

Incremental Insertion Method(IIM)를 이용한 TIN 생성 프로그램

개발

김윤희*, 엄재홍**

한진정보통신 GIS 기술연구소*, 세종대학교 지구정보학과 **

yhkim00@hist.co.kr

요약 : 수치지도에 존재하는 등고선의 절점(Vertex)과 표고점을 이용해서 수치표고모형을 생성하기 위하여 일반적으로 TIN 을 이용한 방법이 사용된다.

불규칙적으로 분포되어져 있는 데이터를 이용해서 TIN 을 구성하는 알고리즘은 여러 가지가 존재하는데 본 연구에서는 Incremental Insertion Method(IIM)를 이용하였다. 하천이나 인위적인 작업으로 지형이 급격하게 변화되는 지형을 TIN 에 표현하기 위해서 사용되는 Break Line 이 본 연구에 적용되었으며, 절점(Vertex)이나 표고점이 잘못된 높이 값을 가짐으로써 수치표고모형에 발생하는 왜곡을 보정하기 위해서 이들 데이터를 TIN 에서 제거하는 방법에 대한 연구가 수행되어졌다.

1. 배경 및 목적

수치표고모형(DEM, Digital Elevation Model)은 지형분석의 근간이 되는 자료로서 통신, 건설, 환경, 관광, 기상 등과 같은 다양한 분야에서 사용되고 있는 자료이다. DEM을 생성하는데 여러가지 자료가 이용 되지만 우리나라의 경우에는 국가기본도로 1/5,000 수치지도를 전국에 걸쳐서 16,200 도엽을 완성한 상태이므로 이들 수치지도의 등고선을 이용해서 DEM을 생성하는게 시간과 비용면에서 효율적이다.

수치지도의 등고선에서 DEM을 생성하는 방법은 TIN(Triangulated Irregular Network)이 주로 사용되는데 이와 관련된 연구에는 GIS의 응용부분을 위해서 객체지향을 기반으로 하는 TIN 생성에 관한

연구(Alias et. 2000)가 수행되어졌고, TIN을 생성하는 다양한 알고리즘에 대한 비교 및 분석(Treje. 1993)이 이루어졌다. 이와 유사한 연구로 방사소거 알고리즘을 이용한 TIN의 생성에 대한 연구(Mirante, 1982)가 수행되어졌다.

국내에서는 radial sweep algorithm을 이용한 TIN 생성 알고리즘과 TIN을 이용한 경사분석에 대한 연구(김의명 et, 1999)가 수행되어졌고, 델로니 삼각형 알고리즘을 이용한 TIN 생성에 관한 연구(최종현, 1996)가 수행되어졌다. 또한 TIN을 이용한 응용분야로써 댐 저수량을 산정하는데 TIN을 이용하였다 (이근상 et, 2002)

그러나 이러한 연구들은 수치지도의 표고점이나 절점을 이용해서 TIN을 생성하는데 고려해야 하는 문제점, 즉 고도값이 급격하게 변화되는 급경사지나

인공구조물에 대한 Break Line 처리 문제, 잘못된 높이값을 가지는 표고점이나 절점을 TIN에서 제거하는 문제들에 대해서는 연구가 수행되어지지 않았다.

본 연구에서는 수치지도에서 추출한 불규칙적으로 분포되어져 있는 등고선의 절점(Vertex)와 표고점 데이터를 이용해서 TIN을 생성하는 방법으로 IIM(Incremental Insertion Method)를 사용하였다. 높이 값이 급격하게 변화되는 급경사지나 인공구조물을 표현하는 Break Line을 TIN에 적용하는 방법과 표고점이나 절점 중에서 높이값에 대한 오차를 포함하고 있는 점들을 TIN에서 제거하는 방법에 대한 연구를 수행하였다.

2. TIN 생성 프로그램 개발

TIN을 생성하는 방법은 Radial sweep, Recursive split, Divide-and-conquer, Step-by-step, Modified hierarchical, Incremental Insertion Method, Incremental delete-and-build 방법 등이 존재한다. 이러한 방법들은 크게 Static 방법과 Dynamic 방법으로 구분 할 수 있는데 Incremental Insertion Method와 Incremental delete-and-build 방법을 제외한 나머지 방법은 static 방법이 된다. (Ing, 1993)

Static 방법은 모든 데이터를 이용해서 TIN을 생성하기 전까지 중간에 만들어지는 TIN이 델로니(Delaunay) 조건을 만족하지 못하므로 기존에 생성된 TIN에 새로운 점을 입력하기 위해서는 기존의 TIN을 없앤 후 기존의 점들과 새롭게 입력된 점을 이용해서 TIN을 다시 생성해야 되는 문제점을 가지고 있다. 반면 Dynamic

방법은 기존의 TIN에 새로운 점이 입력되면 델로니조건을 만족할때까지 기존의 TIN을 재구성함으로써 델로니 조건을 만족하는 TIN을 생성할 수 있는 장점을 가진다. 따라서 본 연구에서는 실시간으로 기존의 TIN에 새로운 점을 입력할 수 있는 Dynamic 방법 중에서 Incremental Insertion Method(IIM)에 대한 연구를 수행하였다.

2.1 Incremental Insertion Method (IIM)

알고리즘

IIM은 수치 기하학에서 사용되는 방법으로 trapezoidal map이나 델로니 삼각형과 Voronoi diagram을 생성하는데 사용되는 방법 중에 하나로써 본 연구에 사용된 방법은 Guibas가 1992년에 제안한 방법이다.

IIM을 구현하는 순서는 다음과 같다.

1. 모든 점을 포함하는 가상의 큰 삼각형을 생성한다.
2. 새롭게 입력되는 점을 포함하는 삼각형을 찾는다(그림 2.1 a).
3. 새롭게 입력된 점과 2의 과정에서 선택된 삼각형의 세 개의 꼭지점을 잇는 Edge를 생성함으로써 기존의 삼각형을 새로운 세 개의 삼각형으로 분할한다(그림 2.1 b).
4. 새롭게 생성된 세 개의 Edge에 대해서 적합성을 테스트한 후 부적합 경우에는 Edge Flip 작업을 수행한다. Edge Flip이 발생하게 되면 새로운 두 개의 삼각형이 생성되게 되는데 이들 삼각형의 모든 Edge에 대해서도 적합성

테스트를 수행하게 된다. Edge에 대한 적합성 테스트는 Edge Flip이 발생하지 않을때까지 반복해서 수행된다(그림 2.1 c).

5. 모든 점에 대해서 2, 3, 4 과정을 수행하게 된다(그림 2.1 d).

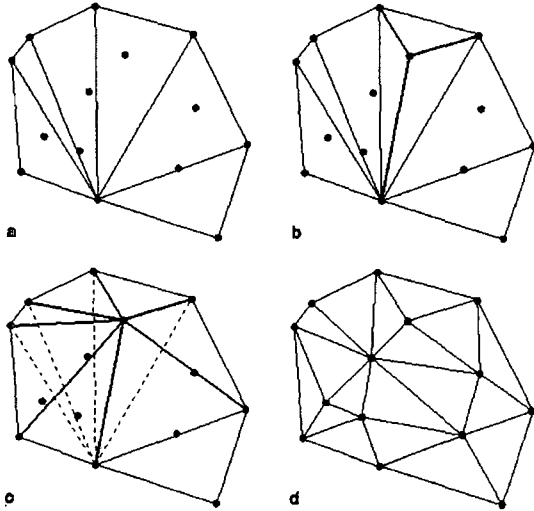


그림 2.1 Incremental Insertion Algorithm

Edge Flip은 선택된 Edge를 포함하고 있는 인접해 있는 두개의 삼각형이 델로니 조건을 만족시키지 못하는 경우에 일어나는 작업으로 그림 2.2와 같이 선택된 Edge를 없애고 Edge를 구성하지 않는 두 개의 꼭지점을 이용해서 새로운 Edge를 생성함으로써 새로운 두 개의 삼각형을 만드는 작업이다.

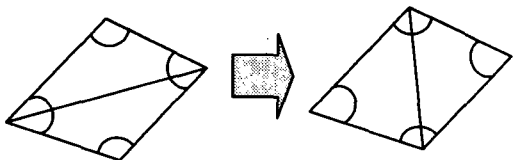


그림 2.2 Edge Flip

선택된 Edge를 공유하고 있는 두개의 삼각형에 대한 델로니 조건의 적합성을 검수하는 알고리즘은 다음과 같다.

1. 선택된 Edge와 인접해 있는 두개의 삼각형에 존재하는 6개의 꼭지점에 대한 각도를 계산한다.
2. 선택된 Edge를 Flip함으로써 새롭게 생성되는 두 삼각형의 6개 꼭지점에 대한 각도를 계산한다.
3. Edge Flip으로 새롭게 생성된 삼각형 꼭지점의 가장 작은 각도가 기존의 삼각형 꼭지점의 가장 작은 각도보다 큰 경우에는 선택된 Edge가 델로니 조건을 만족하지 않으므로 기존의 삼각형을 없애고 Flip된 삼각형을 저장한다.

2.2 Break Line 처리 알고리즘

자연적으로 생성된 지형은 일반적으로 높이 값이 급격하게 변화하지 않지만 하천이나 호수, 사람에게 의해서 인위적으로 지형이 변화된 지역에서는 높이 값이 급격하게 변화될 수도 있다. 이러한 지형을 TIN에 반영하여 좀 더 정확한 지형을 묘사하기 위해서는 Break Line을 이용하게 되는데, Break Line은 지형의 높이 값이 급격하게 변화된 지형을 표현하기 위해서 사용되는 선을 의미한다.

본 논문에서 사용된 TIN에 Break Line을 적용하는 알고리즘은 저자가 직접 개발한 내용으로 다음과 같다.

1. TIN에서 Break Line이 시작하는 점을 포함하는 삼각형을 찾는다 (그림 2.3 a).

2. Break Line이 시작되는 점과 1에서 선택된 삼각형의 세 Edge를 이용해서 새로운 삼각형 세 개를 생성한다(그림 2.3 b).
3. 새롭게 만들어진 세 삼각형 중에서 Break Line과 교차하는 삼각형을 찾은 후 삼각형의 세 Edge 중에서 Break Line과 교차하는 Edge와의 교차점을 계산한다. 그런 후에 Break Line이 시작하는 점과 교차점을 연결하는 Edge를 생성함으로써 새롭게 두 개의 삼각형을 생성한다(그림 2.3 c).
4. 3에서 교차된 Edge를 포함하고 있는 세개의 삼각형 중에서 Break Line과 교차하는 삼각형을 찾은 후 Break Line과의 교차점을 계산한다. 그런 후에 3에서 계산된 교차점을 연결하는 Edge를 새롭게 생성함으로써 새로운 두 개의 삼각형을 생성하게 된다. 이러한 방식으로 Break Line과 교차하는 삼각형이 존재하지 않을 때까지 반복해서 수행한다. Break Line의 끝점은 1과 동일한 과정으로 삼각형을 생성하게 된다(그림 2.3 d).

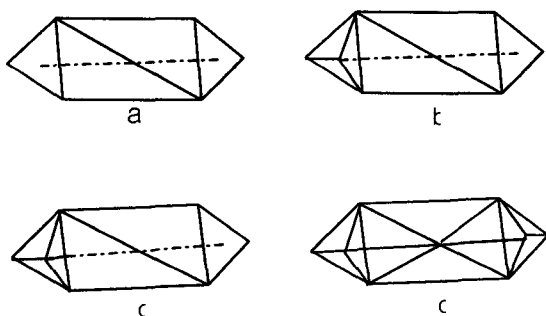


그림 2.3 Break Line 처리 알고리즘

2.3 이상점 소거 알고리즘

불규칙적으로 분포되어 있는 표고점과 등고선의 절점 데이터를 이용해서 TIN을 생성할 경우 높이 값에 오차가 없는 경우에는 DEM을 생성하는데 문제가 없지만, 데이터를 생성할 당시에 여러가지 요인에 의한 오차가 있는 이상점의 경우에는 DEM에 원하지 않는 오차를 발생시키기 때문에 정확한 DEM을 생성하기 위해서는 이들 데이터를 TIN에서 소거하는 과정이 필요하다.

본 논문에서 사용된 이상점 소거 알고리즘은 1993년도에 Terje가 제안한 것으로 다음과 같다.

1. 제거하고자 하는 점을 포함하고 있는 모든 삼각형을 선택하면 제거하고자 하는 점이 중심에 존재하는 다각형이 생성되는데, 이때 그 다각형 안에 존재하는 모든 Edge를 제거한다(그림 2.4 a).
2. 다각형을 구성하는 Edge 중에서 인접한 두 개의 Edge를 이용해서 삼각형을 생성한 후 삼각형에 외접하는 원을 계산한다. 이러한 과정을 다각형을 구성하는 모든 인접한 두 개의 Edge에 대해서 수행한다(그림 2.4 b).
3. 지름이 가장 작은 원을 가지는 삼각형을 선택하고 이 삼각형을 기존에 존재하는 TIN에 저장한 후 다각형을 다시 계산한다(그림 2.4 c).
4. 위의 1-3 과정을 새롭게 생성된 다각형이 삼각형이 될 때까지 반복

수행하게 된다.

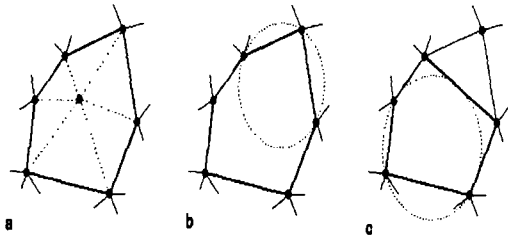


그림 2.4 Delete 처리 알고리즘

3. 실험 및 결과

3.1 연구 대상 지역

연구 대상 지역은 경기도 남양주시 천마산 주변 지역으로 1:5,000 수치지도 1도엽을 선택했다. 그림 3.1은 연구 대상지역의 수치지도에서 등고선만을 추출한 것으로 이 지역을 연구대상으로 선택한 이유는 그림에서 보는 것처럼 좌상지역은 등고선이 거의 존재하지 않는 평지이고, 우하지역은 등고선이 밀집해 있는 산악지형이기 때문에 본 연구에서 사용된 IIM이 산악지형과 평지지형의 수치표고모형(DEM)을 생성하는데 있어서 적합한지를 검수해 볼 수 있다.

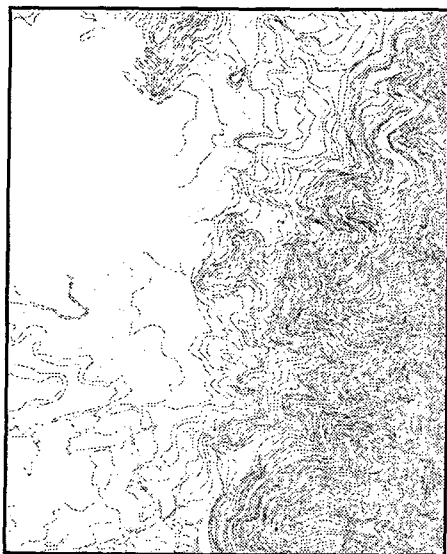


그림 3.1 연구 대상 지역의 등고선

IIM의 정확도를 검수하기 위해서 IIM을 1m의 공간해상도를 가지는 DEM으로 생성한 후 생성된 DEM을 이용해서 높이 값을 기준으로 5m 간격으로 등고선을 다시 생성하였다. 이는 1:5,000 수치지도를 생성할 때 높이 값을 기준으로 간곡선의 경우에는 5m, 주곡선 10m 마다 등고선을 그리기 때문이다.

아래의 그림 3.2는 수치지도에서 추출된 등고선을 이용해서 1m 간격으로 생성한 DEM의 음영기복도를 보여주고 있다.

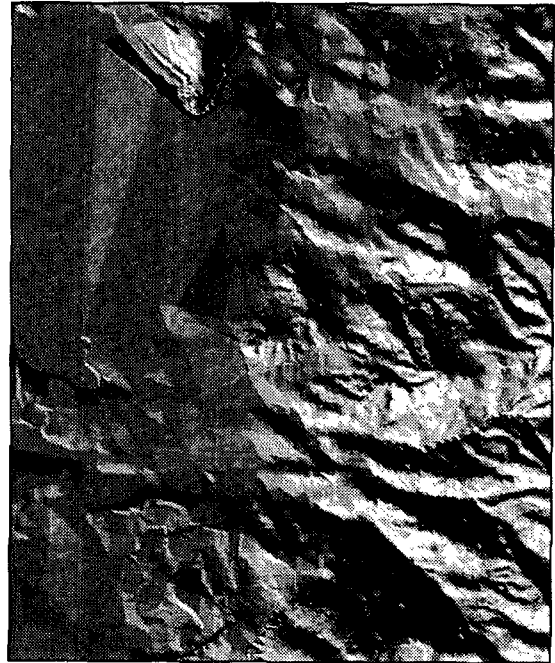


그림 3.2 IIM으로 생성된 DEM

그림 3.3은 등고선과 IIM으로 생성된 TIN을 겹친 것으로 대상지역 중에서 일부를 확대한 그림이다. 실선으로 표현된 것이 IIM으로 생성된 TIN을 보여주고 있고, 점선으로 표현된 것은 등고선을 보여주고 있다. IIM으로 생성된 삼각형들이 등고선의 절점(Vertex)을 따라서 생성된 것을 볼 수가

있다.

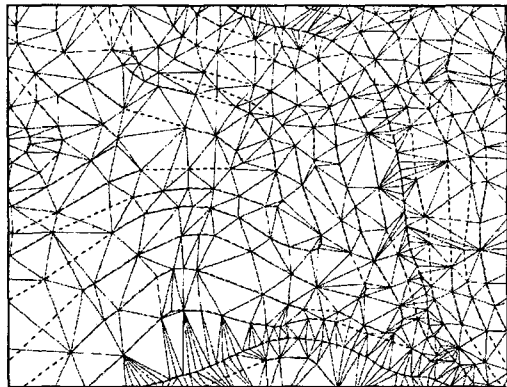


그림 3.3. 등고선과 TIN을 겹친 그림

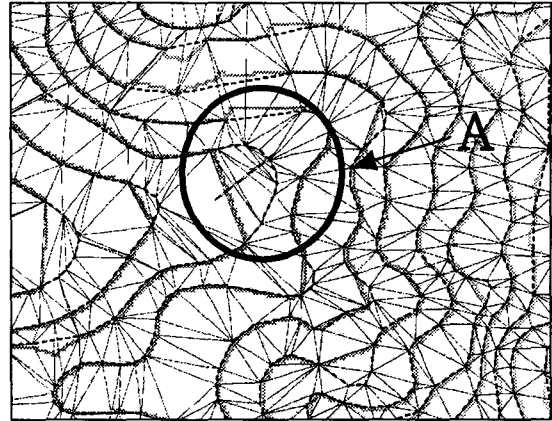


그림 3.4 IIM으로 만든 TIN과 수치지도의 등고선 중첩

그림 3.4는 연구대상 지역 전체에서 등고선이 밀집해 있는 산악지역의 일부분에 대해서 IIM으로 만든 DEM으로 생성한 등고선을 굵은 실선으로, 수치지도에 추출한 등고선을 점선으로 겹쳐서 보여주고 있는 그림이다. 또한 가는 실선으로는 IIM으로 만든 TIN을 보여주고 있다.

그림을 살펴보면 두 개의 등고선이 전체적으로 잘 일치하는 것을 볼 수가 있지만 A 지역에서는 두 개의 등고선이 불일치 하는 것을 볼 수가 있다. 그림 3.5는 A 지역에 대한 단면도로써 높이 값이 일정하게 250m인 것을 볼 수가 있는데, 이러한 현상이 발생하는 이유는 그림에서 볼 수 있듯이 삼각형이 주위에 존재하는 등고선의 절점과 연결 되어 생성된 것이 아니라 한 등고선의 절점으로만 이루어지기 때문이다. 따라서 이렇게 이루어지는 삼각형은 동일한 높이 값을 가지게 되므로 이러한 문제를 해결하기 위해서는 주위의 등고선과 연결된 Break Line이 필요하게 된다.

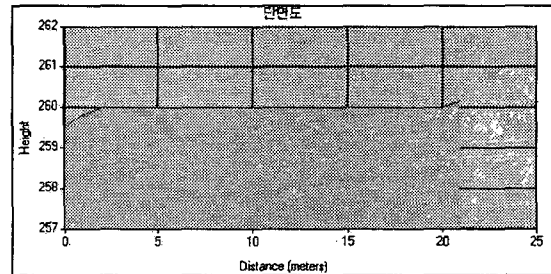
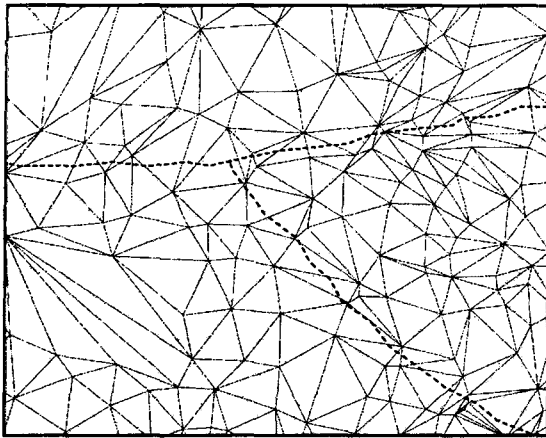
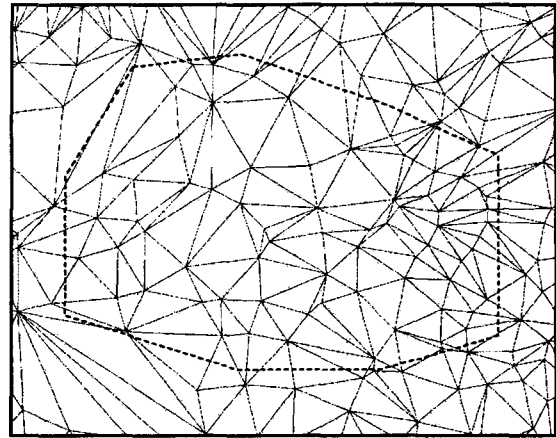


그림 3.5 A 지역의 단면도

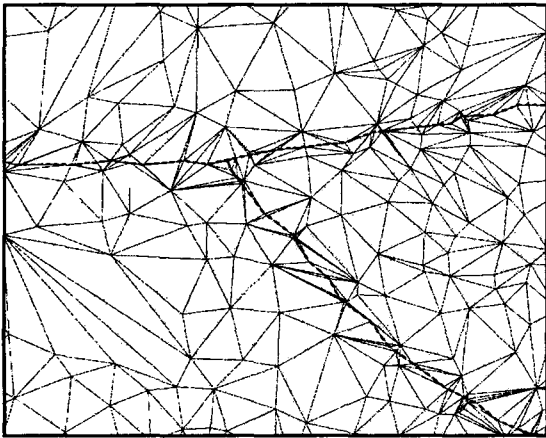
그림 3.6은 수치지도에서 추출한 하천망을 Break Line으로 TIN에 적용하기 전과 적용한 후의 결과를 보여주고 있는 것으로 TIN을 실선으로, 하천망을 점선으로 겹쳐서 표현했다. 그림 3.6 b)를 보면 그림 3.6 a)와는 다르게 하천망을 따라서 새롭게 삼각형들이 생성된 것을 볼 수가 있다.



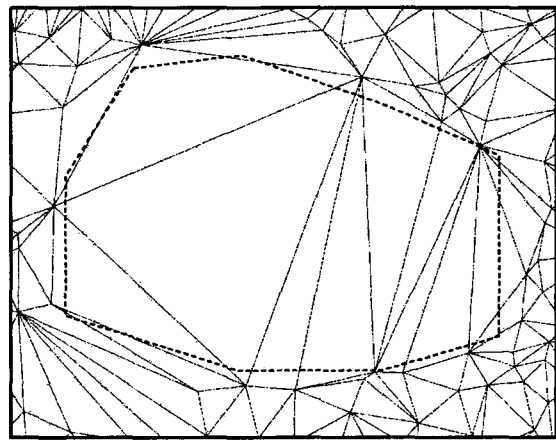
a) Break Line을 적용하기 전의 TIN



a) 점들을 제거하기 전의 TIN



b) Break Line을 적용한 후의 TIN



b) 점들을 제거한 후의 TIN

그림 3.7 점들을 제거한 결과

그림 3.6 Break Line의 적용

그림 3.7은 생성된 TIN에서 임의대로 만든 다각형 안에 존재하는 점을 제거한 결과를 보여주고 있다. 그림 3.7 a)는 TIN과 임의대로 만든 다각형을 겹쳐서 보여주고 있고, 그림 3.7 b)는 다각형 안에 존재하는 점들을 제거함으로써 새롭게 구성된 TIN을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 불규칙적으로 분포된 수치지도에서 추출한 등고선의 절점과 표고점들을 IIM 알고리즘을 이용해서 TIN을 생성한 프로그램을 구현했다.

IIM의 정확도를 검증하기 위해서 IIM으로 만든 DEM에서 생성한 등고선과 수치지도에서 추출한 등고선을 겹쳐서 시각적으로 분석하였다. 그러나 생성된 등고선과 수치지도에 추출한 등고선이 불일치하는 현상이 발생하였는데, 이는 IIM으로 생성된 TIN이 한 등고선의 절점을 이용해서 삼각형을 형성하기 때문에 발생하는 현상으로 이러한 문제점을

해결하기 위해서는 인접한 등고선과 연결해 줄 수 있는 Break Line이 필요하게 된다.

본 연구에서 제시한 Break Line을 TIN에 적용하는 알고리즘을 이용해서 하천망을 Break Line으로 고려하여 TIN에 적용했을 때 하천망의 형태를 따라서 새롭게 삼각형이 생성되는 것을 확인 할 수 있었다.

수치지도를 이용해서 DEM을 생성할 때 TIN 방법을 사용할 경우에 높이값의 오차로 인해서 원치 않은 결과가 발생하는데, 이러한 오차를 가지고 있는 점을 소거하기 위한 알고리즘을 제시했으며 IIM으로 등고선을 이용해서 만든 TIN에 임의의 다각형을 적용했을 때 원하는 결과를 얻을 수가 있었다.

추후의 연구과제로는 본 연구에서 제시한 IIM의 정확도를 객관적으로 검증할 수 있는 평가 방법이 필요할 것으로 판단되고, 또한 하나의 등고선으로 이루어지는 삼각형을 제거하기 위해서 자동적으로 Break Line을 생성하는 알고리즘에 대한 개발이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김의명, 이석균, 김태균. 1999, 방사삼각망알고리즘을 이용한 불규칙삼각망의 생성과 경사분석, 대학토목학회 논문집, Vol. 20, pp. 701-708
- 이근상, 임승현, 채효석, 조기성, 2002, GIS기반에서 TIN 데이터모델을 이용한 댐 저수량 산정에 관한 연구, 대한토목학회 논문집 Vol.22, pp. 1011-1018
- 최종현, 1996, 델로니 삼각형 알고리즘을 이용한 불규칙삼각망 생성에 관한 연구, 연세대학교 석사학위논문

Alias A. R. and E. D. Jane, 2000 The implementation of object-oriented tin-based subsystems for gis, Proc. ISPRS.

Mirante, A. and N. Weingarten, 1982, The radial sweep algorithm for constructing triangulated irregular networks, IEEE Computer Graphics & Application, Vol. 2, pp. 11-21

de Berg, M., M.V. Kreveld, M. Overmars and M. Schwarzkopf, 1998 Computational Geometry, pp183-210

Terje Midtbø, 1993, Spatial Modelling by Delaunay Networks of Two and Three Dimensions, URL : http://helga.zesoi.fer.hr/triangulation/iko_no/tmp/term/term.html