

지형공간정보체계의 이용을 위한 불규칙삼각망 생성기법에 관한 연구

A Study on Triangulated Irregular Network Generation Method for GIS

유복모* · 장지원** · 윤정학***

Yeu, Bock-Mo · Jang, Ji-Won · Yun, Jeong-Hak

要 旨

본 연구는 최근 그 활용도가 증대되어가는 수치지형모형의 한 형태인 불규칙삼각망을 생성하고자하는 연구이다. 일반적으로 격자형 수치표고모형과 불규칙삼각망은 지형문제를 해결하기 위한 합리적인 방법이다. 그러나, 불규칙삼각망이 격자형 수치표고모형에 비해 자료의 저장에 용이하고, 불규칙한 간격을 가지는 표고 자료를 운용할 수 있는 편리한 자료구조를 가지고 있기 때문에 격자형 수치표고모형의 대안이 될 수 있다. 격자형 수치표고모형으로부터 불규칙삼각망을 생성하는 다양한 방법들이 제시되고, 이러한 자료를 바탕으로 최적의 삼각망을 생성하기 위한 여러가지의 연산법이 소개되고 있다. 본 연구에서는 새로운 삼각망 생성의 접근방법으로 표고와 가변거리의 연산법을 이용하였고, 인접 문제점을 해결하기 위해 보간점과 임의의 선을 첨가시키므로써 보다 더 실제지형과 가까운 불규칙삼각망을 생성할 수 있었고, 또한 효율적인 자료기반 구축을 가능하게 하여 지형공간정보체계의 활용성을 증대시킬 수 있었다.

ABSTRACT

This study aims to generate triangulated irregular network in a form of digital terrain model which is being increasingly used. In general, grid digital elevation model and triangulated irregular network are reasonable units for solving terrain problems. But, triangulated irregular network is an efficient alternative to grid digital elevation model because of their efficiency in storing data and their convenient data structure for accommodating irregularly spaced elevation data. Various methods represented for extracting triangulated irregular networks from grid digital elevation model, and then algorithm that get accurate results for triangulation with their data set was introduced. The new approach for triangulation in this study uses the Elevation and Changeable Distance criterion, and adding interpolation points and restricted constraint lines can generate triangulated irregular network which is more close to real surface. This made database efficient construction and could be used for many applications of geo-spatial information system.

1. 서 론

불규칙삼각망(Triangulated Irregular Network; TIN)이란 3차원적인 지형을 표현하기 위한 위상적인 자료구조로서, 표면의 자료 점들을 불규칙한 형태의 연속적인 삼각형 면으로 시각화시킨 자료구조이다.¹⁾

*연세대학교 토목공학과 교수

**목포대학교 토목공학과 부교수

***연세대학교 대학원 석사과정

일반적으로 지형공간정보체계(GIS)의 많은 응용 분야에서 사용되는 불규칙한 표고 점들로부터 지형의 형태를 구축하는 방법에는 점, 사각형, 삼각형, 등고선 그리고 퓨리에 변환을 이용하는 방법 등 여러가지 방법이 있다.²⁾ 이러한 방법들 중 사각형을 기반으로 하는 격자형 수치표고모형(Digital Elevation Model; DEM)과 삼각형을 기반으로 하는 불규칙삼각망과 같은 두 가지의 방법이 일반적으로 가장 합리적인 방법으로서 알려져 있으며 많이 유용 되고 있다. 이

러한 두 가지 방법 중 격자형 수치표고모형은 등간격의 표본 점들을 행렬(matrix)로 구성하여 지형을 표현하기 때문에 보통 처리속도가 빠른 반면에 단층 형태의 지형, 불규칙한 경계, 표면 내에 구멍을 가지고 있는 등의 지형에서는 격자들을 설정하기 어렵다. 그러나, 불규칙삼각망은 불규칙한 점, 선, 다각형 내에 각각의 중요한 정보를 포함하고 있기 때문에 지형의 기복이 심한 표면에서 보다 더 효과적으로 지형을 표현할 수 있으며 자료의 저장면에서도 더 효율적이다.³⁾ 따라서 본 연구에서는 이러한 지형표현과 자료의 저장면에서 보다 더 효과적인 불규칙삼각망의 여러 생성기법에 대해 고찰하며, 기존의 불규칙삼각망 생성 연산법을 보완하는 새로운 불규칙삼각망 프로그램을 작성하여 지형공간정보체계 및 항공사진측량의 많은 응용분야에서 유용하게 이용될 수 있도록 하고자 하였다.

2. 수치지형모형과 불규칙삼각망

2.1 수치지형모형과 자료취득

수치지형모형이란 지형이 가지는 속성의 공간적인 분포들을 표현하기 위한 모형을 말한다. 수치지형모형은 1950년대 이래로 지형과 관련된 수많은 응용분야에 있어서 기초가 되어 왔으며, 또한 지형공간정보 체계에 있어서도 지형이나 또는 다른 표면들과 관련된 현상을 해석하고 보여주는 데 많은 도움을 줄 수 있다.⁴⁾

수치지형모형은 일반적으로 원래의 지형자료를 표본화하고 다양한 관측들 사이의 관계를 형성하는 수치지형모형 생성과정, 수정 정련하여 중간모형을 유도하는 수치지형모형 조작과정, 분석을 통해 정보를 추출하는 수치지형모형 해석과정, 추출된 정보를 도해적으로 표현하는 수치지형모형 시각화과정, 특별한 원칙 하에 적절한 응용 모형을 개발하는 수치지형모형 적용과정들이 각 단계별로 상호연관되어 나타나게 된다.

수치지형모형에 대한 자료는 지형의 고도와 지표면의 형상에 중요한 영향을 끼치는 현상들에 관한 부가적인 정보들의 관측으로 구성된다. 따라서, 자료취득에 있어서 자료원과 지형자료의 표본화 기술을 선택하는 방법은 수치지형모형의 결과에 대해 크게 영향을 끼친다. 현재 대부분의 수치지형모형의 자료를

취득하는 방법에는 수치화된 지형도 자료원을 이용하는 방법, 사진측량 및 원격탐측을 이용하는 방법, 지표면 측량에 의한 방법과 같이 세 가지가 주로 이용되고 있으며 그 밖에 레이더, 레이저를 이용한 고도측량, 해저지형의 음파측량, 지진측량 등을 통해서도 자료를 얻을 수 있다. 다른 대안으로서는 인위적인 지형에 대한 모형을 수치 모의관측을 통해서 생성할 수도 있다. 그러나, 이러한 기술들은 모형화에 있어서 엄격한 처리절차를 기본으로 하고 있으며, 지형적인 모의관측을 구체화시키기 위해 많은 학자들이 각각 그들 나름대로의 독자적인 방법을 연구, 개발하고 있다.

지표면 측량의 자료는 현장의 기구들과 연결되어 자료 기록자들에 의해 전산체계에 직접적으로 입력됨으로 정확도가 매우 높다. 그러나, 이러한 자료수집 기술은 상대적으로 시간이 많이 소요되기 때문에 극히 작은 면적의 지역에서만 사용이 제한된다. 따라서 지표면 측량은 일반적으로 특별한 연구 또는 사진측량에 의해 취득한 자료를 보완하는데 사용되곤 한다.

사진측량에 의한 자료취득은 항공사진 또는 인공위성 영상자료를 입체도화기에 의해 해석하는 것을 기본으로 하고 있다. 사진측량의 표본화 기술(규칙적 표본화, 연속적 표본화, 선택적 표본화, 합성 표본화 등)에는 많은 기술들이 있는데 이들 각각의 방법들은 자료수집에 있어서 가장 적은 노력으로 가장 큰 정확도를 얻고자 하는데 그 목적이 있다. 실제적인 현장 작업 대신에 원격탐측이 사용된 이래로 넓은 지역이 상대적으로 짧은 시간에 다루어질 수 있게 되었다.

등고선도와 같은 지형도에 관한 문서로부터 수치지형모형을 얻을 수도 있는데, 이러한 아날로그 자료는 수동식 선추적입력기나 반자동 선추적입력기, 자동 격자형입력기 등에 의해 수치화 될 수 있다. 지형자료를 직접적으로 얻는 방법은 상대적으로 그 비용이 크기 때문에 이러한 간접적인 방법이 많은 양의 자료수집을 필요로 하는 사업들이나 국가나 국방에 관련된 도면화 정책에 부응하여 주로 이용된다. 이렇게 광범위한 이용에도 불구하고 등고선 자료는 지형을 시각화하는데 있어서는 적합하나, 표면의 수치적인 표현에 있어서는 유용하지 못하고 과대표본화나 과소표본화와 같은 형태로 표본화되며 선을 그리는 데 있어서 또는 선을 생성하는데 있어서 여러 오차가 발생될 수 있다는 문제점을 가지고 있다. 결

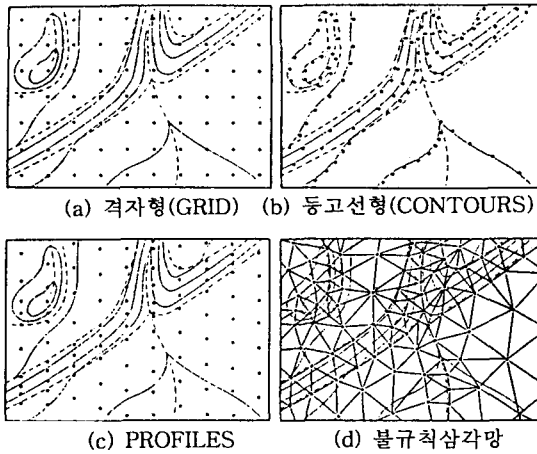


그림 1. 수치표고자료의 취득과 저장을 위한 4가지 기본 형태

과적으로 이것은 수치지형모형의 정확도가 제한적이라는 것이다. 그러나, 커다란 면적의 영역에 있어서는 비용에 대한 그 효용이 크기 때문에, 소축적 중축적인 경우 수치지형모형을 얻기 위해 수치화된 지형도의 관련문서를 사용하는 것이 좋다.

2.2 수치지형모형의 형태

역사적으로 수치지형모형이란 용어는 지형의 표면을 수치적으로 표현하는 가장 일반적인 용어로 사용되어 왔다.(Miller & Leflamme, 1958) 그러나, Burrough(1986)는 '지형'이라는 용어가 단순히 지표면의 고도를 나타낸 다기보다는 지형의 속성을 암시하고 있기 때문에 지형의 기복만을 나타낸 경우에는 '수치지형모형'이라는 용어 대신 '수치표고모형'이라는 용어를 사용해야만 한다고 주장하였다. 또한 Evans (1980)는 이러한 자료들에 대해 수치지면모형(Digital Ground Model; DGM)이라는 용어를 이용하였다.

'DTM', 'DEM', 'DGM' 중 어떠한 용어로 불러 지던지 이러한 자료의 모임들은 여러가지의 형태로 존재할 수 있다. 그림 1은 지형의 표고자료를 취득하고 저장하기 위한 대표적인 4가지의 형태를 보여 주고 있다.¹⁷⁾

이러한 4가지의 형태 중 오늘날 대부분이 격자형 또는 불규칙삼각망의 자료구축방법을 따르고 있다.

격자형 또는 격자형 수치표고모형은 자료 점들의 내재적인 위상관계를 기록하는 행렬구조로 표현된다.

따라서 표고행렬을 다루는 것은 간단하나, 규칙적인 격자들의 점의 밀도는 원 지형의 복잡성에 따라 변화하지는 않기 때문에 지형을 정확하게 표현하기 위해서는 아주 많은 점들을 필요로 하고 구조적인 지형의 표현이 어렵다.

불규칙삼각망 구조는 표본 점들의 정점으로 이루어진 삼각형 형태를 기본으로 하고 있다. 따라서 구조적인 지형도 쉽게 자료구조와 상호연관시킬 수 있다. 결과적으로 불규칙삼각망은 자료 점들의 다양한 밀도와 지형의 불규칙함을 표현하기에 적합하다. 또한, 이것은 어떤 정확도의 수치지형모형을 얻기 위해서 소수의 점만을 필요로 하기는 하나, 그것들의 위상적인 관계를 명확하게 계산하거나 기록해야 하므로 다루기가 훨씬 복잡하고 어렵다.

결론적으로 이 두 가지 방법 중에서 일반적으로 격자형 수치표고모형은 지형의 세부적인 표현에 적합하며 불규칙삼각망은 자료의 저장면에서 더 효율적이다. 하지만 격자형 수치표고모형과 불규칙삼각망 중에서 더 나은 방법을 단적으로 결정한다는 것은 곤란하다. 왜냐하면 응용분야와 각각이 유용하게 사용할 수 있는 계산 자원(computational resources), 그리고 다른 요인들에 따라서 그 상황에 적합한 방법이 결정되기 때문이다. 그러나 최근 불규칙삼각망이 일반적으로 많이 사용되는 추세를 보이는데 그 이유는 자료의 저장이 용이하고, 불규칙한 간격을 가지는 표고 자료를 수용할 수 있는 간단한 자료구조를 가지고 있기 때문이다. 또한 불규칙삼각망은 상호가시도(inter-visibility) 분석이나 수리학적 지형 추출에서도 그 장점을 나타낸다.

3. 불규칙삼각망의 구축 및 프로그램

표면을 구축하는 방법에는 점, 사각형(격자형), 삼각형, 등고선, 퓨리에 변환 등 여러가지가 있다. 그 중 삼각형과 사각형(격자형)은 2개의 변수를 가지고 있으므로 지형문제를 해결하는데 있어서 합리적인 기하학적 방법이다. 특히 이러한 삼각형을 기반으로 표면을 구축하는 것은 제 2장에서 기술한 바와 같이, 지형의 기복이 심한 불연속적인 표면의 경우 사각형(격자형 수치표고모형)에 비해 지형의 표면을 더 정확하게 표현할 수 있는 방법이다.

삼각망의 형성에 있어서 발생하는 문제점은 분산된

위치자료를 어떻게 자동적으로 삼각형을 분할 시키느냐는 것이다. 본 논문에서는 먼저 불규칙한 표면을 모형화하는데 이용되는 일반적인 방법과 문제점들을 기술하고, 다음에 불규칙삼각망을 설명하고자 한다. 또한 여러가지 삼각형 분할 연산법을 소개하여 본 논문의 연산법과의 차이점을 알리고자 한다.

3.1 삼각망 형성의 체계적 방법

각 삼각형 절점에 위치한(x, y, z) 점들에 있어서, 최소한의 모임이 삼각형이다. 일반적으로 많은 다른 삼각형들의 모임들이 동일 정점들(vertex)을 공유한다. N개의 점을 포함한 자료의 경우 $N(N-1)/2$ 개의 변을 가질 수 있다. 예를 들면 5개 점의 경우 $5 \times (5-1)/2 = 10$ 개의 변을 가질 수 있다.

삼각형 분할 과정은 한 지역 내에 세개 이상의 점이 있을 경우 문제점을 가지고 있다. 한 지역 내에 4개의 점이 주어지면 삼각형을 형성하는 데 있어서 두 가지의 선택사항이 주어지고, 5개의 점이 주어지면 세 가지의 선택사항이 주어진다. 5개 이상의 점이 주어지면 4점 또는 5점에 대한 문제점의 연장으로 볼 수 있다. 예를 들면 6개의 점의 경우 한 개의 삼각형을 가진 5점에 관한 문제, 또는 2개의 4점에 관한 문제로 간주할 수 있다.

3.2 불규칙삼각망

3.2.1 불규칙삼각망의 기본

격자형 수치표고모형 뿐만 아니라, 불규칙삼각망 역시 지형을 효과적으로 표현하는 방법이다. 지형은 공간 내의 불규칙한 간격의 점들에 의해 개략화되고, X, Y, Z 값으로 표현되며 각각은 많은 정보를 포함한다. 지표 위의 그러한 점들은 융기선, 하상, 산꼭대기, 고개 등과 일치한다. 이러한 점들은 지표의 불규칙한 간격과 일치하는 삼각형들의 절점의 연결로 이루어진다.

불규칙삼각망은 지표에 불규칙하게 분포된(x, y, z)의 세점으로 구성된 대표적 자료구조 또는 수치지형 모형으로, 일반적으로 최적화된 델로니 삼각망을 기본으로 삼각형 구조를 서로 연결하고, 그 연결 내용을 제공한다. ARC/INFO의 TIN 모듈은 인공위성의 영상왜곡치리에 널리 이용된다. 최대 최소 각 기준(Max-Min Angle Criterion)을 기본으로 한 불규칙삼각망은 기복이 심한 지역의 항공사진의 경우 오차가 일어날

수 있다.

3.2.2 불규칙삼각망 표면의 보간

불규칙삼각망에서는 3가지의 보간방법이 이용된다. 격자형 자료보간에 사용되는 첫번째 방법은 Four-neighbor Inverse Weighted Distance 연산법이다. 이 방법은 보간된 Z 값이 각각의 점들을 둘러싼 4개의 격자망 점의 Z 값을 평균하여 결정된다. 각 격자망 점의 영향은 격자망 점으로부터의 상호거리에 따라 경중률이 주어진다. 경중률이 부과된 Z 값은 보다 근접한 격자망 점의 Z 값이 보간된 Z 값과 더 근접한 결과를 가져오게 된다.

불규칙삼각망에서 사용되는 두번째 방법은 선형보간법이다. 선형보간법에서 보간된 표면값은 삼각형의 세 절점에 의해 정의되는 평면 내의 삼각형의 정점에 대한 Z 값만을 기반으로 계산된다.

세번째 방법은 이원오차(Bivariate Quintic) 보간법이다. 이 방법은 삼각형 정점들의 위치뿐만 아니라 절점들에 대한 경사(기울기) 정보 또한 이용한다. Z 값과 경사값은 5차의 다항식을 정의하는데 이용된다. 보간된 값은 5차 다항식인 점의 X, Y 좌표로 표현된다. 이 연산법은 지표정보와 불규칙한 빈약한 표본자료에서 보다 사실적인 결과를 나타내고 선형보간법 보다 정확한 결과를 보여준다.

3.2.3 왜곡된 영상 내에서 불규칙삼각망 이용의 문제점

다음의 기술 내용은 최적의 불규칙삼각망을 생성하는데 이용되는 세가지 연산법이다.

첫번째 연산법은 1984년 De Floriani에 의해 소개된 계층적 삼각망이다. 이 계층적 삼각망은 자료 점들의 일부를 기초로 하는 표면 근사법으로, 삼각망 내에 포함될 수 있는 점들의 최대오차를 근거로 만들어진 최적의 기준을 포함하고 있다.

두번째 연산법은 1987년의 Correc과 Chapuis의 연결 및 분류 연산법으로, 이것은 1982년 Watson의 초기 연산법을 기초로 한 것이다. 이 연산법의 연결 부분은 삼각망 형성에 있어서 트리 구조를 정의한다. 분류 연산법은 자료 점들을 가장 큰 편차를 보이는 자료순으로 오름차순으로 좌표값을 정렬한다.

세번째 연산법은 1978년 Green과 Sibson에 의해 제안되었다. 이 연산법은 델로니 분할과 Dirichlet 분할을 동시에 수행함으로써 델로니 분할에서 발생하는 문제점을 다루고 있다.

ARC/INFO TIN 모듈의 가장 큰 단점은 델로니 삼각망의 최적의 등각 연산법을 이용하는 것이다. 이것은 지형의 기복효과를 완전히 무시하는 것이다. 특별한 경우에 지형의 기복을 무시하면, 융기선 부분과 같은 경우의 굴곡이 무시된 채로 삼각망이 생성될 수 있다. 따라서, 왜곡된 영상의 경우 최적의 등각 연산법의 이용을 자제하는 것이 좋다.

3.3 삼각망의 이용

왜곡이 있는 지형의 경우 불규칙삼각망을 이용하여 올바른 삼각형의 지형 모형을 형성하기 위해서 본 연구에서는 위에서 접근한 방법과는 다른 새로운 삼각망 형성 기준을 사용하기로 한다.

3.3.1 삼각망 형성의 기준

삼각망은 전산기에 의해 자동으로 또는 사용자에 의해 대화식으로 형성될 수 있다. 이러한 삼각망의 정확한 결과를 얻기 위해서는 완전히 전산기만을 이용하여 삼각망을 형성하기보다는 삼각망을 형성할 때 사용자의 의도가 어느 정도 포함되어야만 한다.

전산기가 삼각망을 형성하기 전, 사용자는 항공사진 또는 지도로부터 삼각망에 대한 기준점을 선택해야 할 필요가 있다. 삼각망에 사용되는 기준점은 항공삼각측량 또는 좌표변환에 이용되는 지상 기준점과는 다르다. 보다 좋은 결과를 얻기 위해서는 삼각망 모형이 가능한 실제 지형과 일치해야만 한다. 삼각망 모형의 질은 기준점의 밀도, 배치, 삼각망의 크기, 지형의 기복 등에 따라 변화한다. 이러한 사실을 기초로 사용자는 사진에서 쉽게 식별이 가능한 중요 지형으로부터 삼각형의 정점을 선택해야만 한다. 삼각형 모형은 융기선, 계곡선 또는 존재하는 모든 단절된 선을 따라야 한다. 그러한 선들은 단순한 함수로 표현하기는 힘들기 때문에, 적절한 보간 단계를 거쳐 효과적으로 적용될 수 있다.

본 논문에서는 최적의 등각 기준 대신 새로운 삼각망 형성 접근방법인 표고와 가변거리의 기준을 이용한다. 표고를 이용하는 방법은 가장 낮은 점에서 가장 높은 점까지 또는 가장 높은 점에서 가장 낮은 점까지 삼각형의 정점을 연결하는 것이다.

가변거리법은 인접 문제점(neighborhood problem)을 해결하는데 이용된다. 삼각망에서 인접 문제점은 다음과 같이 정의된다. 기준점이 주어졌을 때, 다른 기준점과 연결된 선들이 주어진 거리의 이웃점들 내에

얼마나 많이 포함될 것인가 하는 것이다. 만일 삼각망이 규칙적이고 크기가 같다면, 인접 문제점은 고정적인 거리를 이용하여 해결될 수 있다. 기복이 심한 지형 또는 산과 같은 복잡한 지형에서는, 각 기준점의 이웃점들을 찾기 위한 인접 문제점이 가변거리를 이용하여 해결될 수 있다. 삼각형의 정점은 단위거리로부터 시작하여 거리를 점차 증가시키면서 선택될 수 있다.

증가된 가변거리는 이미 생성된 삼각형을 가로지르는 잘못된 연결선들을 발생시킬 수 있는데, 이러한 것들은 단순한 연산법을 통해 삭제될 수 있다.

3.3.2 관련된 문제점

가장 낮은 표고를 시작점으로 삼각형을 형성하는 것은 4점에 관한 문제점에서 발생하는 혼란을 피할 수 있다.

표고와 가변거리를 이용한 삼각망의 형성 방법이 이론적으로 4점과 5점에 관한 문제점을 해결함에도 불구하고, 실제 적용에 있어서 그러한 문제점에 부딪치게 된다. 4점과 5점에 관한 문제점들은 삼각망이 폭이 좁은 삼각형들과 두개의 삼각형이 긴 한 개의 대각선을 공유하는 경우에 발생할 수 있는데, 특히 증가율이 상대적으로 큰 경우 이러한 문제점이 승계 발생될 수 있다. 본 연구에서는 보간점이나 제한된 임의의 선을 첨가함으로써 그 문제점을 해결하였다.

3.4 삼각망 프로그램

본 논문의 BuildTin 프로그램은 정점의 표고와 삼각형 변의 길이를 기본으로 하는 연산법을 이용하여 불규칙삼각망을 형성한다. 이 프로그램은 모든 지형 조건(예를 들면, 꼭대기, 융기선, 등성이, 계곡 등)에 적용 가능하다. 초기 입력 시에 이상적인 기준점의 배치가 이루어지지 않는 경우, 보간점들 또는 임의의 선들이 첨가되어 이것을 보완할 수 있다.

BuildTin 프로그램을 위해 3개의 입력자료가 이용된다.

Input.dat 파일은 다음과 같은 순서에 따라 입력된다.

Const.dat 파일은 각 기준점에 포함된 순차적인 레코드들에 대한 정보가 무형식으로 읽혀진다.

Interpt.dat 파일은 각 보간된 점들에 포함된 순차적인 레코드들에 대한 정보가 무형식으로 읽혀진다.

전체적인 흐름은 다음과 같다. i) 사진 또는 지도

로부터 삼각형의 기준점을 선택, ii) 가장 낮은 표고의 점을 검색, iii) 인접 문제점을 위해 단위거리를 계산, iv) 각 점의 거리를 계산, v) 표고에 따라 정렬, vi) 주어진 거리 내에 포함되는 인접점 간의 선들을 검색, 유지, vii) 잘못된 연결선을 삭제, viii) 삼각형의 연결 및 삭제, ix) 인접점과의 거리를 점차 증가시키면서 i)~viii) 과정 반복

BuildTin 프로그램에서 이용된 부프로그램에 대해

요약하면 표 3과 같다.

부프로그램 getINinput으로부터 입체도화기의 입력자료 ID의 3차원 좌표를 읽은 후에, 기준점이 OrderPtsbyElev에 의해 표고에 따라 정렬되고 단위거리가 computeUnitDist에 의해 계산된다.

삼각형을 형성하는 선의 집합(line set)을 정의하기 전에, Constraint와 addInterPt를 이용하여 4점 5점에 관한 문제점을 해결한다. 부프로그램 Constraint는 지정된 선을 첨가한다. addInterPt는 삼각형의 정점

표 1. Input.dat의 변수

| 변 수 | 용 도 |
|------------|--|
| option | option=1: 가장 낮은 점에서부터 정점의 선택이 시작 option≠1: 가장 높은 점에서부터 정점의 선택이 시작 |
| ngcp | 입체도화기 관측에 의해 제공되는 삼각형 기준점의 수 |
| nPretri | 예상 삼각형 수 |
| nUse | TIN을 형성하는데 이용될 임의의 선 수 |
| nWronglns | TIN을 형성하는데 이용되지 않을 임의의 선 수 |
| nInterPts | TIN을 형성하는데 이용될 보간점의 수 |
| ID | 삼각형의 정점이 될 점들의 번호 배열 |
| XO, YO, ZO | 각 정점의 지상 좌표값 배열 |
| XC, YC, ZC | 표고에 따라 정렬된 각 정점의 지상 좌표값 배열 |

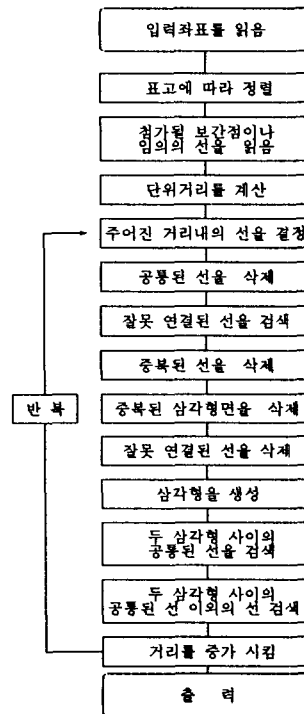


그림 2. 삼각망 형성을 위한 흐름도

표 2. Const.dat의 변수

| 변 수 | 용 도 |
|-----------|--|
| nUse | TIN을 형성하는데 이용될 임의의 선 수 |
| use1 | 사용자가 지정한 임의의 선의 첫번째 끝점에 대한 ID의 배열 |
| use2 | 사용자가 지정한 임의의 선의 두번째 끝점에 대한 ID의 배열 |
| nWronglns | TIN을 형성하는데 이용되지 않을 임의의 선 수 |
| wrongPt1 | 사용되지 않기 위해 사용자가 지정한 임의의 선의 첫번째 끝점에 대한 ID의 배열 |
| wrongPt2 | 사용되지 않기 위해 사용자가 지정한 임의의 선의 두번째 끝점에 대한 ID의 배열 |

표 3. BuildTIN에 이용된 부프로그램

| 부프로그램 | 용도 |
|-----------------|--|
| getTINinput | 입력화일을 열고 기준점의 ID와 3차원 좌표가 포함된 입력화일을 읽는다. |
| OrderPtsbyElev | 표고에 따라 입력점을 정렬한다. |
| Constraint | 임의의 선을 첨가하는데 이용된다.(삼각망에 이용되고 이용되지 않을 선을 사용자가 지정) |
| addInterpPt | 보간점을 첨가하는데 이용된다. |
| computeUnitDist | 단위거리를 계산한다.(두개의 가장 낮은 점 사이) 이 거리는 각 반복작업에 따라 거리계수를 이용하게 되는데, 현재 포함될 인접점을 결정한다. |
| defineLineSet | 거리기준에 따라 인접점을 정의한다. |
| DelCommonLines | 공통된 선을 삭제 |
| FndWrngLns | 현재의 Lineset에 따라 형성되는 선들 중 잘못 연결된 선을 결정한다. |
| DelDuWrngLns | 중복된 선을 삭제한다. |
| DelTriLns | 중복된 삼각형면을 삭제한다. |
| DelWrngLns | 잘못된 선을 삭제 |
| FormTriangles | 현재의 Lineset에 따라 삼각형을 형성 |
| FindCommonLines | 두 삼각형 사이의 공통된 선을 검색 |
| FindTriLns | 두 삼각형 사이의 공통된 선 이외의 선을 검색 |
| Writeoutput | 필요한 출력자료를 인쇄 |
| ReadTINinput | 필요한 입력자료를 읽는다. |
| Delxtra | 여분의 삼각형을 삭제 |
| ComputeLnIntcpt | 두 선의 교차점을 계산한다. |
| ComputeGenLnEqn | $Ax + By = C$ 의 공식에서 상수 A, B, C를 결정 |
| DelCommonLns | 두 삼각형 사이의 공통된 선을 삭제 |

으로 이용될 보간점을 첨가한다.

defineLineSet은 각 점들 사이의 각 거리를 계산하고, 그러한 점들 중 단위거리 보다 거리가 짧은 거리를 해당 점으로 포함시킨다. FndWrngLns에서 검색된 잘못된 연결부분을 삭제한 후에, 올바른 연결부분만을 삼각형의 형성을 위해 이용한다. 삼각형이 형성된 후, FindCommonLines는 삼각형의 공통된 면을 검색한다.

전산기 프로그램에 의해 해결된 잘못된 연결의 문제점은 삼각형의 공통된 부분, 4점에 관한 문제점에서 비롯한 사변형 대각선, 5점에 관한 문제점에서 비롯한 잘못된 대각선 연결, 중복된 연결 부분 등이 있다.

4. 불규칙삼각망의 결과분석

본 연구에서 입력화일인 TIN.IN에 이용된 입력자료의 ID와 3차원 좌표는 다음 표 4과 같다.

표 4의 자료를 바탕으로 일반적인 연산법을 적용한 경우, 보간점을 첨가하여 본 연구의 연산법을 적용한 경우, 제한된 임의의 선을 첨가하여 본 연구의 연산법을 적용한 경우와 같이 세 가지의 경우를 비교하고자 한다.

4.1 일반적인 연산법의 적용 결과

여기서 이용되는 연산법은 일반적으로 가장 많이

표 4. TIN.IN의 입력자료

| ID | X(ft) | Y(ft) | Z(ft) |
|----|-------------|------------|----------|
| 1 | 1262142.976 | 696721.208 | 486.649 |
| 2 | 1263380.072 | 701336.242 | 428.362 |
| 3 | 1263965.122 | 702361.727 | 430.700 |
| 4 | 1267512.806 | 701762.407 | 964.154 |
| 5 | 1267314.827 | 699865.381 | 1059.397 |
| 6 | 1265528.555 | 699310.109 | 993.759 |
| 7 | 1265537.499 | 697657.011 | 1031.126 |
| 8 | 1265554.773 | 695330.367 | 1128.135 |
| 9 | 1267102.901 | 694945.889 | 961.551 |
| 10 | 1267095.173 | 696565.466 | 951.018 |
| 11 | 1267507.052 | 697703.840 | 983.411 |
| 12 | 1268426.742 | 700437.934 | 992.821 |
| 13 | 1270958.008 | 701428.398 | 1102.150 |
| 14 | 1270286.528 | 698967.171 | 1205.792 |
| 15 | 1269688.256 | 697714.042 | 1011.701 |
| 16 | 1268729.886 | 696442.912 | 1168.269 |
| 17 | 1268119.348 | 694930.773 | 1056.707 |
| 18 | 1269347.220 | 693978.057 | 1085.916 |
| 19 | 1269386.433 | 695893.271 | 1207.161 |
| 20 | 1270911.487 | 696771.803 | 1115.251 |
| 21 | 1271476.729 | 695774.211 | 1271.261 |
| 22 | 1270349.674 | 694379.869 | 1193.673 |
| 23 | 1269708.979 | 692918.564 | 1236.697 |
| 24 | 1272089.127 | 692559.365 | 1445.240 |
| 25 | 1272510.213 | 694420.906 | 1449.120 |
| 26 | 1272393.121 | 697880.068 | 1126.212 |
| 27 | 1272039.193 | 699817.918 | 1260.862 |
| 28 | 1274815.342 | 697754.685 | 1497.078 |
| 29 | 1274233.627 | 695224.078 | 1492.640 |

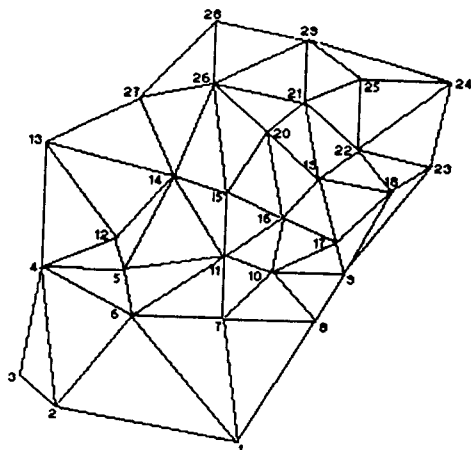


그림 3. 최적의 등각 연산법을 이용한 불규칙삼각망

표 5. INTERP.DAT의 자료

| ID | 연결 ID | | | |
|----|-------|----|----|----|
| 30 | 2 | 3 | 4 | 6 |
| 31 | 5 | 11 | 12 | 32 |
| 32 | 11 | 12 | 14 | 15 |
| 33 | 14 | 15 | 20 | 26 |
| 34 | 15 | 16 | 19 | 20 |
| 35 | 17 | 18 | 19 | 22 |

표 6. 보간점을 위한 변수값

| 변수 | 변수값 |
|-----------|-----|
| option | 1 |
| ngcp | 29 |
| nPretri | 44 |
| nUse | 0 |
| nWronglns | 0 |
| nInterPts | 6 |

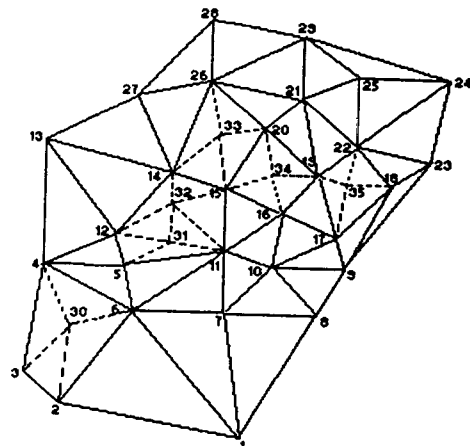


그림 4. 보간점을 첨가한 경우의 불규칙삼각망

표 7. CONST.DAT의 자료

| 연결 ID | | | |
|-------|----|----|----|
| 3 | 6 | 2 | 4 |
| 11 | 12 | 5 | 14 |
| 12 | 15 | 11 | 14 |
| 14 | 20 | 15 | 26 |
| 15 | 19 | 16 | 20 |
| 18 | 19 | 17 | 22 |

표 8. 임의의 선을 위한 변수값

| 변수 | 변수값 |
|-----------|-----|
| option | 1 |
| ngcp | 29 |
| nPretri | 44 |
| nUse | 6 |
| nWronglns | 6 |
| nInterPts | 0 |

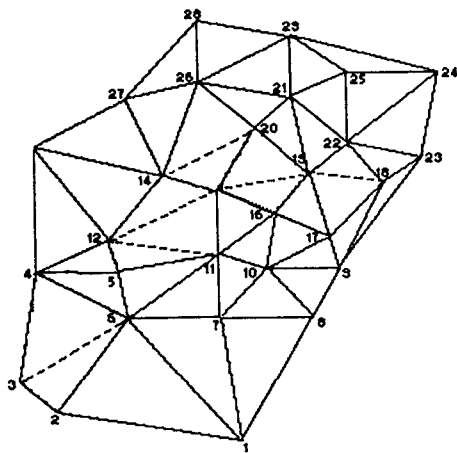


그림 5. 임의의 선을 추가한 경우의 불규칙삼각망

이용되는 델로니 삼각망의 최적의 등각 연산법을 이용하여 불규칙 삼각망을 생성한 것으로 그 결과는 다음의 결과들과 비슷하게 나타남을 알 수 있다.

4.2 보간점을 추가한 경우

본 연구에서 보간점으로 추가한 INTERP.DAT의 자료는 표 5와 같고, 보간점을 사용하기 위한 변수값들은 표 6과 같다.

4.3 임의의 선을 추가한 경우

본 연구에서 제한된 임의의 선으로 추가한 CONST.DAT의 자료는 표 7와 같고, 제한된 임의의 선을 사용하기 위한 변수값들은 표 8와 같다.

그림 2와 3은 본 연구의 표고와 가변거리의 연산법을 바탕으로 각각 보간점과 제한된 임의의 선을 추가한 경우의 불규칙삼각망 생성을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 본 연구의 연산법은 보간점과 임의의 선을 사용자가 쉽게 추가가능하므로 용기선,

계곡선, 특이점 등을 지닌 지형의 기록이 심한 경우에 있어서 사용자의 의지가 쉽게 반영될 수 있다. 따라서 본 연구의 보간점과 임의의 선을 포함한 표고와 가변거리의 연산법을 이용하는 것이 실제 지형에 보다 근접한 지형표현을 할수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 수치지형모형의 일종인 불규칙삼각망을 이용하여 3차원적인 지형자료를 가지적으로 표현하기 위한 연구로서, 불규칙삼각망을 생성하기 위해 정점의 표고와 가변거리의 연산법을 이용하여 보간점과 제한된 임의의 선을 추가함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 기존의 불규칙삼각망 제작과정에서 사용되었던 최적 등각 연산법에서의 문제점을 해결하고자, 표고 및 가변거리를 기준으로 하여 삼각망을 형성하는 기법을 제시하고 이를 적용한 프로그램을 제작하였다.

둘째, 불규칙삼각망 제작 과정에 있어서 사용자가 직접 보간점과 제한된 임의의 선을 추가하는 방법을 적용하였으며, 그 결과 삼각망 형성과정에 따른 지형을 왜곡을 방지하는 기법을 제시할 수 있었다.

셋째, 향후 본 연구를 실제 업무를 적용시키고 불규칙삼각망의 사용성을 높이기 위해서 기존의 격자형 수치표고모형을 불규칙삼각망으로 변환시키기 위한 연구가 계속적으로 진행되어야 할 것으로 사료된다.

參考文獻

1. David G. Mckenna, "An Improved TIN Generation Technique and Data Structure for Land Planning Applications", Auto Carto Vol. 8, 1987, p. 670.
2. Yea-Chung Ding, "Spatial Accuracy Estimation in the Geometric Correction of Digital Photomaps", 1991, p. 32.
3. Jay Lee, "Comparison of Existing Methods for Building Tin Models of Terrain from Grid Digital Elevation Models", International Journal of GIS Vol. 5, 1991, p. 267.
4. 유복모, 지형공간정보론, 동명사, 1994, pp. 382-386.
5. Montgomery and Schuch C., GIS Data Conversion Handbook, GIS World Books, 1993.
6. Richard J. Pike, Gail P. Thelin and Willam Acevedo, "A Topographic Base for GIS from Automa-

- ted TINs and Image-Processed DEMs", GIS '87, 1987.
7. Zi-Tan Chen and Guevara J. Armando, "Systematic Selection of VIP from DTM for Constructing TIN", *Auto Carto* Vol. 8, 1987.
 8. Albert H J Christensen, "Fitting a Triangulation to Contour Lines", *Auto Carto* Vol. 8, 1987.
 9. ARC/INFO, TIN User's Guide, ESRI ARC/ INFO, 1984.
 10. Goodchild M. and Gopal S., *Accuracy of Spatial Database*, Taylor and Francis, 1989.
 11. Sibson R., *Locally equiangular triangulation*, *The Computer Journal*, 1977.
 12. Eastman J. R., *IDRISI User's Guide*, Clark University, 1992.
 13. Ackermann F., "Improvement of Image Quality by Forward Motion Compensation", *Proceedings IS-PRS Symposium, Progress in Imaging Sensors*, 1986.
 14. Balce A. E., "Determination of Optimum Sampling Interval in Grid DEM Data Acquisition", *PE & RS*, 1978.
 15. Plews R. W. and Clarke K. C., "Problems in Implementing the TIN Data Structure", *Technical Paper 1990 ACSM- ASPRS Annual Convention*, 1990.
 16. Watson D. F. and Philip G. M., "Survey Systemic Triangulations", *Computer Vision. Graphics. and Image Processing*, 1984.
 17. Carter J. R., "Digital Representation of Topographic Surfaces", *PE & RS*, 1988.
 18. Silfer A. T., General J. Kinn and James M. Hassett, *A Geographic Information System Utilizing the Triangular Irregular Network as A Basis for Hydrologic Modeling*, *Auto Carto* Vol. 8, 1987.