

수치지형모델에 있어서 지형분류와 보간에 관한연구 A Study on Terrain Classification and Interpolation in Digital Terrain Model

柳 福 模* 權 現**
Yeu Bock-Mo Kwon Hyon
金 仁 燮***
Kim In-Sup

要 旨

본 연구에서는 규칙격자형태의 자료에서 수치지형모델의 보간법이 적절히 적용될 수 있는 지형의 정량적분류 변수를 제시하고, 이 변수를 사용하여 군집분석함으로써 객관적인 지형분류를 확립하며, 또한 지형의 분류변수에 의한 판별 분석으로 임의의 지형이 분류된 지형군 중 어느 지형에 속하는지 판별하여 지형특성에 적절한 보간법을 적용하는 데에 그 목적이 있다.

본 연구에서 지형분류는 수평면적에 대한 경사면적의 비와 조화벡터량의 두 변수를 사용하여 대상지형을 3개의 지형군으로 나눌 수 있었다. 3개의 지형군은 판별함수식으로 구별할 수 있었으며, 임의의 지형에 대해 수평면적에 대한 경사면적의 비와 조화벡터량을 구하고, 판별함수를 이용하여 지형특성에 맞는 보간법을 적용할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper the quantitative classification parameters of terrain which can be practicable to the interpolation of digital terrain model forming a regular grid pattern have been suggested and objective terrain classification have been established by making a cluster analysis using these parameters. Also, interpolation suitable to the classification of terrain has been used by making a discriminant analysis from description parameters of terrains.

The terrain classification in this paper was dependent upon two parameters of the ratio horizontal area to inclined area and the magnitude of harmonic vectors. And the studing area was seperated to three groups of terrains by these two parameters. Three groups of terrains could be classified into the discriminant functions.

By determining the ratio of area and harmonic vector magnitude in any terrains using the above discriminant function, it was possible to discriminate the terrains to apply the interpolation practicable to the terrain characteristics.

1. 서 론

수치지형모델의 정확도는 자료취득방법과 보간법에 크게 영향을 받으며, 기본자료취득방법에 있어서 일반적으로 규칙격자형태로 자료를

취득하는 것이 가장 효율적인 것으로 평가되고 있다.¹⁾ 그러나 규칙격자형태를 무한히 조밀하게 하기는 불가능하므로 격자형으로 얻어진 자료에 대한 적절한 보간은 수치지형모델의 이용에 앞서 기본적이고, 공통적으로 처리되어야 하는 과정이다. 이때 재현된 지형이 실제 지형에 가장 접근할수 있는 보간법이 요구되며, 지형의 기복상태는 복잡하고, 다양하므로 지형의 특성에 따라 가장 적합한 보간법이 적용되어야 한

* 연세대학교 공과대학 교수
** 연세대학교 산업기술연구소 객원연구원
*** 단국대학교 박사과정

다.

그러나 많은 연구자들이 지형을 주관적인 판단으로 분류하여 평면지형, 기복지형, 산악지형 등으로 나누어 왔지만, 보간법의 정확도는 지형의 기복상태와 자료의 밀도에 우선적으로 영향을 받게되므로, 지형을 객관적인 방법으로 분류하는 것에 대한 관심이 높아지고 있다.

지형분류에 대한 연구는 1969년 Silar가 breakline을 이용하여, 4개등급으로 분류하였으며,²⁾ 1976년 Ayeni가 Harmonic vector magnitude 등의 변수를 이용하였고,³⁾ 1984년 Fredriksen과 Jacobi 등이 지형의 Fourier Spectra로부터 Spectrum의 경사와 파장의 spectral value를 이용하여, 지형학적 분류를 하고, 여기서 사진측량학 등의 대측척도에 적용될 수 있는 지형분류 및 보간법의 타당성이 연구될 것을 제의하고 있다.^{4),5)} 1988년 Crespi, Forlani 등은 지형의 군집분석에서 deterministic 방법이나 stochastic 방법 모두 자료의 전처리과정으로 지형의 분류가 있어야 좋은 결과를 얻을 수 있음을 주장하였다.⁶⁾

따라서 본 연구에서는 지형을 수치적으로 묘사할 수 있는 변수를 고찰하고 정량적변수에 의한 군집분석에 의하여 지형을 객관적으로 분류한 다음, 각 지형군에 적합한 보간방법과 지형군에 대한 판별함수를 구함으로써 지형의 경사 및 기복변화량의 특성에 맞는 보간방법을 적용하여, 수치지형모델의 정확도를 향상시키는 데 그 목적이 있다.

2. 지형의 분류

(1) 지형의 분류방법

수치지형모델의 기본자료원은 지형기복 그 자체이거나, 지형기복이 사진측량학적 모델이 되므로 수치지형모델의 자료의 추출과 수치자료의 연속적인 형태를 분석하기 위하여 지형기복 상태에 따른 적절한 분류가 필요하다.⁷⁾

지형의 분류는 정성적인 방법, 정량적인 방법 및 두 방법을 병행하여 분류하는 방법 등에 의해 접근될 수 있다. 정성적인 방법은 대상지형

의 전반적인 파악을 육안에 의해 하는 것으로서, 주관적인 판단으로 이루어지며, 상세한 부분은 지형의 특성을 잘 구별할 수 있는 경험이 풍부한 숙련자가 판단하여야 한다. 수치지형모델의 연구에서 많은 연구자들이 주관적인 판단에 의해 대상 지형을 평지, 구릉지, 산악지 및 인위적인 지형 등으로 분류하여 왔다. 지형의 분류를 주관적으로 판단함으로써 지형형태에 따른 자료 취득 방법에 대한 평가와 지형기복등급에 따른 자료의 보간 결과에 대한 평가 등을 고려하지 못한 경우가 많았다.⁸⁾

정량적인 방법은 지형기복 상태를 수치적으로 표시할 수 있는 변수로 지형을 묘사하고 이 변수값들로부터 지형을 수치화된 양으로서 객관적인 판단을 할 수 있게 한다. 지형을 정량적인 방법으로 묘사하는 데에는 지형자체가 아주 복잡하고, 다양한 특성을 갖고 있기 때문에 수많은 변수들이 사용될 수 있으므로 지형을 묘사하는 데 사용될 수 있는 변수들은 Hubson에 따르면 다음의 몇가지 조건을 만족하여야 한다.⁹⁾ 첫째, 변수들은 지형의 물리적특성을 가능한 한 개념적으로 묘사할 수 있어야 하고, 둘째, 변수들은 수치형태로 쉽게 관측가능 하여야 하고, 수치적 통계적 해석에 적합하여야 하며, 셋째, 변수들은 축척이 다른 경우에도 서로 비교될 수 있어야한다.

혼합적인 방법은 정성적인 방법이 개인의 판단에 따라 지형형태가 달라지며, 정량적인 방법이 선택되는 변수에 따라 달라지고, 변수 자체의 절대성도 문제가 되기 때문에 두 방법을 병행하여 분류하는 방법이다.¹⁰⁾

(2) 지형묘사를 위한 매개변수

1) 수평면적에 대한 표면적의 비율

기지점(X, Y)에 대한 수평면적에 비해 표면적은 지형의 기복이 심한 경우 증가한다는 가정으로부터 지표면의 변화상태를 묘사하는 변수로 사용할 수 있다.

수평면적 A는 폭과 길이의 곱으로 간단히 구할 수 있지만, 표면적 A'는 많은 방법에 의해 구할 수 있다. 본 연구에서는 정사각형 격자형

태로 얻은 자료점으로 부터 삼각형 조각으로 나누고, 삼각형의 경사길이로 부터 표면적을 계산하였다. 즉 주어진 네개의 격자점으로 부터 가장 높은 표고를 갖는 점으로 부터 대각선 형태로 삼각형을 분할 하였다. 분할된 삼각형으로 부터 삼각형의 경사길이를 구하고 표면적 A'는 다음식으로 구하였다.

$$A' = \sum_{i=1}^m \sqrt{(s_i - s_{i_1})(s_i - s_{i_2})(s_i - s_{i_3})} \quad (2-1)$$

단, $s_i = 1/2(s_{i_1} + s_{i_2} + s_{i_3})$ 이며, $s_{i_1}, s_{i_2}, s_{i_3}$ 는 각 삼각형에서 각 변의 경사길이다.

수평면적에 대한 경사면적의 비 A'/A의 평균과 분산을 지형기복의 묘사변수로 사용하였다.

2) 조화벡터크기

조화벡터크기(Harmonic Vector Magnitude)는 m과 n항으로 된 Fourier 계수의 제곱합에 대한 제곱근으로 정의한다.

지형표면묘사에 사용되는 Fourier 계수들을 갖는 수학적함수를

$$Z = a_1 + a_2x + a_3y + f(x, y) \quad (2-2)$$

여기서, $f(x, y)$

$$\begin{aligned} &= \left\{ \sum_i^m \sum_j^n \left(CC_{ij} \cos \frac{2\pi ix}{M} \cos \frac{2\pi jy}{N} \right) \right. \\ &+ \sum_i^m \sum_j^n \left(CC_{ij} \cos \frac{2\pi ix}{M} \sin \frac{2\pi jy}{N} \right) \\ &+ \sum_i^m \sum_j^n \left(CC_{ij} \sin \frac{2\pi ix}{M} \cos \frac{2\pi jy}{N} \right) \\ &\left. + \sum_i^m \sum_j^n \left(CC_{ij} \sin \frac{2\pi ix}{M} \sin \frac{2\pi jy}{N} \right) \right\} \lambda_{ij} \end{aligned} \quad (2-3)$$

으로 표시한다. 여기서, λ_{ij} 는 축척계수이다.

식 (2-2)는 $Z = a_1 + a_2x + a_3y$ 로 정의된 평면으로 부터 표면의 편차를 Double Fourier Series로 근사시키는 것으로서 지형표면의 형태를 제공한다.

(3) 지형분류의 통계적 방법

두류는 복잡 다양하게 뒤섞인 사실들을 간결성과 순서를 도입하여 공통된 특성에 따라 일련의 변수들을 묶는 과학의 기본적인 방법론의 하나이다. 지형의 분류에 대한 좋은 시스템을 갖도록 하기 위해서는 다음과 같은 몇 가지 사항

이 규정되어야 한다.¹¹⁾ 첫째, 논리적이고 간결하고 순서적이어야 한다. 둘째, 상호 유일하고 계층이 겹치지 않아야 하며, 계층은 한정적이어야 한다. 셋째, 모든것이 포함 되어야 하며, 각 항목이 모집단의 범주를 벗어나지 않아야 된다. 넷째, 분류에 사용되는 용어들은 간결하고 알기 쉬워야 하며, 지형의 특성을 물리적으로 표시하여야 한다. 다섯째, 분류는 가능한한 객관성을 가져야 하므로 지형의 정량적 특성에 근거를 두어야 한다. 그리고 분류는 통계적 해석과 군집이론에 기초를 두어야한다. 여섯째, 분류가 수치지형모델에 적용될 수 있어야한다. 예를 들어 지형의 분류에 따라 독특한 보간법이 적용되는 것 등이다.

분류는 사용되는 기준에 따라 달라질 수도 있으며, 분류를 평가하게 되는 기준은 다변량 분산분석(MANOVA)에 사용되는 양에 근거를 둔다.

MANOVA의 선형모형은 다음과 같게 된다.¹²⁾

$$X_{ki} = m + (m_k - m) + (X_{ki} - m_k) \quad (2-4)$$

여기서, X_{ki} 는 k번째 표본에서 i번째 대상에 대한 종속벡터변수이며, $k=1, 2, \dots, g$ 로 g는 표본의 수이다. m은 전체변수의 평균이며, m_k 는 표본 k에 대한 평균이다. 전체 표본의 모든 대상에 대해 점수벡터와 그 두 분할은 제곱합과 곱한 것을 합하면 MANOVA의 기본적인 분할이론은

$$\begin{aligned} &\sum_{k=1}^g \sum_{i=1}^{n_k} (X_{ki} - m)(X_{ki} - m)' \\ &= \sum_{k=1}^g \sum_{i=1}^{n_k} (m_k - m)(m_k - m)' \\ &+ \sum_{k=1}^g \sum_{i=1}^{n_k} (X_{ki} - m)(X_{ki} - m_k)' \end{aligned} \quad (2-5)$$

가 된다. 좌변은 총변동(T), 우변의 첫째항은 급간변동(B), 두번째항은 급내변동(W)로 표시하면, 이들로 부터 기본분할 교식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$T = W + B \quad (2-6)$$

표본 x가 군집 C_i 에 속하는 것을 $x \in C_i$ 로 표시하고, 군집이 1개이면

$$W = W_1 + W_2 + \dots + W_i \quad (2-7)$$

이 되고, 이것은 균집내의 변동의 합을 표시하는 행렬로써 균집분석에서 가능하면 균집내의 변동을 작게 하여야 하며, 각 균집간의 급간변동 B는 가능한한 크게 하여야 한다.¹³⁾

3. DTM 을 위한 보간방법

(1) Spline 보간공식

Spline 보간은 주어진 좌표점을 소구간으로 나누어 각 소구간에서 사용되는 차수가 낮은 다항식으로 차례로 이어가는 방법이다.

주어진 구간 $[a, b]$ 가 $a=x_1 < x_2 < x_3 \dots < x_n = b$ 와 같이 $(n-1)$ 개의 소구간으로 이루어져 있을 때 차수 k 인 Spline 함수 $s(x)$ 는 소구간 $[x_i, x_{i+1}]$ 에서 k 차 이하의 다항식으로 표시되고, $s'(x)$, $s''(x)$, $s'''(x), \dots, s^{k-1}(x)$ 등의 도함수가 구간 $[a, b]$ 에서 연속이어야 한다.

이 조건을 만족하는 최소의 차수가 3차이므로 3차 Spline 함수가 일반적으로 적용된다. 점 (x_i, y_i) 와 점 (x_{i+1}, y_{i+1}) 로 주어지는 i 번째 소구간에 대한 3차식은

$$z = s(x) = a_i(x-x_i)^3 + b_i(x-x_i)^2 + c_i(x-x_i) + d_i \quad (3-1)$$

단, $x_i < x < x_{i+1}$

으로 표시할 수 있다. 이때 i 번째 소 구간의 계수들은 $h_i = x_{i+1} - x_i$ 일때

$$\left. \begin{aligned} a_i &= \frac{s''(x_i) - s''(x_{i+1})}{6h_i} \\ b_i &= \frac{s''(x_i)}{2} \\ c_i &= \frac{z_{i+1} - z_i}{h_i} - \frac{2h_i s''(x_i) + h_i s''(x_{i+1})}{6} \\ d_i &= z_i \end{aligned} \right\} \quad (3-2)$$

로 계산된다. 여기서 $s'(x_i)$ 와 $s''(x_{i+1})$ 는 각각 점 x_i 와 x_{i+1} 에서의 2차도함수이다.

(2) 16-term bicubic 다항식

이 식은

$$Z = [1 \ x \ x^2 \ x^3] \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} & a_{03} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{30} & a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ y \\ y^2 \\ y^3 \end{bmatrix} \quad (3-3)$$

으로 표시되며, Bosman 등이 이용하였다. 격자점의 표고와 3개의 도함수로 부터 한 격자망내의 매개변수를 구한다. 1차 도함수인 Zx 와 Zy 는 각각 x 와 y 방향에 대한 표면의 경사로써 식 (3-3)으로부터 벡터 x, y 를 각각 x, y 좌표에 관해 미분하여 얻어지며, 두번째 도함수 Zxy 는 x, y 벡터 모두에 대해 미분해서 얻어진다.

이 다항식에서 두개의 인접표면에 대해서 공통인 경계면의 형상은 x 혹은 y 에 관한 3차 다항식으로 각 다항식은 경계면 끝부분에서 두개의 격자절점과 이들 절점에서 경계면 방향으로의 경사나 두개의 1차 도함수들에 의해 결정된다. 따라서 두개의 다항식은 일치하며, 전체적인 다항식표면은 연속이 된다.

(3) 곡률을 고려한 고차 격자요소별 보간식

2차원 곡면으로 표시하는 다항식 (3-3)에서 한격자점 내에서의 곡면식으로 표시 하기 위해서는 격자점의 표고 4, x 와 y 에 대한 1차 도함수 각 4, x, y 에 대한 도함수 4로 16-term 을 갖는 bicubic 다항식이 최고의 차수로 이용되었다.

이것은 격자와 격자주변의 경사를 고려한 함수로서 곡률의 변화가 심한 지형에서 곡률의 변화를 고려하지 못한다. 따라서 격자주변의 곡률의 변화를 고려할 수 있는 24-term 의 고차다항식을 고려하였다.

24-term 의 다항식은 다음으로 표시된다.

$$Z = [1 \ x \ x^2 \ x^3] \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} & a_{03} & a_{04} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{30} & a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ y \\ y^2 \\ y^3 \\ y^4 \end{bmatrix} \quad (3-4)$$

4. 지형자료 관측 및 결과분석

(1) 지형자료관측 및 분류변수값

본 연구에서는 항공사진 및 대축척지형도 등에서 취득할 수 있는 수치지형모델에 적용할 수 있도록 지형을 분류하기 위하여 소규모 지형물 사진측량에 의한 입체도화기상 및 지형도면으로

표 1. 관측지형 및 지형분류변수값

지형	표고	격자간격	등고선간격	관측크기	넓이	면적비	조화벡터량
T 1	12.5~ 16.5	2	0.5	19×19	1296	1.895	0.272
T 2	46.5~ 71.5	2	1	31×31	3600	6.998	1.452
T 3	38.8~ 50.7	2	1	31×31	3600	2.833	0.585
T 4	12.0~ 34.1	2	1	31×31	3600	5.414	1.121
T 5	38.8~ 71.5	2	1	61×61	14400	4.519	0.043
T 6	7.0~146.0	2	5	11×11	40000	34.557	16.085
T 7	49.8~166.9	20	5	37×35	122400	15.028	6.595
T 8	273.1~325.7	10	2	25×25	57600	12.595	25.494
T 9	222.1~304.1	10	5	40×40	608400	1.301	4.683
T10	222.4~308.6	20	5	40×40	608400	2.820	5.615
T11	229.4~393.9	20	5	40×40	608400	2.214	7.026
T12	222.1~428.4	20	5	40×40	608400	7.093	12.778
T13	222.7~455.0	20	5	40×40	608400	6.340	13.493
T14	222.4~397.0	20	5	40×40	608400	5.768	11.917
T15	338.7~618.6	20	5	40×40	608400	7.122	14.575
T16	343.6~701.0	20	5	40×40	608400	9.395	17.497

부터 자료를 취득하였다.

T1-T5 지형은 사진측척 1/6,000의 항공사진으로 부터 정밀도화기 A10을 이용하여 격자간격 2m로 취득하였다. T6 지형은 1/5,000 지형도로부터 20m 간격으로 관측한 자료이며, T7-T8 지형은 격자간격 10m의 자료이다. T9-T16 지형은 사진측척 1/20,000의 사진으로부터 격자간격 20m로 취득한 자료이다.

이들 자료에 대한 지형개요와 지형분류변수인 면적비(RA)와 조화벡터량(HVM)의 값은 표 4-1과 같다.

(2) 결과분석

1) 지형분류와 지형군에 적합한 보간법

수치지형모델의 정확도는 기복상태와 자료의 수집밀도에 우선적으로 의존하게 되지만 어떠한 형태로는 수집된 자료에 대해서 보다 정확한 자료로 활용하기 위해서는 지형에 맞는 보간법을 적용할 필요가 있다. 대상지역에 대한 보간법 적용결과는 표 4-2와 같다.

면적비(RA)와 조화벡터량(HVM)의 두변수를 사용하여 대상지역을 군집분석한 결과, 분류된 지형군에 적절한 보간법이 적용됨을 알 수 있다. 이 결과는 표 3 및 그림 1과 같으며, 여

표 2. 지형별 보간법 적용결과

지형	CS	P16	P24
T 1	0.254	0.204	0.213
T 2	0.476	0.445	0.446
T 3	0.534	0.530	0.540
T 4	0.619	0.325	0.328
T 5	0.590	0.527	0.616
T 6	3.955	3.466	3.446
T 7	1.191	1.493	1.582
T 8	1.660	1.730	1.740
T 9	0.924	0.855	0.838
T10	1.127	1.124	1.038
T11	1.088	1.060	1.002
T12	2.327	2.523	2.450
T13	1.544	2.166	1.878
T14	1.716	1.841	1.772
T15	1.925	2.272	1.931
T16	1.749	1.902	1.774

* CS : Cubic spline method

* P16 : Patchwise-16 term polynomial

* P24 : Patchwise-24 term polynomial

기서 (I)군은 면적비가 7.0까지의 준경사지에 조화벡터량이 2.0 이하의 기복변화량이 적은 즉 준경사지의 기복 변화가 작은 지형으로 표시되며 보간식은 patch-16 term 이 이 군집에서 잘 적합되고, (II)군은 면적비가 3.0 이하의 완경사지에 기복변화량이 8.0까지의 기복변화량이

표 3. 면적비와 조화벡터량의 조합에 의한 분류와 보간식

군	지형	RA	HVM	보간식		
I	T 1	1.985	0.272	P16	P24	CS
	T 2	6.998	1.452	P16	P24	CS
	T 3	2.833	0.585	P16	S	P24
	T 4	5.414	1.121	P16	P24	CS
	T 5	4.519	1.043	P16	S	P24
II	T 9	1.301	4.683	P24	P16	CS
	T10	2.820	5.615	P24	P16	CS
	T11	2.214	7.026	P24	P16	CS
III	T 6	34.557	16.085	P24	P16	CS
	T 7	15.028	6.596	CS	P16	P24
	T 8	12.595	25.494	CS	P16	P24
	T12	7.093	12.778	CS	P24	P16
	T13	6.340	13.494	CS	P24	P16
	T14	5.768	11.917	CS	P24	P16
	T15	7.712	14.572	CS	P24	P16
	T16	9.395	17.497	CS	P24	P16

있는 즉 완경사지의 기복변화량이 있는 지형으로, 보간식은 patch-24 term의 곡률을 고려한 보간식이 잘 적합되며, (III)군은 경사와 곡률 변화량이 큰 지형으로 spline 보간식이 잘 적용

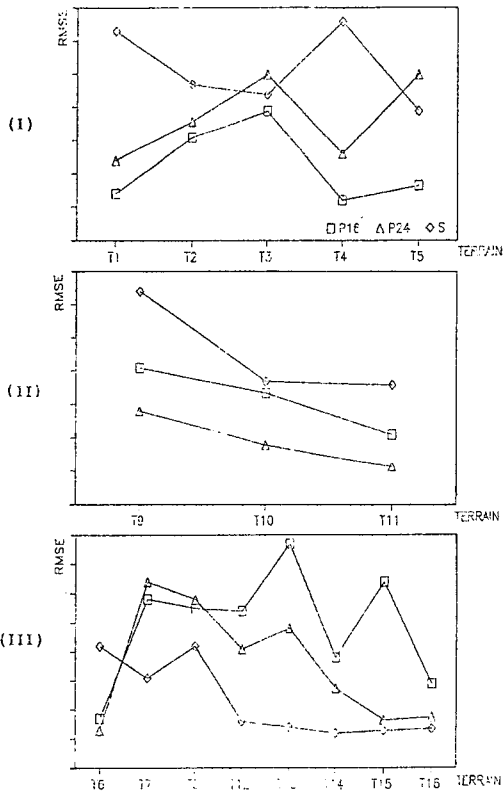


그림 1. 면적비와 조화벡터량의 조합에 의한 분류와 보간식의 관계

표 4. 각 지형군에 최적인 보간식을 적용한 경우의 RMSE

지형군	P16	DC	DEL	
I	T 1	0.204	0.204	—
	T 2	0.445	0.445	—
	T 3	0.530	0.530	—
	T 4	0.325	0.325	—
	T 5	0.527	0.527	—
II	T 9	0.855	0.838	0.017
	T10	1.124	1.308	0.086
	T11	1.060	1.002	0.058
III	T 6	3.466	3.446	0.020
	T 7	1.493	1.191	0.302
	T 8	1.703	1.660	0.043
	T12	2.523	2.327	0.196
	T13	2.166	1.544	0.622
	T14	1.847	1.716	0.131
	T15	2.272	1.925	0.347
	T16	1.902	1.749	0.153

P16 : patch-16 bicubic 보간식에 의한 RMSE
 DC : 각 지형군에 적합한 보간식에 의한 RMSE

됨을 알 수 있었다.

군집분석결과로 각 지형군에서 가장 잘 맞는 보간법을 적용시키면 표 (4-4)에서 각 지형군에 patch-16 term 보간식을 일률적으로 적용시킨 경우보다 (Ⅱ)군에서 1.9%~7.6%, (Ⅲ)군에서 0.6%~28.7%로 정확도가 향상됨을 알 수 있었다.

2) 판별분석에 의한 지형의 분류 및 보간식 적용

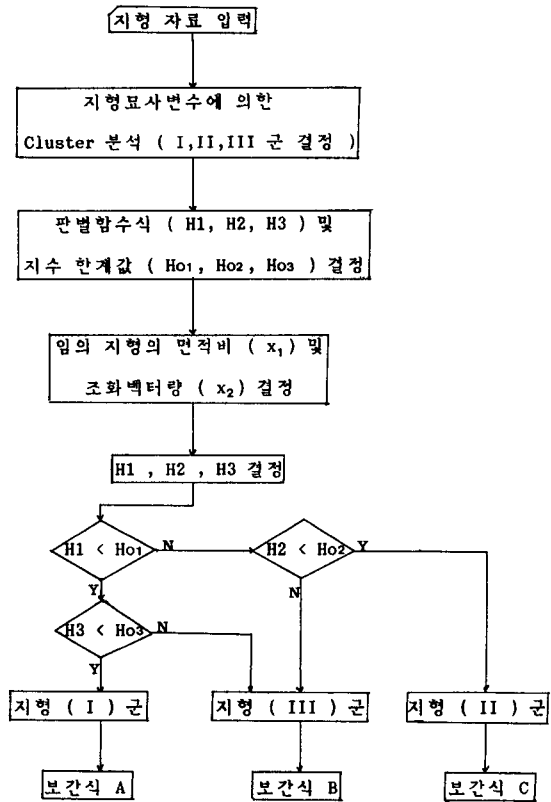
위와같이 분류된 군집으로부터 어떤 임의의 지형이 지형표사변수에 따라서 어느 군집에 속하는가를 판별하므로써 그 지형에 적합한 보간식을 선택할 수 있도록 객관적인 판별방식을 적용하였다. 표 (4-3)에 의해 (Ⅰ), (Ⅱ), (Ⅲ)군에 대한 판별함수를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & (Ⅰ, Ⅱ) ; H_1 = -0.715x_1 + 2.246x_2, \\
 & \quad \quad H_{01} = 5.186 \\
 & (Ⅱ, Ⅲ) ; H_2 = 0.013x_1 + 0.041x_2, \\
 & \quad \quad H_{02} = 0.516 \\
 & (Ⅰ, Ⅲ) ; H_3 = 0.008x_1 + 0.046x_2, \\
 & \quad \quad H_{03} = 0.583 \quad (4-1)
 \end{aligned}$$

식(4-1)에서 $H_{0i} = 1, 2, 3$ 은 자기 2군집간의 지수한계값을 표시하며, 임의 지형에 대한 면적비 (x_1)와 조화벡터량(x_2)의 크기가 구해지면 식(4-1)에서 H_1, H_2, H_3 의 값을 구하고 지수한계값을 기준으로 임의의 지형을 (Ⅰ), (Ⅱ), (Ⅲ)군 중의 하나로 분류할 수 있다. 그리고 판별 분석에 의해 지형이 분류되면 표(4-5)에서처럼 각 지형의 특성에 맞는 보간식을 적용할 수 있다. 판별함수법에 의한 보간식 적용의 흐름도는 그림 (4-2)와 같다.

임의의 지형에 대해서 면적비와 조화벡터량의 두 변수로서 지형을 정량적으로 표시하고, 그림 (4-2)의 흐름과 같이 판별분석으로 지형의 특성에 맞는 보간식이 적합되는지 알아보기 위해서 7개의 지형을 선택하여 면적비 및 조화벡터량을 구하고, 보간법을 적용한 결과는 표 (4-5)와 같다.

이 표로부터 TS2와 TS5 지형은 (Ⅰ)군 지형으로 분류되었으며, patch-24 term 지형의 보간식이 적합되었으며, TS1과 TS3 지형은 (Ⅲ)



군지형으로 patch-16 term 보간식이 적합됨을 알 수 있다. 그러나 TS7 지형은 (Ⅱ)군에 속하지만 보간식은 patch-16 term이 적합되었다. 따라서 본 연구에서 제시된 지형표사변수에 의해 임의의 7 지형 중 6 지형이 분류된 지형군에서의 보간식이 적합되었다.

5. 결 론

본 연구는 수치지형모델의 정확도를 향상시키기 위해, 지형의 형태를 수치적으로 묘사할 수 있는 매개변수인 면적비와 조화벡터량을 도입하여 지형을 분류하고, 분류된 지형군별로 적정 보간식을 유도한 연구로서, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지형의 특성에 따라 적절한 보간법이 적용될 수 있는 지형의 객관적인 분류는 경사의 크기를 표시하는 수평면에 대한 경사면적의

표 5. 임의 지형의 판별분석 및 지형군 결정

지형	지형표사변수		$H_{01}=5.186$	$H_{02}=0.516$	$H_{03}=0.585$	지형군	보 간 법		
	5	10	I < II	II < III	I < III				
TS1	9.525	12.215	20.625	0.625	0.882	III	S	P 16	P 24
			II	III	III		2.022	2.302	2.355
TS2	1.980	0.549	-0.183	0.048	0.052	I	P 16	P 24	S
			I	II	I		0.330	0.351	0.364
TS3	10.697	15.142	26.361	0.760	1.085	III	S	P 24	P 16
			II	III	III		2.012	2.083	2.095
TS4	4.160	8.285	15.634	0.394	0.589	II	P 24	P 16	S
			II	II	III		0.956	0.967	1.459
TS5	3.634	0.790	-0.824	0.080	0.081	I	P 16	P 24	S
			I	III	I		0.587	0.740	0.741
TS6	1.855	5.780	10.914	0.249	0.377	II	P 24	P 16	S
			II	II	I		0.861	0.862	1.009
TS7	1.433	3.247	6.268	0.152	0.226	II	P 16	P 24	S
			II	II	I		1.165	1.218	1.459

비와 기복의 변화량을 표시하는 조화벡터량의 두 지형표사변수를 사용하여야함을 알 수 있었다.

2. 면적비 및 조화벡터량에 의해 지형을 세 개의 군으로 나누었으며, (I) 군에서는 patch-16 보간식, (II) 군에서는 patch-24 보간식, (III) 군에서는 spline 보간방법이 가장 잘 적합됨을 알 수 있었다.

3. 본 연구에 사용된 대상지형에 대하여 면적비 (x_1)와 조화벡터량(x_2)으로 판별 분석하면

$$(I, II); H_1 = -0.715x_1 + 2.246x_2,$$

$$H_{01} = 5.186$$

$$(II, III); H_2 = 0.013x_1 + 0.041x_2,$$

$$H_{02} = 0.516$$

$$(I, III); H_3 = 0.008x_1 + 0.046x_2,$$

$$H_{03} = 0.583$$

와 같은 판별식을 구할 수 있으며, 임의의 지형에 대해 이 판별식을 적용하여 지형을 분류하고, 지형군별로 적정보간식을 적용할

수 있었다.

본 연구는 1989년도 한국과학재단 연구비 지원으로 수행되었는 바, 동 재단에 심심한 사의를 표하는 바이다.

参考文献

1. Stefanovic, P., Radwan, M.M., and Tempfli, K., "Digital Terrain Model: Data acquisition, Processing and Application", ITC Journal, 1986, pp. 61-76.
2. Silar, F., "Die Interpolation der Hoher auf dem Digitalen Gelande Modelle in Beziehung zu der Klassifikation der Gelandeflachen und zu der zerlegun der knoten-Punkte", Conference on working group VI/1, ISP, Bratislava, 1969.
3. Ayeni, O.O., "Consideration for Automated Digital Terrain models with Application in Differntial Photo Mapping", Ph.D Dissertation, Ohio State University, 1976.
4. Frederikson, P., "Terrain Analysis and Accuracy Prediction by means of the Fourier Transformat-ion", XIV ISP Congress Commission VI, Presented Paper, Hamburg 1980, pp. 284-293.

5. Fredriksen, P., Jacobi, O. and Kubik, K., "Modelling and Classifying Terrain", XV ISP Congress Commission III, Invited Paper, Rio de Janeiro 1984, pp. 256-267.
6. Crespi, M., Forlani, G., Mussio, L., & Radicioni, F., "Terrain Classification by Cluster analysis", XVI ISP Congress Commission III, Presented Paper, Kyoto 1988, pp. 128-137.
7. Collins, S.H., "Algorithms for Dense Digital Terrain Models", PE & RS, Vol. 47 No. 1, January 1981, pp. 63-69.
8. Ayeni, O.O., "Objective Terrain Description and Classification for Digital Terrain Model", XIII ISP Congress Commission III, Presented Paper, Helsinki 1976, pp. 1-8. —
9. Hubson, R.D., "Fortran VI Programs to Determine Surface Roughness to Topography for CED 3400 Computer", Kansas Geological Survey Computer Contribution #14, 1967.
10. Makarovic, B., "A Digital Terrain Model System", ITC Journal, 1976-1, pp. 57-83.
11. Ayeni, O.O., "Automated Digital Terrain Models", DTM Symposium, St. Louis, Missouri, 1978, pp. 275-306.
12. Cooley, W.W., Lohnes, P.R., Multivariate Data Analysis, John Wiley & Sons, New York, 1971, pp. 223-229.
13. 杉山高一, 千葉芳雄, 吉岡茂, 應用多變量解析, インフォナホーミフナサイエンス東京, 1987, pp. 69-79.