중간점을 구하여 작도하였으며 SCOP에서는 Linear Prediction에 의해 격자내부에 점을 확장하여 작도하는 방법을 사용하였다.<sup>8,9)</sup>

AGCP(Adaptive Grid Contouring Program)는 등고선의 작도시에 필요로 하는 등고선의 수를 격자 특성에 따라 자동으로 변화시켜 효율적인 작도를 하는 프로그램이다.<sup>5)</sup>

이 방법은 그림(2-2)와 같이 격자와 등고선이 교차하는 두점  $C_1(X_1, Y_1)$ ,  $C_2(X_2, Y_2)$ 를 잇는 선분  $\overline{C_1C_2}$ 에서 시작한다. 이 격자내에 등고

선점이 더 필요할 것인 가를 결정하기 위해 이 선을 이등분하게 되는데  $|X_1 - X_2|$ 와  $|Y_1 - Y_2|$  값 중에서 큰 쪽을 이등분한다. 등고선과 이등분선의 교차점  $C_3$ 는 보간법에 의해 구한다.  $C_3$ 점이 구해짐으로서 등고선을 두 개의 선분  $\overline{C_1C_3}$ ,  $\overline{C_3C_2}$ 로서 나타낼 수 있다.

이때  $\overline{C_1C_3}$ 와 이등분선이 만나는점  $P_1$ 점과  $C_3$ 점의 좌표값의 차이  $\Delta d_1$ 이 일정한 허용값보다 크면  $\overline{C_1C_3}$ ,  $\overline{C_3C_2}$ 에 대하여 위 방법을 적용한다.

이상과 같은 방법으로  $\Delta d$ 값이 허용값보다 작을 때까지 계속하면 등고선이 완성되는데 허용값을 어느 정도로 하는가에 따라 등고선점 C의 갯수를 조절할 수 있다.

따라서 이 방법의 가장 큰 장점은 격자점의 확장이 없이 등고선점을 직접 구할 수 있고 지형의 표현에 반드시 필요한 점만을 구할 수 있는 것이다.

## 2.3 등고선의 오차

### 2.3.1 기본이론과 수식

Tomson(1971)은 지도의 정확도에 대해 “지도의 정확도를 실험·분류하는 방법은 수학적으로 명백하게 나타낼 수 없기 때문에 단지 주어진 지도에서 정확도를 구하는 문제에 대한 답일 뿐이며 해석방법을 어떻게 적용하는가에 따라 결과가 변하게 된다”라고 말하였으나 각국에서는 이 문제에 대해 많은 연구가 진행중인데 다음과 같은 점이 지적되었다.<sup>10)</sup>

(1) 직접, 간접으로 정확도를 표현할 때 표준편차(또는 표준오차)나 평균제곱근오차의 사용을 일반적으로 인정하고 있다.

(2) 지도에서 정확도를 구할 때 평면오차와 높이오차를 분리하는 것은 인정되고 있다.

(3) 평면의 정확도에서는 X, Y좌표에서 각각 독립적인가 혹은 상호연관이 있는가가 논란의 대상이다.

(4) 여러가지 수식의 적용이 통계학적으로 올바른 것인가 하는 문제가 있다.

평면에서 사용되는 오차식은 다음과 같다.

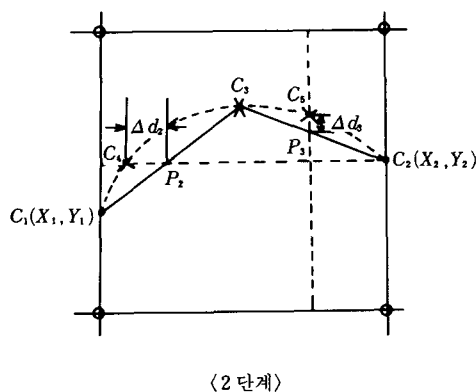
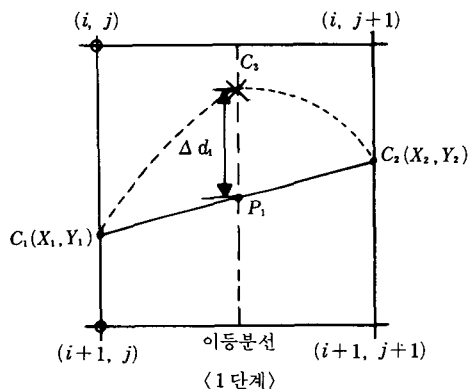


그림 2-2



$$\sigma_x = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta X_i)^2}{n-1} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \sigma_y = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Y_i)^2}{n-1} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2-1)$$

여기서,  $\Delta X_i$ 와  $\Delta Y_i$ 는 각 점점점(test points)의 참값과 비교값과의 차이

$n$ 은 점점점의 수

윗 수식에서 분모를  $n$ 을 사용하는 가  $n-1$ 을 사용하는 가에 대한 논쟁이 있으나  $n$ 값이 커지면 영향이 적어진다.

평면 표준오차( $\sigma_p$ )는 다음과 같이 표현된다.

$$\sigma_p^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 \quad (2-2)$$

그러나 일부에서는 2 차원(원, 타원)표준오차를 사용해야 한다고 하여 Crombie(1967)는 원형 표준오차( $\sigma_c$ )를 평면표준오차( $\sigma_p$ )와 상대비교하였다.

$$\sigma_c = \left\{ \frac{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}{2} \right\}^{\frac{1}{2}} = \frac{\sigma_p}{\sqrt{2}} \quad (2-3)$$

단위  $\sigma_c$ 에서  $x$ 와  $y$ 의 위치오차가 동시에 오차 원안에 존재할 확률은 39.3%이고  $3.5\sigma_c$ 에서는 99.8%이다.<sup>18)</sup>

높이의 정확도를 나타내는 데는 Koppe(1905)의 경험식이 많이 사용되는데 다음과 같이 표현된다.<sup>9)</sup>

$$\sigma_{hc} = \sigma_H + \sigma_p \tan \alpha \quad (2-4)$$

여기서,  $\sigma_{hc}$ 는 등고선점의 높이에 대한 표준오차

$\sigma_H$ 는 점표고에 대한 표준오차

$\sigma_p$ 는 점의 평면표준오차

$\alpha$ 는 지형의 지역적인 경사

위 공식은 지도에서 높이의 허용정확도를 구하는 데 많이 사용된다.

$$\sigma_H = 0.3 \bar{C} + \sigma_p \cdot \tan \alpha \quad (2-5)$$

단  $\sigma_H$ : 허용표고 표준오차

$\bar{C}$ : 등고선 간격

실제로는 위 공식은 전지역에 걸쳐 경사가 균일해야 적용시킬 수 있기 때문에 다음의 식으로 변형되었다.

$$\sigma_H = 0.3 \bar{C} \quad \sigma_H = \left\{ \frac{\sum e_H^2}{n} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2-6)$$

$\sigma_H$ 는 각점의 잔여 오차를 기준으로 하는 표고의 허용 표준오차 (2-7)

단.  $e_H = e - \sigma_p \tan \alpha$  = 각점의 잔여오차

$e$  = 조정전의 표고오차

### 2.3.2 작업규정

(1) 건설부 공공측량 표준작업규정;  
등고선의 측정정도는 등고선 간격의 2분의 1 이내이어야 한다.

(2) 일본 건설성 측량작업규정;  
표고점의 높이의 정도는 등고선 간격의 1/3 이내, 등고선의 정도는 등고선 간격의 1/2 이내.

(3) 미국의 지도 정확도 기준 (U.S National Map Accuracy Standards)

a. 평면에서의 정확도

1:20,000보다 대축척의 지도에서는 지도축척에서 10%이내의 점점점만이 1/30인치를 넘는 오차를 가질수 있다. 1:20,000보다 소축척의 지도에서는 1/50인치이다.

b. 높이의 정확도

모든 축척의 지도에서 10%이내의 점점점만이 등고선 간격의 1/2보다 큰 오차를 가질수 있다.

c. 모든 지도의 정확도는 명확한 점의 위치를 더 높은 정확도를 가진 측량에 의해 얻어진 점과 비교함으로써 측정할 수 있다.

이상의 규정에서 보면 국내나 일본의 규정은 적용방법이 불분명하여 등고선도의 판정이나 관리에 문제점이 생길 수 있어 미국의 규정이 통계학적으로 타당하다 하겠다.

## 3. 실험 및 고찰

### 3.1 수치지형모형 자료 및 팻취의 구성

- 위치: 경북 영일군 오천읍 일대
- 카메라: Wild RC-8 광각 항공카메라
- 비행고도: 1,500m



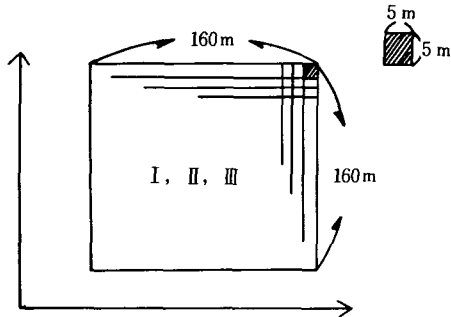


그림 3-1. Patch의 구성

- 사진축척 : 1/10,000
- 화면거리 : 152.30mm
- 표고관측장비 : Wild A-10 정밀도화기
- 좌표의 기록 : Wild EK-22 자동좌표 기록  
(Wild A-10에 연결)

640m×640m 지역에서 160m×160m의 3개 구역을 선정하여 각 구역은 33×33점, 1089개의 격자점으로 형성하고 격자간격은 5m로 하였다.

이것을 기준으로 하여 10m (17×17점), 15m (11×11점), 20m (9×9점), 30m (6×6점), 40m (5×5점) 격자간격으로 patch를 구성하여 등고선도를 작성하였다.

### 3.2 모간식과 오차의 측정

보간법은 Patchwise 방법중 Bilinear Polynomial을 사용하였고 중량(weight)은 두지 않았다.<sup>11) 12) 13)</sup>

$$Z = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 xy \quad (3-1)$$

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & X_1 & Y_1 & X_1 Y_1 \\ 1 & X_2 & Y_2 & X_2 Y_2 \\ 1 & X_3 & Y_3 & X_3 Y_3 \\ 1 & X_4 & Y_4 & X_4 Y_4 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} Z_0 \\ Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z_0 \\ Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{pmatrix} \quad (3-2)$$

등고선 오차의 측정시에는 5m격자 등고선도를 원도로 하여 10m, 15m, 20m, 30m, 40m 격자

등고선도를 비교하였는데 임의의  $x, y$ 방향 검사선과 등고선이 교차하는 점의 좌표를 구하여 비교점간의 좌표차이  $\Delta x, \Delta y$ 를 계산하고 식(2-2), 식(2-3)에 적용하여 평면표준오차와 높이표준오차를 구하였다.

### 3.3 흐름도 (Flow Chart)

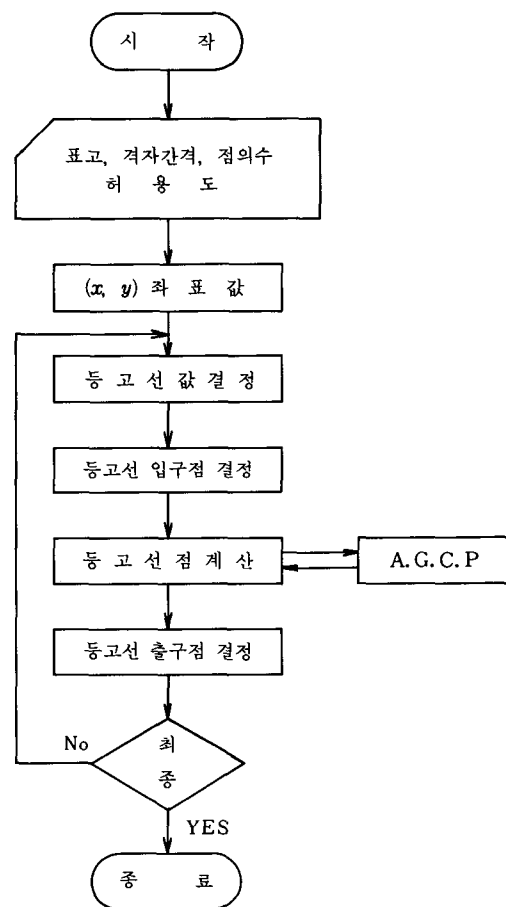


그림 3-2 주프로그램

### 3.4 수치등고선도

그림 (3-3)에서 그림 (3-6)까지는 지형2를 서로 다른 격자간격으로 데이터를 추출하였을 때의 수치등고선도이고, 그림 (3-7)은 지형1, 그림 (3-8)은 지형3의 수치등고선도이다.



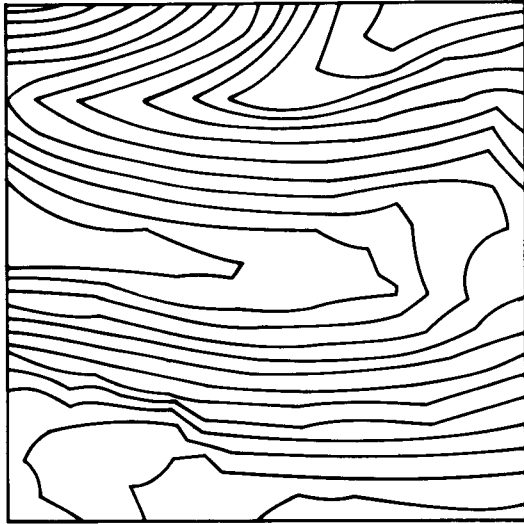


그림 3-3. 10m 격자 (지형 2)

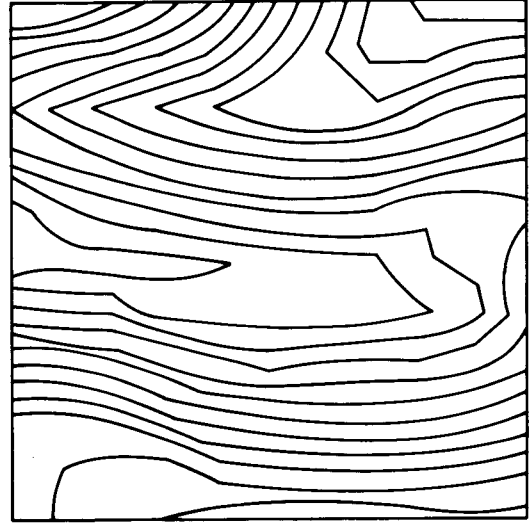


그림 3-4. 15m 격자 (지형 2)

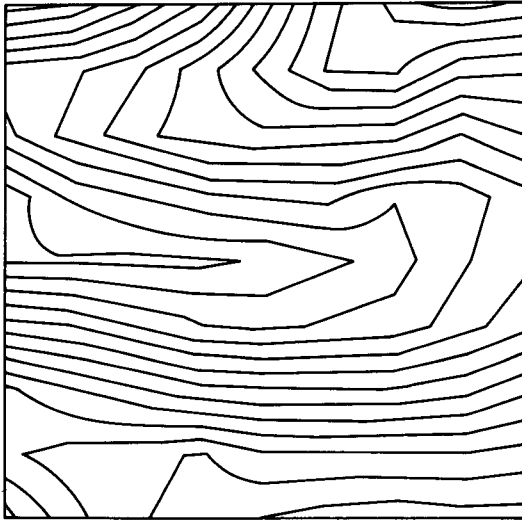


그림 3-5. 20m 격자 (지형 2)

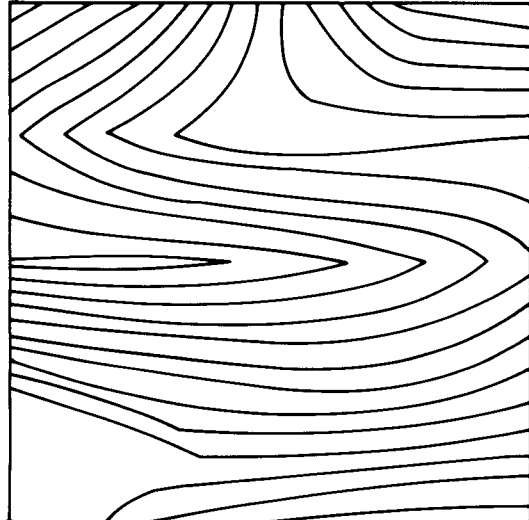


그림 3-6. 40m 격자 (지형 2)



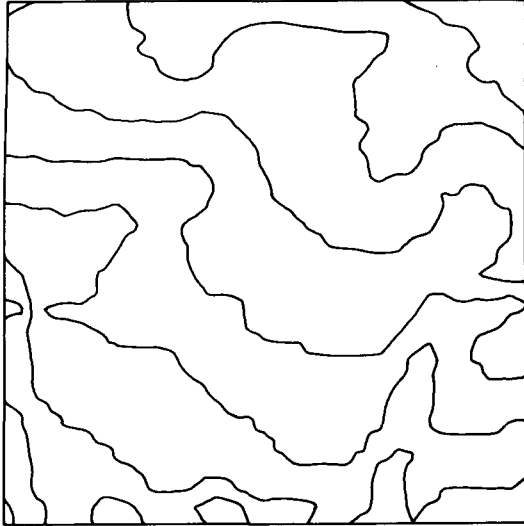


그림 3-7. 지형 1

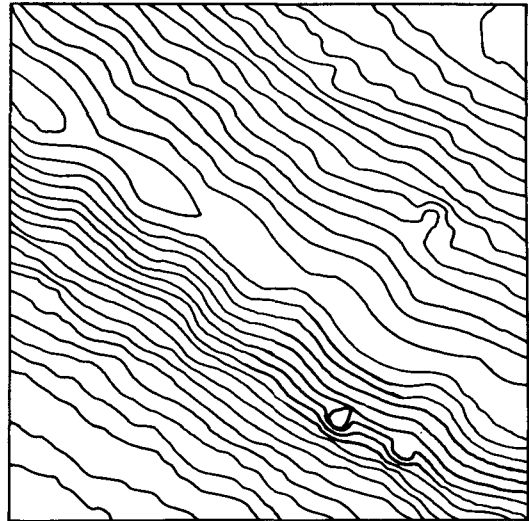


그림 3-8. 지형 3

### 3.5 결과분석 및 고찰

그림 (3-3)~그림 (3-6)과 같이 수치등고선도를 작성하여 기본도와  $(x, y)$  좌표상의 차이를 구하고 이로부터 평면표준오차를 구하면 表 3-1과 같다.

表 3-1. 격자간격과 평면표준오차 ( $\sigma_p$ ) 단위: m

격자	지형	지형 1		지형 2		지형 3	
		$n$	$\sigma_p$	$n$	$\sigma_p$	$n$	$\sigma_p$
10m	x방향	47	2.329	23	1.526	56	0.998
	y방향	58	1.704	37	0.767	71	1.486
	평면		2.886		1.708		1.790
15m	x방향	34	4.173	16	1.999	44	1.970
	y방향	44	3.188	30	1.304	64	2.260
	평면		5.251		2.386		2.998
20m	x방향	33	5.565	64	4.887	49	3.395
	y방향	48	4.008	31	1.285	69	3.080
	평면		6.858		5.053		4.584
30m	x방향	20	11.810	14	3.523	43	3.105
	y방향	27	5.065	25	1.691	60	4.164
	평면		12.851		3.907		5.195
40m	x방향	16	16.412	36	12.070	37	6.333
	y방향	27	11.742	29	4.441	54	8.405
	평면		20.180		12.861		10.524

여러가지 다른 조건이 같을 때, 격자 간격은 정확도나 효율성에 지대한 영향을 미친다. 격자 간격이 커지면 지형정보가 상실되고 상실된 정보는 어떤 방법을 사용해도 완전히 재생할 수 없으므로 정확도가 저하된다. 반대로 격자간격이 너무 조밀하면 자료의 추출, 기록, 계산에 많은 노력이 필요하므로 효율성이 적어진다. 예를 들면, 40m 격자에서 25점이면 20m 격자에서는 81점, 10m 격자에서는 289점으로 되어 격자간격이 1/2이되면 추출점수는 약 4배가 된다.<sup>17) 18)</sup>

일반적으로 1:2,500 지형도에서는 등고선 간격으로 2m를 많이 사용하므로 건설부의 1/2규정에 적합한 등고선의 표고오차는 1m가 되지만 이 규정은 정도의 개념이 명확하지 않고 적용방법이 제시되어 있지 않기 때문에 본 실험을 적용시키기 애매하나 50%오차와 90%오차의 두가지 개념으로 각각 적용시켜 적합한 것을 가리면 다음과 같은 결과가 얻어진다.

50%오차( $E_{50}$ )를 사용하면 지형 1에서 20~30m, 지형 2와 지형3에서 15~20m 격자간격이 적절하고, 90% 오차( $E_{90}$ )를 사용하면, 지형1에서 15~20m, 지형2에서 10~15m, 지형3에서 5~10m가 적절하다.

(그림 3-9, 그림 3-10 참조)



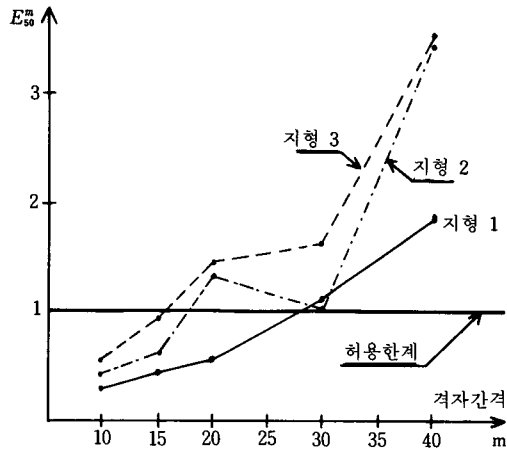


그림 3-9. 격자간격과 50% 표고오차 (E50)

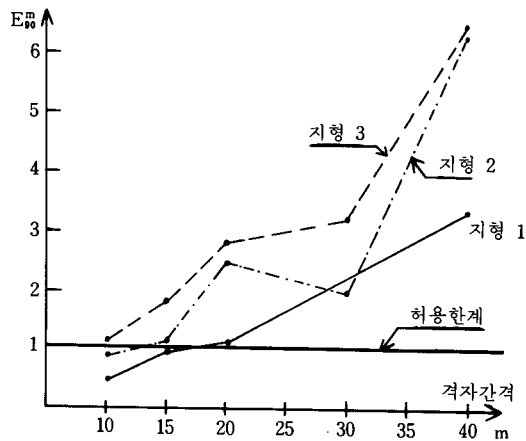


그림 3-10. 격자간격과 90% 표고오차 (E90)

등고선의 정확도에 영향을 주는 여러 요인중에서 지형은 매우 중요하다. 특히 경사, break line 및 지형의 미세한 변화는 정확도에 상당한 영향을 주기 때문에 지형마다 적절한 격자간격은 다르게 된다.

지형 1의 경사는  $6.4^\circ$ , 지형 2는  $17.7^\circ$  이고 지형 3은  $21.5^\circ$ 인데 表 3-1, 表 3-2에서 보면 경사에 따라 정확도와 허용격자간격이 달라지고, 특히 지형 2에서는 20m와 40m 격자간격일때 정확도가 크게 저하됨을 알 수 있다. 이것은 표본점 추출시 breakline을 고려하지 않았기 때문인데 그림 3-11은 breakline에 의해 선형보간 오차가 크게 되는 경우이다.<sup>7)</sup>

表 3-1에서 지형의 경사가 작은 쪽이 평면표준오차( $\sigma_p$ )가 커지는데 이것은 같은 높이오차가 발생했을때 경사가 작은 지형일수록 등고선 이동량이 크기 때문이다. 그러나 表 3-2에서 경사가 작을수록 표고표준오차( $\sigma_H$ )는 작아지고 허용격자간격은 커짐을 알 수 있다.

본 연구에서는 허용값을 어느 정도로 할 것인가가 문제인데 10m 격자일때는 허용값을 각각 격자간격의  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ 로 하여도 등고선에 별 영향이 없으나 40m 격자에서는 상당한 영향이 있음을 알 수 있다. 이것은 격자간격이 작으면 등고선점이 많기 때문에 등고선점을 더 늘리지 않아도 곡선효과가 나기 때문이다. 따라서 격자간격에 따라 적절한 허용값을 주는 것이 효율성 면에서 중요하다.

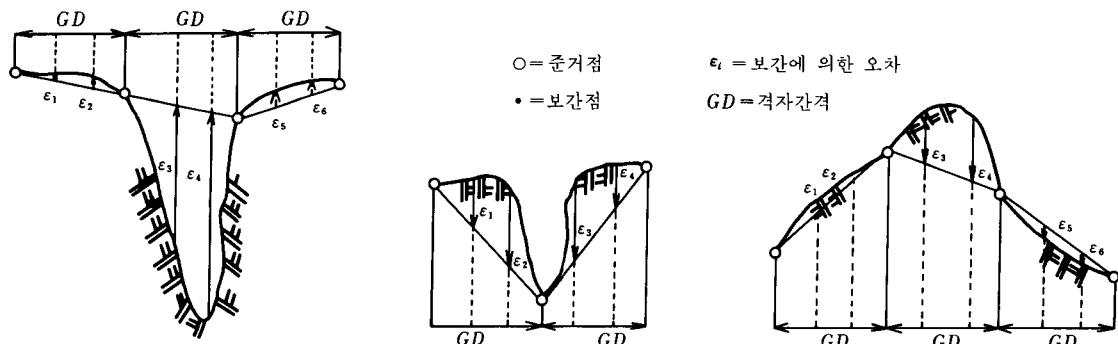


그림 3-11. Break Line의 영향



表 3-2. 격자간격과 높이 표준오차

단위 : m

지형	격자간격	50%오차( $E_{50}$ )	90%오차( $E_{90}$ )
지형 1	10	0.264	0.482
	15	0.481	0.876
	20	0.628	1.145
	30	1.176	2.145
	40	1.847	3.368
지형 2	10	0.453	0.826
	15	0.633	1.155
	20	1.341	2.446
	30	1.037	1.893
	40	3.414	6.225
지형 3	10	0.581	1.059
	15	0.973	1.774
	20	1.488	2.710
	30	1.686	3.074
	40	3.416	6.228

表 3-3. 격자간격과 컴퓨터 사용시간 (PC9801)

지형	허용도	격자 간격의 1/2	최 소
지형 1	10	1' 07"	2' 06"
	15	0' 34"	1' 11"
	20	0' 31"	1' 18"
	30	0' 16"	0' 34"
	40	0' 15"	0' 33"
지형 2	10	2' 49"	3' 59"
	15	1' 40"	2' 09"
	20	1' 23"	2' 15"
	30	0' 48"	1' 05"
	40	0' 42"	1' 34"
지형 3	10	3' 52"	5' 33"
	15	2' 23"	3' 38"
	20	2' 01"	3' 34"
	30	1' 13"	2' 07"
	40	1' 04"	2' 12"

보간법 중에서 Patchwise Bilinear Polynomial을 사용할 때는 Patch의 경계에서 첨점이 생기므로 Smoothing이 필요하다.

또한 현장측량에 대한 항공측량의 오차를 무시하였는데 앞으로는 현장측량에 의한 수치등고선의 절대오차 모델을 만들어야 수치등고선도의 적합 여부를 명확히 할 수 있을 것이다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 등고선의 곡률변화와 허용도에 따라 등고선을 표현하는데 필요한 등고선 점의 수를 자동으로 결정하는 등고선 자동작도 프로그램을 작성하여 여러가지 격자간격과 지형에 따른 등고선의 정확성과 효율성에 관하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째 : 항공측량의 오차를 무시하면 1/2, 500 지형도에서 적당한 격자간격은 50%오차( $E_{50}$ )를 사용하였을 때 15~20m, 90%오차( $E_{90}$ )을 사용했을 때 10~15m 정도이다.

둘째 : 지형의 평균경사가 클수록 평면표준오차( $\sigma_p$ )는 작아지나 표고표준오차( $\sigma_h$ )는 커진다. 따라서 지형의 경사가 클수록 등고선의 작도에 적당한 격자간격은 작아진다.

셋째 : 본 연구에서 작성된 등고선 작도방법은 작도에 필요한 점만 계산하므로 효율적인 등고선 작도방법이다.

## 参考文献

1. 조 규전, "밀도증가식 표본추출법을 중심으로 한 수치지형모형에 관한 연구" 한양대학교 박사논문, 1983.
2. 백 은기, 이 영진, "등고선도의 자동작성에 관한 실험적 연구" 한국측지학회지 1984, pp. 46~53.
3. 이 석찬, "표준 측량학," 선진문화사 1986. pp. 252~254.
4. 백 은기, "측량학" 청문각 1986, pp. 421~431.
5. James, A. Downing II "An Adaptive Grid Contouring Algorithm," Auto Carto 5, 1982, pp. 249~256.
6. Richard J. Kaiser, "Digital Terrain Modeling," Workshop for Automated Photogrammetry & Cartography of Highways & Transport Systems, ASP, pp. 60~72.
7. B. Santos, "Derivation of Contour Lines from Parallel Terrain Profiles" ITC Journal, 1980.
8. W. Stranger, "The Stuttgart Contour Program -Description & Results" Wild, 1973.
9. Ackermann, F, "Experimental Investigation into the Accuracy of Contouring from DTM," PE & RS, 1978, pp. 1537~1548.



10. Sanjib. K. Ghosh, "Analytical Photogrammetry," Peragmon Press, 1979, pp. 129~128.
11. 조영호, "Piecewise Bilinear Polynomial 보간법의 정확도 분석에 관한 연구" 인덕공전 논문집, 1985.
12. 村井俊治, "地形の數量化," 日本土木學會 1973, pp. 93~94.
13. Wicha Jiwalai, "DTM -Numerical Investigation on Regular Point Grids" ITC Journal 1972.
14. K. Kraus, "A General Digital Terrain Model-Theory & Applications," Wild 1973.
15. Allam. M. M, "D. T. M Application in Tophographic Mapping," PE & RS, 1978, pp. 1513~1520.
16. B. Austin Barry, "Errors in Practical Measurement in Science, Engineering and Technology" Wiley, 1978. pp. 27~29.