

等高線圖의 自動作成에 關한 實驗的 研究

Experimental Investigation of Contouring from DTM

白 殷 基*
Baick Eun-Kee

李 榮 鎮**
Lee Young-Jin

要 旨

本 研究에서는 標本地域에 대하여 수치지형 모델(DTM)에 의한 數值等高線圖를 自動作成하였으며, 이를 一般等高線에 相對比較한 결과 거의 同等한 正確度를 갖는 것이 확인되었다.

標本데이터는 A-10 도화기상에서 실제모델로부터 정방형 격자로 841점(29×29)을 직접 抽出하였다. 이 데이터를 有限要素概念에 의하여 補間을 실시하고 最終成果인 數值等高線을 一般等高線에 相對比較하였다.

ABSTRACT

This paper deals with the practical application in the way how the automatic contouring can be done by DTM, the results of investigation confirm that the digital contouring is equivalent to results from direct photogrammetric contouring.

The data acquisition is restricted in 841(29×29) regular grid points, the interpolation is done by concepts of finite elements. Finally, the output map is relatively compare with A-10 contour maps.

1. 序 論

1955~60년 MIT의 Miller 교수팀이 수치지형 모델(DTM)의 概念과 用語를 도로설계에 導入하면서 통계학적인 '座標의 集合'으로 定義하였다.^{(1),(2)} 그후 1978년 미국 St. Louis에서 개최된 ASP DTM 심포지움에서 '地形特性을 函數나 點의 형태로 표현한 것'으로 定義領域을 확장하기까지 데이터 抽出, 補間方法, 正確度, 應用면에서 研究되고 發展하여 왔으나 아직도 標準化되지 못하고 있다.^{(3),(4)}

그러나, 解析寫眞測量의 發達과 컴퓨터 기억 용량의 증대에 힘입어 地圖製作分野의 대규모인 데이터 處理를 가능케 하였다.

1973년 독일의 SCOP프로그램과 1978년 Allam의 1:50,000 지형도제작은 획기적인 것이며,⁽⁵⁾ ⁽⁶⁾ 1974년 白, 朝倉의 研究도 주목된다.^{(7),(8)} 현재, 미국의 DMA와 USGS, 캐나다의 SMB, 영국의 the Ordnance Survey 등은 데이터베이스 시스템(Data Base system)을 이용하여 신규제작 뿐만 아니라 축척별 제작 및 기존축척의 통일에 활용하고 있다.⁽⁹⁾

等高線은 地形圖는 물론이고 主應力線, 等水頭線, 중력이상, 자력선, 기압배치도 등을 작성하는 데에도 이용되며, DTM을 사용하게 되면

* 서울市立大學 敎授

** 서울市立大學 研究助教

경험을 위주로 하는 작업이 생략되고 自動化가 가능하다. 그러나, 質에 있어서는 等高線上의 點간 相關關係를 求할 수 없기 때문에 解析이 어려우며⁽¹⁰⁾ 최종결과에 대한 信賴度로서 質을 표현하게 된다.

이와 같은 等高線의 質과 特性에 關한 研究는 그다지 많지 않으며, 數值等高線(digital contour)에서는 최근의 일이다. Ackerman(1976)은 地上法에 絶대比較하고 있으며⁽³⁾ Ebner(1981)와 Leberl(1973)은 補間誤差를 격자간격에 따라 해석하고 있다.^{(11),(12),(13)} SAM Thompson(1981)은 數值化(digitizing)와 自動製圖의 誤差를 밝히고 있으며⁽¹⁴⁾ van der wheels(1979)는 영향요소별로 시뮬레이션하는 방법을 모색하고 있다.⁽¹⁵⁾ Carke 等(1982)은 등고선작성용 알고리즘들을 적용한 결과를 제시하고 있다.⁽¹⁶⁾

本 研究에서는 航空寫眞의 실제모델로부터 데이터를 抽出하여 數值等高線을 自動作成하고, 一般等高線에 相對比較함으로써 特性과 效用性을 檢討하고자 한다.

2. 基本理論

2.1 데이터 抽出

地形을 數值化하는 경우에는 地形情報과 情報源, 데이터 抽出方法(形態, 密度, 方式), 補間方法, 데이터 구조(계산기 내부의 기억형태), 계산기 容量, 數值化 裝置, 必要한 正確度 등을 고려해야 한다.⁽³⁴⁾ 情報源으로는 航空사진모델, 地圖 및 레이더와 레이저 고도계(Seasat-1 탑재)가 이용될 수 있다.

地圖製作에는 매우 밀집된 점(dense DTM)으

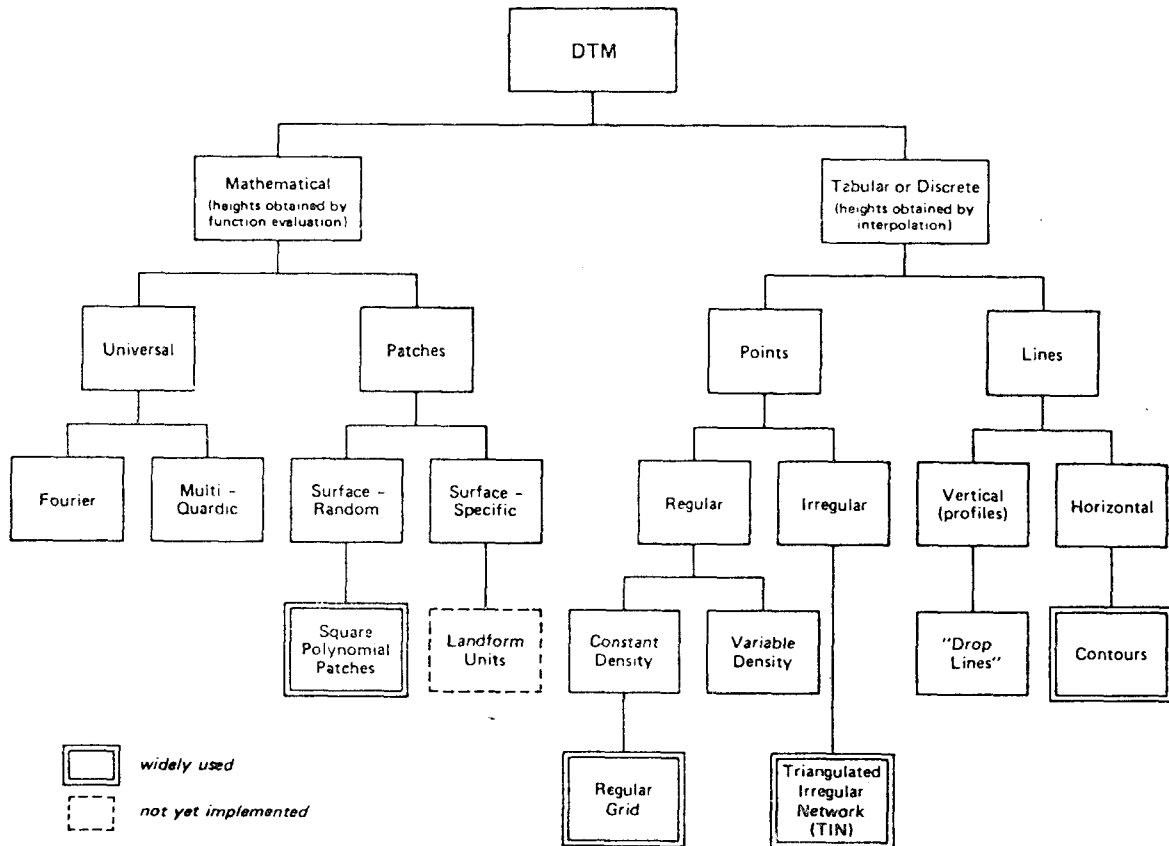


그림 1. DTM의 데이터 구조⁽¹⁹⁾

로부터 팻취 방식을 사용하거나, 분산된 점(sparse DTM)으로부터 點方式에 의해 X, Y 좌표의 集合이 사용된다. 前者는 주제도(thematic map) 작성에 유용하며 後者는 地圖나 寫眞上의 特性을 표현하는데 효과적이다.⁽¹⁸⁾

모델로부터 抽出할 경우는 圖化機나 解析圖化機를 이용하고 기존의 地圖로부터 抽出할 경우는 디지털라이저(X-Y digitizer)를 사용한다.

Mark(1978)는 데이터 구조를 一般化하여 제시하고 있다.⁽¹⁹⁾(그림 1. 참조) 여기서 點·線方式은 補間에 의해 값들이 구해지며 팻취방식 등은 最小제곱법에 의해 구하게 된다. 정방형 격차에 밀도변화를 준 경우가 Makarovick(1973)과 曹(1981)의 경우이다.^{(20),(21)}

2.2 데이터 처리

抽出한 데이터를 이용할려면 적절한 형태로 변환하여야 한다. 즉, 부적당한 데이터의 檢討 및 消去, 데이터 壓縮, 데이터 스무싱, 座標變換, 작업단위로의 區分, 近似 및 補間, 그리고 出力에 따르는 소프트웨어 시스템이 필요하다.^{(22),(17)} DMA 데이터의 경우 5.4%~0.86%만이 편집되며, 補間이 處理時間의 대부분(SCOP의 경우 전시간의 약 4/5)을 소비한다.^{(23),(24)}

분산 DTM의 경우에는 補間에 의해 點의 확대(enlargement of points)가 필요하며, 이 중간점들이나 압축된 데이터로부터 等高線이 작성되기 위해서는 수 많은 平面座標값들이 필요하다. 불규칙한 점일 경우에는 팻취방식에 의해 정방형 격자로 구성하는 방법⁽²⁵⁾과 TIN(Triangular Irregular Network)에 의해 등고선이 통과하는 평면위치를 직접 결정하는 방법⁽²⁶⁾을 사용한다. 보통, 정방형 격자망의 경우는 補間에 의해 중간점을 구하고 이를 평면위치 결정에 이용한다.

出力에는 자동제지기(plotter)나 라인프린터(line printer)를 이용하며⁽²⁷⁾, 평면위치의 값이 조밀한 경우는 密度에 의해 曲線효과를 낼 수 있다.

일반적으로, 한 팻취는 임의선택한 차수로서 函數式을 다음과 같이 最適化할 수 있다.^{(5),(13)}

$$\begin{pmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1 y_1 & x_1^2 & y_1^2 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2 y_2 & x_2^2 & y_2^2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_i & y_i & x_i y_i & x_i^2 & y_i^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_i \end{pmatrix} \quad (1a)$$

또는,

$$\mathbf{AV}=\mathbf{Z} \quad (1b)$$

여기서 \mathbf{A} 는 선택하는 차수에 따라 달라질 수 있다. 준거점(reference points)까지의 거리에 대한 함수로 표현되는 w_i 가 요소인 \mathbf{W} 를 사용하고 最小제곱법을 적용하면 다음과 같다.

$$\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A} (\mathbf{V}) = \mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{Z} \quad (2)$$

$$(\mathbf{V}) = (\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{Z} \quad (3)$$

준거점에 대한 \mathbf{A}_0 값을 대입하면 원하는 점의 높이 z 는

$$z = \mathbf{A}_0 (\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{Z}) \quad (4)$$

로 되어 데이터 압축에 유용하다.

3. 等高線圖의 自動作成

3.1 標本데이터의 抽出

本 研究에서는 가장 기본적이며 널리 이용되는 정방형격자(regular grid) 형식의 데이터 구조를 사용하며 도화기상의 사진모델로부터 직접 抽出한다.

標本地域은 경기도 용인일대 700m×700m 구역으로서 지역별 特性(평균경사도 I 27°, II 42°, III 33°, IV 51°인 산지)이 잘 나타나는 곳이다. 특히 II지역은 수목 때문에 관측곤란한 부분이 있었다.

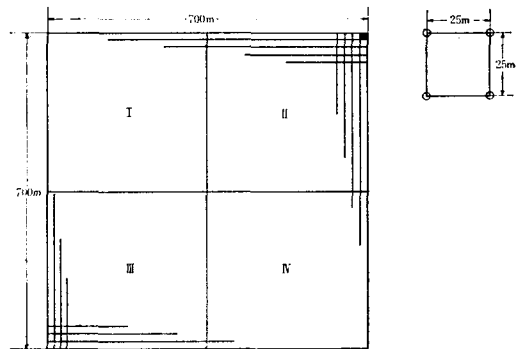


그림 2. 표본점의 배치

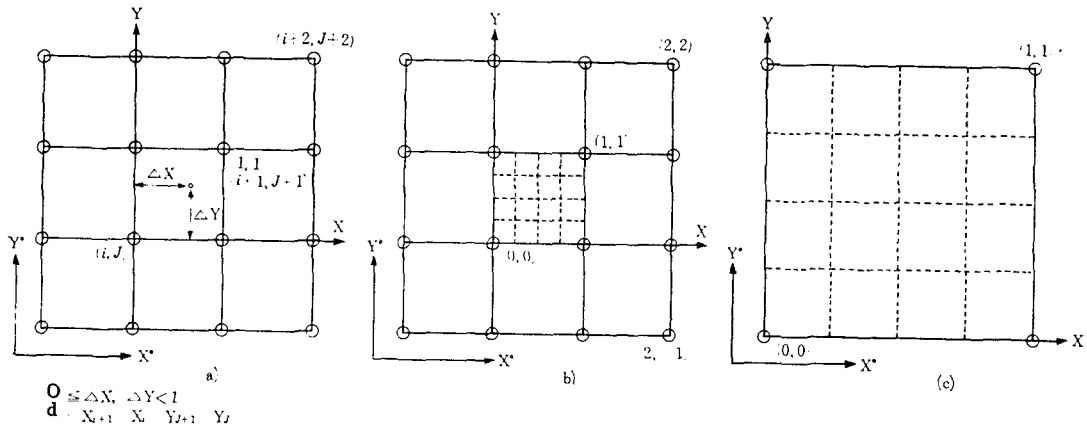


그림 3. 유한요소와 격자점

총 841점(29×29)에 대한 높이값이 A-10 1급 도화기상에서 抽出되었으며, 동일표정상태에서 精密等高線이 작성되어 相對比較에 이용되었다. 이때, 좌표변환을 고려하여 디지털라이저의 눈금을 맞추고 1급도화사가 높이를 읽는 방법을 택했다. 그림 2에 표본점의 배치가 나타나 있으며 表에 標本抽出에 대한 基本資料가 제시되었다.

表. 標本抽出의 基本資料

TERRAIN	Region Area Relief Z Slope	Kusung, Yongin 700m×700m Mountaneous 80m~460m 7°~70°
PHOTOGRAPHS	Format f Camera Scale Flying Height	23cm×23cm 152mm RC8(wild) 1 : 20,000 3,000m
DATA ACQUISITION	Type Stereoplotter Record Digitizer	25m square grid A-10 Line printer CALCOMP
DATA PROCESSING	Computer Image terminal Output	PRIME-750 TEXTRONIX 2046 CALCOMP 960
SCALE	Map Model	1 : 5,000 1 : 10,000
MANUAL CONTOURING	A-10 stereoplotter B-8 stereoplotter	

*) 평균경사도는 stranger(1973) 방법에 의한⁽²⁴⁾

3.2 데이터의 補間

本 研究에서는, 2차원 배열에 의해 높이값만을 기억시키므로 TIN 방식보다 1/6의 용량만이 필요한⁽²³⁾ 정방형 격자망을 고려한다. 망의 密度는 多項式에 의한 補間이 가능할 만큼 충분히 크며 平面座標로 가정한다.

격자를 하나의 有限要素로 고려하고 3次 이하의 多項式으로 고려하면, (1), (28)

$$z = a_{11} + a_{12}y + a_{21}x + a_{31}x^2 + a_{22}xy + a_{13}y^2 + a_{41}x^3 + a_{32}x^2y + a_{23}xy^2 + a_{14}y^3 + a_{42}x^3y + a_{33}x^2y^2 + a_{24}xy^3 + a_{43}x^3y^2 + a_{34}x^2y^3 + a_{44}x^3y^3 \quad (5a)$$

또는,

$$z = [1, x, x^2, x^3] \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix} [1, y, y^2, y^3]^T \quad (5b)$$

$$z = \mathbf{X}\mathbf{A}\mathbf{y}^T \quad (5c)$$

기지의 값을 첨자 0를 사용하여 전체로서 고려하면,

$$\mathbf{A} = \mathbf{X}_0^{-1}\mathbf{Z}_0(\mathbf{y}_0^{-1})^T \quad (6)$$

*) $\mathbf{Z} = \mathbf{X}\mathbf{A}\mathbf{y}^T = \mathbf{k}\mathbf{A}$ 로 하고 한 要素를 고려하면,

$$\mathbf{A} = \mathbf{k}^{-1}\mathbf{Z}$$

$$\mathbf{Z} = \mathbf{p}\mathbf{A} = (\mathbf{p}\mathbf{k}^{-1})\mathbf{Z}$$

$$\mathbf{Z} = \mathbf{N}\mathbf{Z}$$

즉, (5c) 식은 유한요소법의 shape function과 같음.⁽²⁹⁾

$$Z = X(X_0^{-1}Z_0(y_0^{-1})^T)y^T$$

$$= (XX_0^{-1})Z_0(yy_0^{-1})^T \quad (7)$$

정방형 격자일 경우는 $X_0=y_0$ 이므로

$$Z = DZ_0D^T \quad (8)$$

로 되어 많은 확대점이 필요할 경우에 특히 유용하게 된다.

그림 3.에서와 같이 16-표고점을 이용하고 局部座標系(local coordinates)를導入한 Bicubic 要素로 고려하면 다음과 같이 될 수 있다. (30), (29)

$$Z = DZ_0D^T \quad (9)$$

$$(5 \times 5)(5 \times 4)(4 \times 4)(4 \times 5)$$

여기서 D 는 식 (7)으로부터 구해지며 標本點들의 값을 Z_0 에 대입하면 補間點의 값 Z 가 구해진다. (31)

한편, 等高線의 위치결정에는 1次 線形式을 사용하였다. (그림 4. 참조)

$$XX = XX_0 + (XX_1 - XX_0) * \frac{ZC - ZZ_0}{ZZ_1 - ZZ_0} \quad (10)$$

ZC : 구하는 높이

ZZ_1, ZZ_0 : 좌표점의 높이

XX : 구하는 좌표

XX_1, XX_0 : 평면좌표점

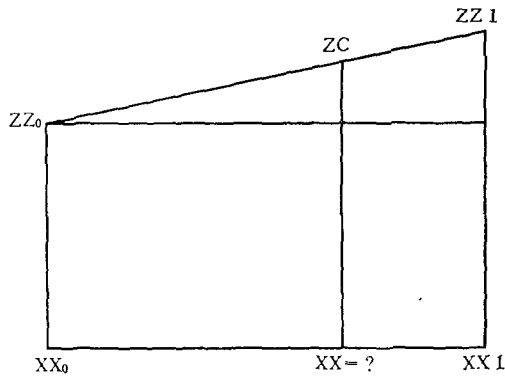


그림 4. 등고선 위치의 결정

3.3 프로그램의 구성 및 결과

數值等高線圖를 自動作成하는 概括的인 순서도가 그림 5에 나타나 있다.

그림 6.에서는 25m 격자망을 사용해서 작성한 1:5,000 等高線圖의 한 예이다.

한국측지학회지

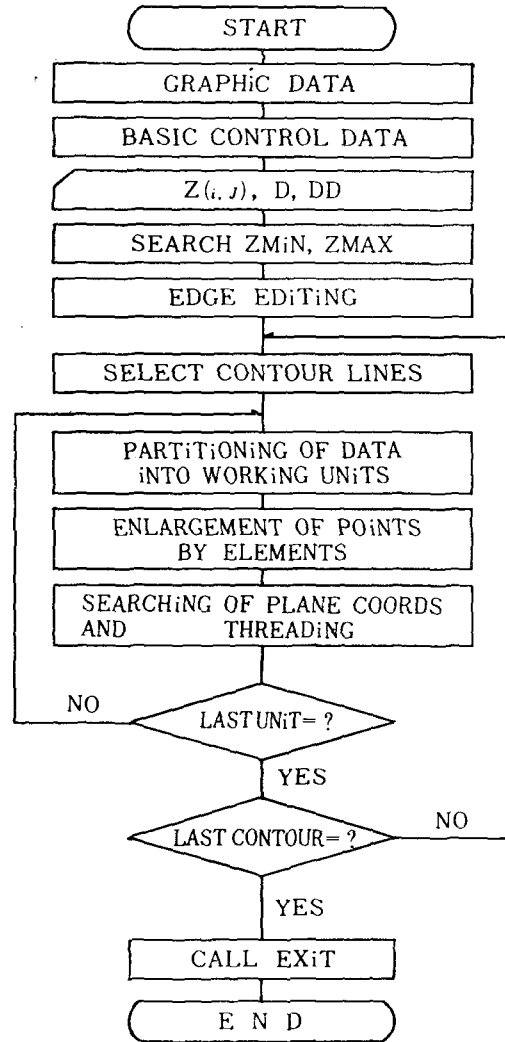


그림 5. 순서도

4. 數值等高의 誤差

等高線의 誤差를 表現하는 방법에는 經驗的인 方法(experimental approach), 각 단계별로 해석하고 단순계산을 위해 近似值를 사용함으로써 經驗要素가 생략되는 解析的인 方法(analytical or theoretical approach), 그리고 각 영향요소별로 分析하고 전체로써 表現하는 시뮬레이션(simulation) 方法이 있다. (15)

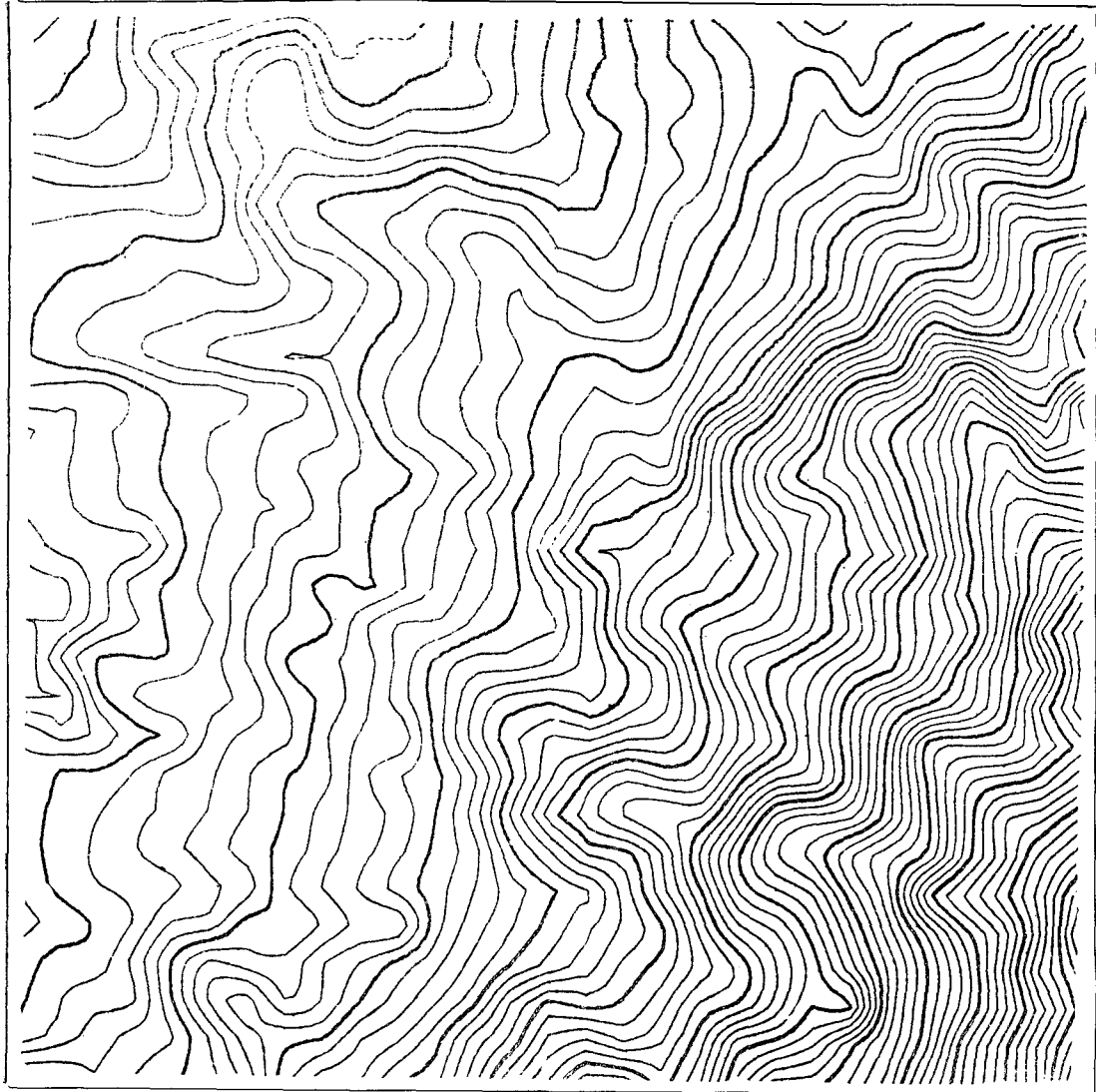


그림 6. 數值等高線圖(축척 1 : 5,000)

국내에서는 “等高線の測定精度는等高線間隔의 2분의 1이내이어야 한다.”로만 규정하고 있어⁽³²⁾ 첫 방법을 사용한다. 그러나, 미국과 구라파에서는 2번째의 방법인 10% 信賴度를 추가하고 있다. 이와 같은 經驗式에는 보통 正確度로 이용하게 되며, Koppe의 式이 대표적이다.⁽³³⁾⁽³¹⁾

$$\sigma_{HC} = \sigma_{H'} + \sigma_P \tan \alpha \quad (11)$$

$$\sigma_P = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (12)$$

本 研究에서는 同一한 標定상태의 航空사진모델상에서 데이터를 抽出했으므로, 최종결과간에 σ_P 만을 相對比較하였다.

즉, A-10 等高線을 오차가 없는 상태로(error free) 가정하고 圖上 0.5cm 격자선과 계곡선이 만나는 점의 값을 디지털링 한 후 數值等高線에 比較하였다. 이때 式 (12)의 경우와 같이 좌표측방향별로 분리하여 이용하였다.

補間誤差만을 구하기 위하여 3, 2, 1次式을 각

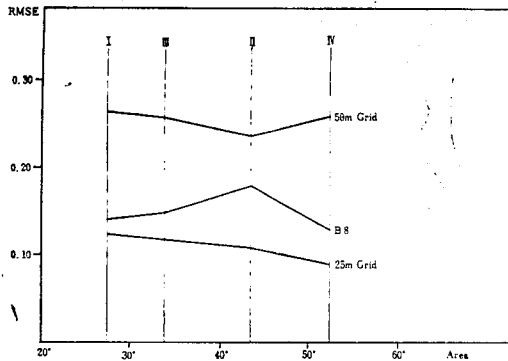


그림 7. 지역, 격자, 정확도

각 적용한 결과 0.97m, 1.06m, 1.39m의 평균 오차(RMSE)가 있었다. 이로부터 식 (8)의 D 를 사용한 補間이 매우 효율적이며 Leberl(1973)의 결과와 일치하는 것이 확인되었다. (오차차 6~8.5%)

數值等高線間의 比較에서는, 작성소비 시간에 서 25m 격자가 6.2', 50m 격자가 3.4' 걸렸으며 오차는 25m가 0.14cm, 50m가 0.28cm로 나타났다. 이는 약 2배의 영향이 있음을 보여준다. 數值等高線과 一般等高線을 相對比較한 결과는 그림 7에서와 같이 거의 同等한 正確度를 갖고 있음을 알 수 있다.

100m 격자로서 보간을 실시한 결과 I 지역 (Bibubic의 경우 4.5m)이 IV 지역(9.0m)보다 50% 높은 正確度를 갖는 것이 확인되었으나 대표본에 대한 연구가 필요할 것이다.

5. 結 論

本 研究에서는 標本地域에 대하여 수치지형 모델(DTM)에 의한 數值等高線圖를 自動作成하였으며, 도화기로부터 직접 작성한 等高線에 相對比較하였다.

결과를 요약하면 다음과 같다.

① 식 (8)의 D 에 의한 有限要素 概念의 補間이 매우 效率的이다.

② 補間誤差는 項의 次數를 높일수록 약간 우세하며, 차이는 6~8.5%로서 方法間에는 영향이 크지 않다는 Leberl(1973)의 결과와 일치한

다.

③ 100m 격자를 이용한 補間결과는 I 지역이 IV 지역보다 50%의 더 높은 正確度를 보이며 이는 지형특성에 따른 영향이 크음을 보여준다. 그러나, 大標本에 대한 研究가 더 필요하다.

④ 25m 격자에 의한 數值等高線이 50m보다 作成時間에서 약 2배, 正確度에서 약 1/2값을 갖는다.

⑤ 一般等高線에 σ_P 만을 相對比較한 결과 數值等高線이 거의 同等한 正確度를 갖는다.

謝 辭

本 研究가 可能하도록 데이터 抽出에 協조해 준 國立地理院 關係者 여러분에게 深甚한 謝意를 表하는 바이다.

參考文獻

1. Miller, C.L., "The Spatial Model Concept of Photogrammetry", PE, 23 : 1, 1957, pp.31~35.
2. Miller, C.L. and R.A. Laflamme, "The Digital Terrain Model-Theory & Application", PE. 24 : 3, 1958, pp.433~442.
3. Ackermann, F., "Experimental Investigation into the Accuracy of Contouring from DTM", PE & RS, 44 : 12, 1978, pp.1537~1548.
4. ASP, "Proc. of DTM Symposium", St. Louis, 1978.
5. Allam, M.A., "DTM Application in Topographic Mapping", PE & RS, 44 : 12, 1978, pp.1513~1520.
6. Kraus, K., "A General Digital Terrain Model; theory and applications", WILD-SCOP, Wild Heerbrugg, 1973 (Stuttgart Contour Program)
7. 白股基, "トジトマップ方式を用いて表現した地形モデルとその應用に關する研究", 東京大學, 1974.
8. 朝倉堅五, "トジトを用いた等高線圖の自動作成に關する研究", 寫眞測量, 13 : 3, 1974, pp.7~17.
9. Zuylen, L. van, "Developments in Automation in Cartography", ITC Journal, 1977-2, pp.325~335.
10. ASP, "Manual of Photogrammetry", 1981(4th ed.) Chap. 13, Chap. 7.
11. Ebner, H. and P. Reiss, "Height Interpolation by the Method of Finite Elements", presented at ISP comm. III. Moscow, 1978.

12. Ebner, H., "Principle, Realization and Operational use of Height Interpolation by Finite Elements," presented paper at Symposium on DEM and Orthophoto Technology, Univ. of Queensland, Australia, 1981.
13. Leberl, F., "Interpolation in Square Grid DTM", ITC Journal, 1973-5, pp.736~807.
14. SAM Thompson, L.G. "Digitizing and Automated Output Mapping Error", PE & RS, 47 : 10, 1981, pp.1455~1457.
15. van der wheels, A.J., "Accuracy Models", ITC lecture note, 1979.
16. Clarke, A.L., A. Gruen and J.C. Loon, "The Application of Contour Data for Generating High Fidelity Grid Digital Elevation Models", proc of the ASP AUTO 5, 1982, pp.213~222.
17. Stafanovic, P., M.M. Radwan and K. Tempfli, (panel discussion) "Digital Terrain Model", ITC Journal 1977-1, pp.61~76.
18. Collins, S.H., "Algorithms for Dense Digital Terrain Models", PE & RS 47 : 1, 1981, pp.71~76.
19. Mark, D.M., "Concept of 'DATA STRUCTURE' For Digital Terrain Models", proc. of the ASP, DTM SYMPOSIUM, St. louis 1978, pp. 24~30.
20. Makarovic, B., "Progressive Sampling for Digital Terrain Models", ITC Journal, 1973-3, pp. 397~416.
21. 李石贊·曹圭田, "數值地形模型에 관한 研究", 대한토목학회 논문집, 1982년 3월, pp.93~104.
22. Doyle, F.J., "Digital Terrian Models; an Overviews", PE & RS, 44 : 12, 1978, pp.1481~1485.
23. Peucker, T.K., "Digital Terrain Models ; an overview", proc. of the ASP, AUTO CARTO IV(vol.1), Reston, 1979. pp.97~107.
24. Stranger, T.K., "The Stuttgart Contour Program: Description and Results", Wild-SCOP, WILD, 1973.
25. Jancaitis, J.R. and J.L. Junkins, "Modelling Irregular Surfaces", PE & RS, 39 : 4, 1973, pp. 413~420.
26. Peucker, T.K. and R.J. Fowler and J.J. Little, "The Triangulated Irregular Network", proc. of the ASP, AUTO CARTO IV, (vol.2) 1979, pp.96~103.
27. MacDougall, E.B., "Computer Program for Spatial Problems", Arnold, 1976.
28. Schut, G.H., "Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Models", the Canadian Surveyor, 30 : 5, 1976, presented paper at ISP comm. III, Helsinki.
29. Zinkiewicz, O.C., "the Finite Element Method", Mcgraw-hill, 1977 (3th. ed.), pp.148~168, pp. 195~229.
30. Murchison, D.E., Surveying and Photogrammetry", Newnes-Butterworths. 1977, pp.91~99.
31. 李榮鎮, "수치지형모델 理論 및 應用에 關한 研究", 서울市立大學, 1983년 1월.
32. 建設部, "건설부 공공측량 표준작업규정", 1976.
33. Ghosh, S.K., "Analytical Photogrammetry", Pergamon press, 1979, pp.39~59, p.60, pp. 126~130.
34. 村井俊治, "地形의 數量化", 日本土木學會誌, 1973年 1月, pp.73~99.