

# 等高線을 利用한 標本抽出法에 관한 研究

## A Study on Progressive Sampling Method Using Contour Lines

李 石 贊\*  
Lee, Suk Chan  
申 鳳 浩\*\*  
Shin, Bong Ho  
鄭 成 浩\*\*\*  
Jung, Sung Ho  
趙 英 鎬\*\*\*\*  
Cho, Young Ho

### Abstract

In Digital Terrain Model(DTM), more accurate data acquisition method is of importance. This paper has the purpose of accuracy analysis of progressive sampling method, one of data acquisition method.

Especially, The following in accuracy analysis are compared and analyzed.

—Comparison and analysis for position error between the digital contour lines using digital terrain model and the conventional contour lines using A-10 Plotter.

—Analysis for height error of interpolation points according to application of progressive sampling method.

For above numerical tests, Computer Program related to auto-carto of contour lines was made up.

As a result of tests, threshold and sampling criterion have close of mutual relation to accuracy. Particularly, it was found that auto-carto of contour lines-threshold of 1.0 m and standard criterion—almost concurred in conventional contour lines.

### 要 旨

數值地形模型(Digital Terrain Model)을 製作하는데 있어서 보다 더 正確한 地形情報의 獲得方法이 매우 큰 비중을 차지하고 있다.

本 論文은 地形情報를 獲得하는 方法의 하나인 密度增加式 標本抽出方法의 正確性 分析에 그 目

\* 正會員·漢陽大學校 工科大學 教授, 土木工學科

\*\* 正會員·忠北大學校 工科大學 副教授, 土木工學科

\*\*\* 正會員·漢陽大學校 工科大學 助教

\*\*\*\* 正會員·仁德工業專門大學 專任講師

的을 두었다. 특히, 正確性 分析에 있어서는 아래와 같은 事項에 對해 比較分析하였다.

— 圖化機에 의해 작도된 從來의 等高線(Conventional Contourlines)과 密度增加式 標本抽出方法을 利用하여 作圖한 數值等高線(Digital Contourlines)과의 位置誤差에 對한 比較分析

— 密度增加式 標本抽出方法의 適用에 따른 補間點에 對한 標高誤差의 分析

위의 數值試驗을 위하여 等高線의 自動作圖에 관한 電算프로그램을 作成했다.

試驗結果와 試算値와 抽出條件은 正確도와 密接한 關係를 가지며, 특히 試算値 1.0 m 이고, 標準形인 抽出條件에서는 從來의 等高線과 거의 一致함을 알 수 있었다.

## 1. 序 論

數值地形模型(Digital Terrain Model)이란 地表面上에서 測定된 모든 不連續點의 座標값과 이에 關連된 補間法을 基礎로 하여 不規則한 地表面을 數值的으로 解析하는 것이라 定義할 수 있다. 다시 말해서, 地表面上에 있는 任意의 點들의 3次元座標를 測定한 다음, 그 測定된 座標값으로부터 地表의 한 단면을 幾何學的으로 再現, 描寫하는 것을 意味한다<sup>(10)</sup>.

數值地形模型의 目的中 하나는 地圖製作을 위한 data bank 를 設置하는 것이다. 地形의 變位가 모두 數值地形 資料에 의하여 表現되기 때문에 모든 平面地形地物과 等高線 等の 自動화가 이루어질 수 있다<sup>(2)</sup>. 특히, 地圖製作에 있어서 數值地形模型을 利用한 높은 情報의 等高線이 最近 注目을 끌고 있다.

等高線의 正確度(Accuracy)와 質(Quality)의 精度는 많은 요소에 영향을 받는다. 즉, 地形情報獲得(Data Acquisition, 特別한 形態의 地形(파괴선) 等を 포함한 測定點의 密度, 分布, 質)과 資料處理過程(Data Processing, 프로그램의 補間原理 等)에 關連이 있다<sup>(4)</sup>. 다시 말해서, 等高線을 正確하게 作圖할 수 있는 地形情報獲得方法이 있다면, 그 方法은 매우 效率性이 있고 正確性이 있다고 할 수 있다. 地形情報獲得方法中에서 密度增加式 標本抽出方法은 이미 많은 研究가 되어 그 效率性이 매우 높다고 評價되고 있다<sup>(9,10)</sup>. 그러나, 數值等高線(Digital Contour Lines)에 따른 正確性은 研究가 未洽한 편이다.

따라서, 本 論文에서는 이러한 事項들을 고려하여 密度增加式 標本抽出方法의 效率性 및 正

確性에 對해 數值等高線을 作圖하고 이를 圖化機에 의해 作圖된 從來의 等高線(Conventional Contour)과 比較分析함으로써 보다 더 正確한 密度增加式 標本抽出方法의 適用을 제시하는데 그 目的을 두었다.

本 研究에서는 研究對象地域을 경북 영일군 오천읍 一帶로 選定하고, 이 地域을 F.Silar(1969, 체코)의 地形分類方法<sup>(3,11)</sup>에 의하여 4개 patch 로 나누어 作業을 하였고, 數值試驗에 있어서 比較分析은 4개 patch 를 동시에 고려하였으나 數值等高線 作圖는 경계지 문제를 고려치 못해 독립적 patch 단위로 數值等高線을 作圖하였다.

## 2. 密度增加式 標本抽出法<sup>(10)</sup>

### 2.1. 基本概念

密度增加式 標本抽出法(Progressive Sampling)은 入力地形의 地勢에 비례하여 標本點의 密度가 自動 조절되는 方法이다.

標本點의 抽出은 基本點 9點으로 形成되는 基本抽出로부터 시작되며(零次抽出), 여기서 얻어진 標本點이 資料를 分析하여 次回(1, 2, 3, ..., 次)에 필요한 標本點의 位置를 決定하고 同時에 立體圖化機에 연결된 컴퓨터로 하여금 觀測裝置가 새로이 抽出되어야 할 標本點의 密度가 地勢의 複雜性에 부합되도록 抽出回數를 2次, 3次, 4次, ... 등으로 반복 수행한다. 本 作業에서는 컴퓨터의 소요량을 극소로 하고 作業의 편의성을 위하여 全體作業單位(航空寫眞의 한 개의 立體모델)을 여러 개의 斷片으로 분할한다. 이들 斷片 하나하나가 한 개의 基本作業單位가 되며 이것을 patch 라 한다.

## 2.2 入力資料의 分析

入力資料分析의 제 1 단계는 各行과 列의 인접된 3개의 點들의 제 2 차 高差를 구하는 것이다. 제 2 차 高差는 제 1 차 高差로부터 計算된다. 제 1 차 高差는 인접된 두 개의 標本點의 높이 差를 말한다. 그림 2-1은 零次抽出에서의 제 1 차 高差( $\Delta h$ )를 표시한 것이다.

예로서, 零次抽出에서 본다면,

$$\Delta h_{i,j-8} = h_{i,j-16} - h_{i,j} \quad (\text{단, } i=1, 17, 33, j=17, 33)$$

$$\Delta h_{i-8,j} = h_{i-16,j} - h_{i,j} \quad (\text{단, } i=17, 33, j=1, 17, 33)$$

제 2 차 高差  $\delta h$  는

$$\delta h_{i,j} = \Delta h_{i,j-8} - \Delta h_{i,j+8} = h_{i,j-16} - 2h_{i,j} + h_{i,j+16}$$

一般形은 다음 式으로 表示된다.

$$\delta h_{i,j} = h_{i,j-8} - 2h_{i,j} + h_{i,j+8}$$

여기서  $p=2^{(r_{\max}-r)}$

$r_{\max}$ ; 最大抽出回數,  $r$ ; 現在의 抽出回數

제 2 차 高差,  $\delta h$  는 入力資料에 포함될 수 있는 誤差의 關係에 關係없이 地形의 起伏狀態에 關한 어떤 정보의 形態를 수록하고 있다. 만일, 地形의 起伏狀態가 복잡하면 이에 따른 標本點의 密度가 增加하게 된다.

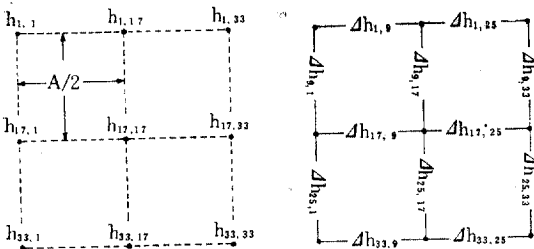


그림 2-1 零次抽出과 第 1 次 高差

## 2.3 試算值의 決定

만일, 제 2 차 高差( $\delta h$ )가 어떤 試算值를 넘으면 새로운 標本點이 抽出되어야 한다. 따라서, 密度가 增加하게 된다. 試算值는 入力資料의 性格과 標本抽出過程에서 要求된 正確度에 따라 달라지며 表 1과 같이 計算된다<sup>(1)</sup>.

表 1. 試算值의 決定

試算值의 區分	假 定	試算值 ( $\delta h_{ik}$ )
線形式 算出方法	반은 기하학적, 반은 가상치	$as$
等高線式 算出方法	美國 c-係數	$2g/k\Delta h$

$a$ ; 零次抽出時의 標本間隔

$s$ ; 높이의 相對誤差

$k, g$ ; 經驗式(2-3)

$\Delta h$ ; 最小 等高線間隔

## 2.4 標本點의 抽出

標準形 標本點의 抽出 一제 1 차 高差가 試算값( $\delta h_{ik}$ )보다 클 경우 中心點과 그 주변점 6개를 동시에 標本點으로 抽出 留保形 標本點의 抽出—中心點의 참값과 補間法에 의해 구해진 값과의 差가 試算값의 1/2 보다 적으면 6개의 주변점은 抽出을 留保한다.

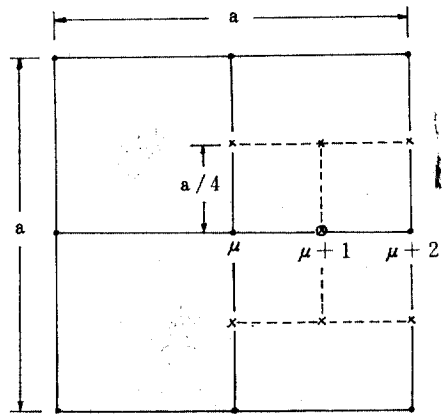


그림 2-2 標本點抽出

## 3. 數值解析 試驗

研究對象地域의 選定에 있어서는 F. Silar의 地形分類說에 의하여 산악지(II), 평탄지(IV), 보통지(III), 산악지와 평탄지(I)의 4개 patch로 구분하여 選定하였다. 研究對象地域의 실제 航空測量은 經濟的인 問題와 基本圖의 正確度를 높이기 위하여 아세아 항업에서 保有하고 있는 地形情報를 使用하였다.

### 3.1 地形模型資料

- 位置; 경북 영일군 오천읍 일대
- 카메라; Wild RC-8 廣角航空카메라
- 畫面距離; 152.30 mm
- 寫眞縮尺; 1/10,000
- 飛行高度; 1,500 m
- 標高觀測裝備; Wild A-10 精密圖化機
- 座標의 記錄; Wild EK-22 自動座標記錄機  
(Wild A-10 에 連結)

### 3.2 Patch의 構成 및 크기

規則格子網을 形成하였으며, 33×33, 즉 1089 개의 格子點을 이루며 間隔은 10 m 로 하였다.

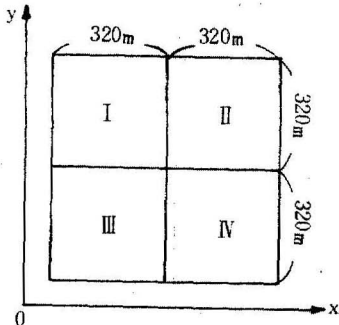


그림 3-1 Patch의 크기 및 배열

### 3.3 試算值 및 抽出回數

試算值는 표 1에서 線形式 및 等高線式의 結果를 기본으로 1m, 1.5m, 2m, 2.5m의 4가지를 適用하였다. 또한 抽出回數는 4회에 걸쳐 抽出하였다.

### 3.4 數值等高線 作圖

抽出條件 2가지에 對해 試算值를 4回 變化시켜 이것을 각 patch에 適用하여 총 32개(2 주출조건 × 4시산치 × 4(patch)=32)의 圖面을 Computer Plotter에 의해 作圖하여 比較分析에 適用하였다.

### 3.5 電算프로그램

電算프로그램은 主프로그램과 17개의 副 프로그램으로 構成되었으며, 作業은 VAX 11에서 等高線의 出力은 Calcom 1051 Plotter에서 처리

되었다.

本 研究에서는 等高線의 自動作圖에 關한 프로그램만을 說明한다.

主, 副等高線 프로그램의 機能은 各各 다음과 같다.

\* 主 프로그램

도면축척, 도면간격 결정, 數值地形圖와 等高線에 關한 事項

\* 副 프로그램

총 7개의 副 프로그램 중에서 X, Y DIC는 X方向, Y方向의 線形補間用 프로그램이며, 구하려는 位置(X)와 높이(H<sub>c</sub>)는  $H_c = H_a + X \cdot (H_b - H_a) / D$ 에 의해 定해진다(그림 3-2 參照)<sup>(8)</sup>.

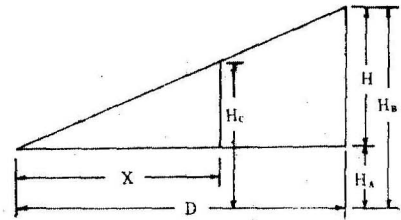


그림 3-2 等高線의 線形補間

DTMPG는 한 patch의 최대값과 最小값을 求하고 그 보간값과 最小값의 높이 차이를 문자로 表示(數值地形圖)함과 동시에 그 값을 기억시킨다.

XLOCON, XUPCON, YLECON, YRICON, CIRCON은 數值等高線을 추적하는 프로그램이다(그림 3-3 參照). 主 프로그램의 作業系統圖는 그림 3-4와 같다.

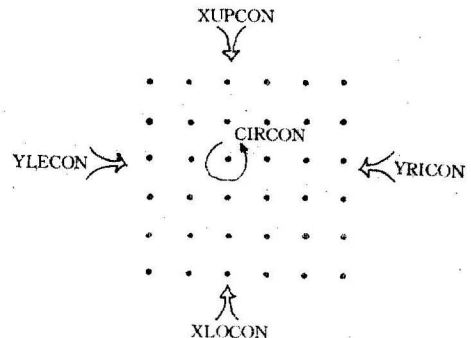


그림 3-3 等高線 추적

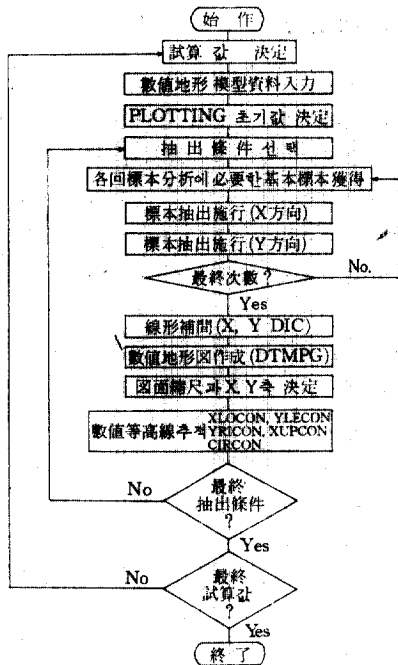


그림 3-4 主 프로그램의 作業系

### 3.6 數值試驗

數值試驗은 첫째, 視覺的 分析, 둘째, 標高正 確度 分析으로 나누어진다(4).

#### 試驗 1. 視覺的 分析

圖化機에 의해 作圖된 종래의 等高線과 컴퓨 터에 의해 作圖된 數值等高線을 서로 重複시킴 으로써 視覺的 分析을 했다.

#### 試驗 2. 正確度 分析

抽出된 標本點을 使用하여 補間法에 의거 再現된 數值等高線의 位置 正確度와 補間點에 對 한 높이 正確度를 分析하였다. 또한 補間方法은 線形補間法을 選定 適用하였다.

## 4. 試驗結果 및 分析

### 4.1 試驗結果

그림 3-5는 試算值 1.0, 標準形에서의 數值等 高線 結果의 한 例이고, 그림 4-1, 그림 4-2, 표 2는 標高正確度誤差의 結果를 表示한 것이 다.

分析에서 考慮된 몇 가지 事項은 다음과 같다.

\* 等高線 標高誤差(RMSE)  $\sigma_a$ 와 補間點 標高

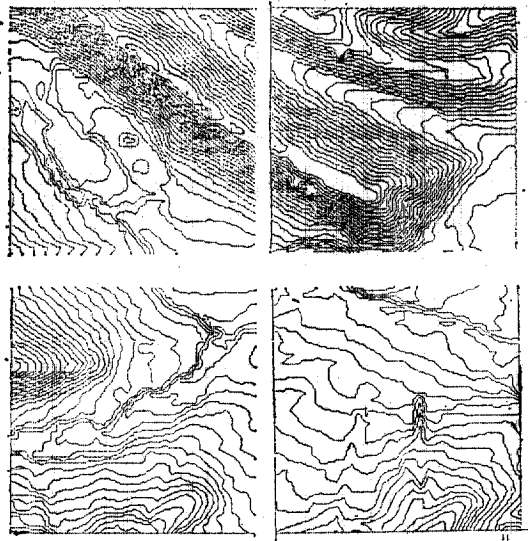


그림 3-5 數值等高線(試算 1.0, 標準形) 縮尺: 1/5000

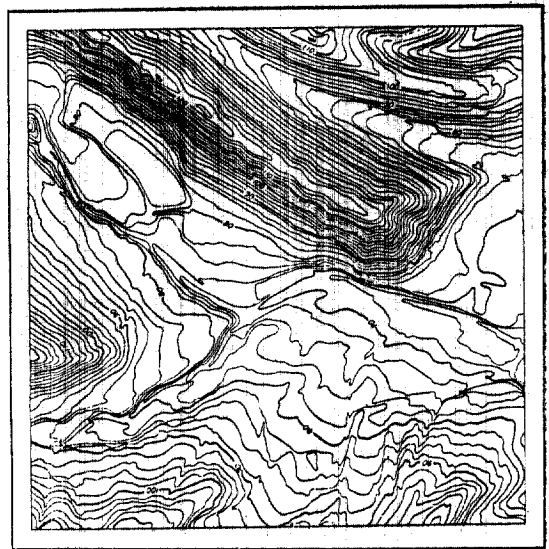


그림 3-6 從來의 等高線 縮尺: 1/5000

$$\text{誤差 } \sigma_a \text{ 는 } \sigma_{a(b)} = \sqrt{\sum (X_k - Y_k)^2 / (n-1)} \quad (4-1)$$

여기서,  $X_k$ : 참값,  $Y_k$ : 數值값 또는 補間값  
 $n$ : 점검점수 또는 보간점수

\*Koppe(1905)의 經驗式에 따라 等高線上 點의 높이에 對한 標準誤差  $\sigma_H^{(5)}$ 는  $\sigma_H = \sigma_H' + \sigma_P'$   
 $\tan a$ ,  $\sigma_H'$ : 높이에 對한 標準誤差,  $\sigma_P'$ : 平面 位置의 標準誤差,  $a$ : 地形의 傾斜

\* 作業規程 및 適用은 建設部 公共測量 標準作

業 規 程<sup>(6)</sup>과 日 本 建 設 省 測 量 作 業 規 程<sup>(7)</sup>에서 等 高 線 的 測 定 精 度 是 等 高 線 間 隔 的 1/2 이 내 이 어 야 한 다.

#### 4.2 結 果 分 析

A-10 으 로 作 圖 된 從 來 的 等 高 線 과 抽 出 條 件 과 試 算 值 的 變 化 에 따 른 各 數 值 等 高 線 을 重 補 시 켜 全 般 的 인 일 치 정 도 와 국 부 적 인 지 형 의 형 태 를 比 較 함 으 로 써 다 음 과 같 은 사 실 을 알 수 있 고 다.

첫 째 ; 標 準 形 에서 試 算 值 1.0 인 그 림 3-5 를 從 來 等 高 線 그 림 3-6 과 比 較 할 때 從 來 等 高 線 에서 省 略 된 部 分 이 그 림 3-5 에서 나 타 나, 제 도 사 가 빠 뜨 릴 수 있 는 等 高 線 을 빠 짐 없 이 표 시 할 수 있 음 을 보 여 주 고 있 다. 試 算 值 1.5, 2.0, 2.5 에서 도 거 의 같 은 結 果 를 나 타 냈 으 나, 4 번 patch 평 단 지 (그 림 4-1 참 조) 에 서 는 試 算 值 가 증 가 함 에 따 라 等 高 線 에 많 은 差 異 가 있 으 며, 또 한 等 高 線 的 間 隔 이 넓 어 졌 다.

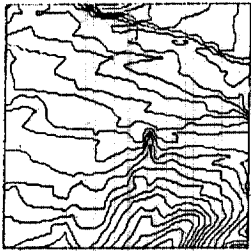


그림 4-1 數 值 等 高 線  
(試 算 2.5, 標 準 形)  
축 척 : 1/5000

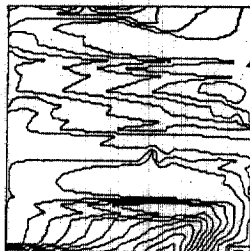


그림 4-2 數 值 等 高 線  
(試 算 2.5, 留 保 形)  
축 척 : 1/5000

둘 째 ; 各 試 算 值 的 留 保 形 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 인 경 우 는 從 來 等 高 線 과 比 較 했 을 때, 試 算 值 1.0 일 경 우 는 從 來 等 高 線 과 거 의 같 은 結 果 를 보 여 주 나 4 번 patch 평 단 지 와 협 곡 부 분 (그 림 4-2 참 조) 에 서 약 간 의 差 異 를 보 여 주 고 있 다. 그 러 나, 試 算 值 가 증 가 함 에 따 라 省 略 되 는 지 형 이 많 았 으 므 로 각 patch 의 완 만 한 傾 斜 地 域 에 서 이 러 한 현 상 이 뚜 러 졌 다. 이 러 한 사 실 은 傾 斜 가 급 한 地 域 에 서 보 다 는 완 만 한 地 域 에 서 抽 出 된 標 本 點 的 密 度 가 적 기 때 문 에 상 대 적 으 로 誤 差 가 커 졌 음 을 의 미 한 다.

#### 4.3 正 確 度 分 析

抽 出 된 標 本 點 을 使 用 하 여 補 間 法 에 의 거 再 現 된 數 值 等 高 線 은 다 음 의 여 러 誤 差 要 素 에 의 하여 영 향 을 받 는 다. 이 誤 差 的 要 素 를 계 통 별 로 分 類 하 면 다 음 과 같 다.<sup>(5,12)</sup> 式(4-1) 에 서

$$\sigma_H'^2 = \sigma_g^2 \cdot C + \sigma_A^2 \cdot T + \sigma_{d.A}^2$$

$$\sigma_P^2 = \sigma_g^2 \cdot C + \sigma_A^2 \cdot T + \sigma_{d.A}^2 + \sigma_{\text{filtering}}^2 + \sigma_{\text{interpolation}}^2 + \sigma_{\text{plotting}}^2$$

그 러 나, 본 문 에 서 는  $\sigma_H'^2$  에 서 는  $\sigma_{d.A}^2$ ,  $\sigma_P^2$  에 서 는  $\sigma_{d.A}^2$ ,  $\sigma_{I.P}^2$  만 을 考 慮 하 여 正 確 性 을 分 類 했 다 (表 2 參 照). 이 들 로 부 더 다 음 事 項 을 알 수 있 고 다. 첫 째, 標 準 形 에서 各 試 算 值 的 變 化 에 의 한 높 이 正 確 度 가 表 2 에 나 타 나 있 다. 試 算 值 가 증 가 함 에 따 라 正 確 度 가 감 소 하 고 있 음 을 알 수 있 다. 또 한 높 이 正 確 度 를 傾 斜 度 에 따 라 分 類 한 그 림 4-3 에 서 는 높 이 誤 差 에 비 례 位 置 誤 差 가 월 등 히 크 므 로 이 地 形 은 比 較 的 平 坦 한 地 形 으 로 판 단 된 다. 둘 째, 留 保 形 에서 各 試 算 值 的 變 化 에 의 한 標 高 正 確 度 가 表 2, 그 림 4-4 에 있 다. 그 結 果 는 標 準 形 과 같 은 類 形 을 보 이 나 傾 斜 角 에 따 른 正 確 度 的 差 가 심 하 다. 이 事 實 은 標 本 點 的 抽 出 密 度 가 줄 어 들 음 에 따 른 結 果 라 고 생 각 된 다. 세 째, 留 保 形 이 標 準 形 보 다 標 準 誤 差 가, 컸 고 (表 2), 傾 斜 角 에 따 른 正 確 度 的 감 소 율 이 증 가 했 으 며, 各 試 算 值 에 따 른 높 이 와 位 置 誤 差 가 커 짐 을 알 수 있 다.

表 2. 正 確 度 結 果

	측정 된 자 간 격	표고 표준 오차	경사각에 따른 오차 $m_h = (a + b \tan \theta) m$	번호
시산=1.0, s=1	10M	0.59	$m_h = 0.29 + 0.90 \tan \theta$	①
시산=1.0, s=2	10M	1.10	$m_h = 0.68 + 1.24 \tan \theta$	①'
시산=1.5, s=1	10M	0.90	$m_h = 0.49 + 1.27 \tan \theta$	②
시산=1.5, s=2	10M	1.36	$m_h = 0.78 + 1.99 \tan \theta$	②'
시산=2.0, s=1	10M	1.18	$m_h = 0.60 + 1.96 \tan \theta$	③
시산=2.0, s=2	10M	1.88	$m_h = 1.13 + 2.53 \tan \theta$	③'
시산=2.5, s=1	10M	1.39	$m_h = 0.68 + 2.41 \tan \theta$	④
시산=2.5, s=2	10M	2.48	$m_h = 1.35 + 3.84 \tan \theta$	④'

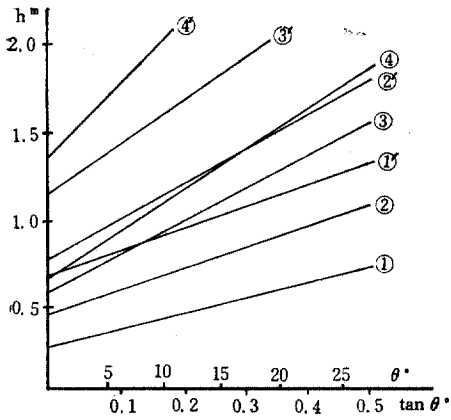


그림 4-3 경사도에 따른 표고정확도  
표준형 ①, ②, ③, ④; 유보형 ①', ②', ③', ④'

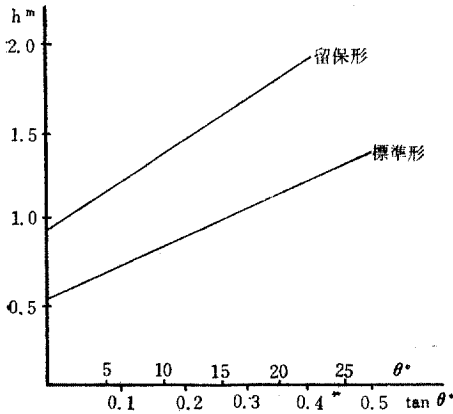


그림 4-4 경사도에 따른 표고정확도  
(표준형과 유보형의 비교)

## 5. 結 論

密度增加式 標本抽出法에 對한 正確性 및 效率性 分析은 다음과 같은 特徵이 있음을 알 수 있었다.

1. 試算値와 標本點 抽出密度의 變化는 數值 等高線(Digital Contourlines)의 正確性과 密接한 關係가 있음을 알 수 있었다.

2. 線形試算値인 1.0 m 標準形 數值等高線은 從來의 等高線(Conventional Contourlines)과 일치되었다(RMSE=0.59). 그러나, 留保形 數值等高線은 平坦地에서 많은 變化가 나타났다. 그 이유는 抽出密度의 감소에 따른 結果라 그 생각 된다(RMSE=1.10). 또한 等高線 試算値인 2.0

m에서는 正確化이 線形式보다 RMSE가 최저 0.59, 최대 1.88까지 낮아짐을 알 수 있었다. 그러므로, 試算値 適用에 있어서는 주의깊은 考察이 要求된다.

3. 위와 같은 事項을 考慮해 볼 때 數值等高線을 利用한 比較分析 結果는 正確性面에 있어서 좋은 成果를 가져왔다.

## 參 考 文 獻

1. Makarovic, B., "Amended Strategy of Progressive Sampling," *ITC Journal*, 1975-1, p.117.
2. Sysscan A.S., "Manufacturer's Information on Sysscan Computer Aided Cartography System", 1983, Norway.
3. Silar, F., "Die Interpolation der Höhen auf dem Digitalen Calende Modelle in Beziehung zu der Klassifikation der Geländeflchen und zu der Dic hte und Zerlegung der Knotenpunkte", ISP Working Group IV/I ISP Bratislava, 1969.
4. Ackermann, F., "Experimental Investigation into the Accuracy of Contouring from DTM," PE & RS, 44 : 12, 1978, pp.1537~1548.
5. Van der Wheels, A.J., "Accuracy Models", ITC lecture note, 1979.
6. 建設部, "建設部 公共測量 標準作業規程", 1976.
7. 大林成行, "Computer Aided Earth Design の手法に關する研究", 東京大學, 1974.
8. 李石贊, "等高線의 插記法", 標準測量學, pp. 252~270.
9. 李石贊, 曹圭田, "密度增加式 標本抽出法에 關한 研究", 大韓土木學會論文集, Vol. 2, No. 3, 1982.
10. 曹圭田, "密度增加式 標本抽出法을 中心으로 한 數值地形模型에 關한 研究", 1983. 11, pp.22~47, 漢陽大學校 大學院
11. 趙英鎬, "數值地形模型을 利用한 豫備路線의 土工量算定에 關한 研究", 1981. 6. 漢陽大學校 大學院
12. 白股基, 李榮鎮, "等高線圖의 自動作成에 關한 實驗的 研究", 韓國測地學會誌, Vol. 2, No. 1, 1984, pp. 46~53.
13. 李石贊, 申鳳浩, 李在鼎, "Digital Terrain Model 을 利用한 土工量 算定" 大韓土木學會論文集, Vol. 5, No.1, 1985, pp.83~85.

(接受: 1985. 3. 29)