

# 스트리밍 방식을 이용한 대용량 DEM 프로세싱 프로그램의 개발 Developing Program for Processing a Mass DEM Data using Streaming Method

이동하\* · 이영균\*\* · 서용철\*\*\*

Lee, Dong Ha · Lee, Yong Gyun · Suh, Yong Cheol

## 要 旨

본 연구는 넓은 지역의 DEM 생성 시 하드웨어 성능에 따라 자료를 부분적으로 처리해야 하는 불편을 개선하고 DEM의 정밀도를 개선하는 것에 그 목적이 있다. 본 연구에서 개발된 DEM Generator 프로그램은 대용량 LiDAR 자료, 수치지형도 자료에 스트리밍 방식을 적용하여 인텍싱 및 델로니 삼각망 생성을 수행하고, Natural Neighborhood 또는 TIN 보간법을 적용한 가상 파일을 생성하여 특정한 해상도로 대규모 지역의 DEM 및 음영기복도를 효율적으로 생성하도록 설계되었다. 최종적으로 생성된 DEM 및 음영기복도는 GeoTIFF 포맷으로 제공된다. DEM Generator 프로그램은 GIS, 기상, 환경 분석 등 넓은 지역의 DEM 생성이 필요한 분야에서 기존의 부분적인 DEM 생성 및 인접 처리 과정에 의해 발생했던 시간적·경제적 손실을 절감시킬 수 있을 것으로 판단되며, 추가적인 인접 및 수정 작업이 불필요하여 DEM의 정밀도를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 스트리밍 방식, 대용량 DEM, DEM Generator 프로그램

## Abstract

This Paper describes a new program called DEM Generator need to process DEM from LiDAR data or digital map data. It is difficult to generate raster DEM from LiDAR mass point data sets and digital maps too large to fit into memory. The DEM Generator was designed to process DEM and shaded relief image of GeoTiff format in order of streaming meshes; I/O minimize tag, delaunay triangle, natural neighborhood or TIN, temporary files and grid. It is expected that we can be improved the precision of DEM and solved the time consuming problem of DEM generating of a wider area.

Keywords : Streaming Method, Large Size DEM, DEM Generator program

## 1. 서 론

컴퓨터 산업의 비약적인 발전에도 불구하고 수 백 Gigabyte 이상의 항공 LiDAR 데이터, 수치지형도 등에서 DEM 추출 과정은 하드웨어 성능에 따라 부분적으로 처리하고 인접 수정 작업을 해야 하는 불편이 있다. 대부분의 DEM 생성 소프트웨어들은 블록 인텍싱, R-Tree 구조, 슈도그리드, 스패스 렌더링 등 다양한 기법으로 효율적인 프로세싱을 지원하고 있으나(정문주, 2004), 데이터 디스플레이를 위한 데이터 로딩 작업이 선행되므로 메모리 제약으로 인해 한정된 데이터 용량

만 DEM 생성이 가능하다(Icenberg 등, 2006).

본 연구의 목적은 대용량 LiDAR 데이터, 수치지형도 데이터로부터 DEM 및 음영기복도를 생성하는 경우 필요한 데이터만 부분적으로 읽어 들여 I/O를 최소화하는 태그를 생성하고(Vitter 등, 2001; Agarwal 등, 2005), 그 후 스트리밍 방식을 적용하여 수행된 인텍싱 및 델로니 삼각망(Cignoni 등, 2003)에 특정한 보간법을 적용한 가상 파일을 생성하여 최종 격자망을 산출하는 프로그램을 개발하는 것이다. 이를 통해 처리능력이 떨어지는 일반 컴퓨터에서도 대용량 DEM, 음영기복도 데이터를 일괄적으로 처리할 수 있도록 하여, 지도제작,

2009년 11월 9일 접수, 2009년 12월 7일 채택

\* 성균관대학교 공과대학 겸임교수, 공학박사(dhlee@geo.skku.ac.kr)

\*\* (주)엠펜소프트 OEM 개발팀, 공학석사(ykle02@naver.com)

\*\*\* 교신저자·정회원·부경대학교 위성정보과학과 조교수(suh@pknu.ac.kr)

재해예측, 3D 공간정보 분야 등의 다양한 DEM 활용 분야에서 시간적·경제적 효율성을 향상 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

2. 스트리밍 DEM 프로세싱 과정

스트리밍 DEM 프로세싱은 그림 1과 같이 인덱싱, 스트리밍, 보간, 가상 파일 생성, DEM·음영기복도 생성 순으로 구성되어, DEM 및 음영기복도를 생성하게 된다. 스트리밍 프로세싱의 가장 주요한 핵심은 입력데이터는 LiDAR 포인트 데이터 또는 수치지형도의 등고선, 표고점 데이터가 대상이지만, 이러한 입력데이터의 인덱싱 과정 처리 시에 일반 DEM 프로그램처럼 메모리에서 이를 처리하지 않고, 공간 분할 구조로 관리하여 처리하는 것이다(Isenburg 등, 2003; Isenburg 등, 2006).

스트리밍의 개념은 DEM 제작 시 각 격자의 표고 연산에 필요한 데이터를 순차적으로 불러들이는 것을 의미하며, 보간법(interpolation method)으로는 수치지형도는 TIN 보간, LiDAR 데이터는 Thiessen Polygon Network 기반 Natural Neighborhood 방법을 활용하게 된다. 가상 파일의 생성은 스트리밍 프로세싱을 통해 보간된 파일을 별도의 파일로 저장하는 것을 말하며, 마지막 과정인 DEM 또는 음영기복도의 생성은 각 가상 파일들을 통합하여, 이를 최종 결과물로 저장하는 과정이다. 상기 과정들은 다음과 같은 방법에 의하여 계산된다(Maune, 2001).

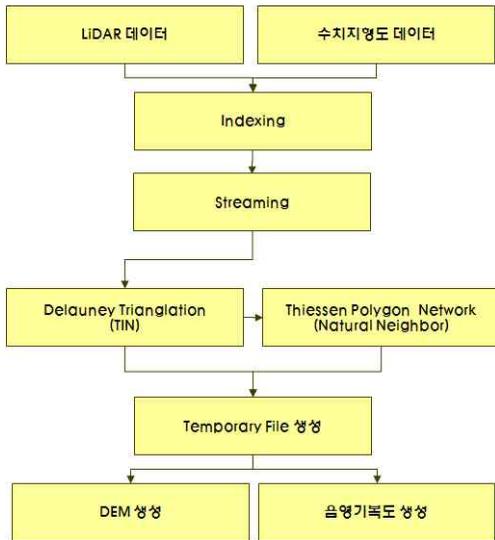


그림 1. 스트리밍 프로세싱 순서도

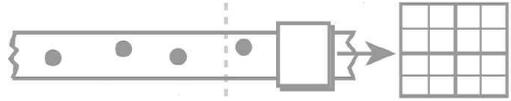


그림 2. Bounding Box 및 공간 분할

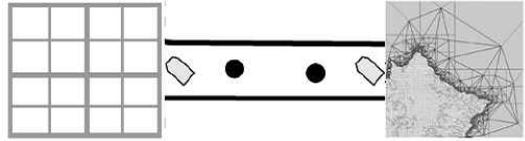


그림 3. 공간 태그 전달

2.1 인덱싱 및 스트리밍 과정

인덱싱(indexing) 과정은 입력 파일들의 전체 경계 계산, 설정된 해상도에 의한 공간 분할, 포인트 정렬, 각 공간의 태그 생성 순으로 진행된다. 전체 경계 계산은 다수의 LiDAR 관측자료 및 수치지형도 파일로부터 그림 2와 같이 Bounding Box를 계산하여 설정하는 것이다. 또한 공간 분할 과정은 사용자가 취득하고자 설정한 결과 파일의 해상도(resolution)에 따라 산출된 Bounding Box를 다시 분할하는 것으로 이 과정을 통해 공간 인덱싱(spatial indexing)을 효율적으로 수행하는 것이 가능하다.

포인트 정렬(point arrangement)은 각 분할된 공간에 해당되는 포인트 총계와 그 순서를 재정렬하는 과정으로서, 스트리밍 방식을 통하여 파일 I/O(input/output)의 과정을 최소화하여 프로그램의 처리 효율성을 높이는 과정이다(Yoon 등, 2005). 각 공간의 태그 생성은 정렬된 포인트를 순차적으로 스트리밍하는 과정에서 각 공간의 시작과 끝을 표시하는 과정으로 그림 3과 같다.

스트리밍은 인덱싱 과정을 통해 생성된 각 공간의 정렬된 포인트와 태그를 보간법 처리 모듈로 프로그램에서 설정한 파일을 통해 순차적으로 보내는 과정이다(Isenburg 등, 2006).

2.2 보간 과정

보간 과정은 스트리밍을 통해 순차적으로 쌓이는 포인트 데이터가 표고값을 결정할 수 있는 조건을 만족하는 경우, 특정한 보간 기법(interpolation method)을 통해 DEM 값을 산출하는 과정으로 본 프로그램에서는 TIN 보간과 Natural Neighborhood 보간을 지원한다.

TIN(Triangulated Irregular Network) 보간은 포인트 자료로부터 Delaunay Triangulation을 활용하여 불규칙한 형태의 연속적인 삼각형으로 연결시켜 지형의 기

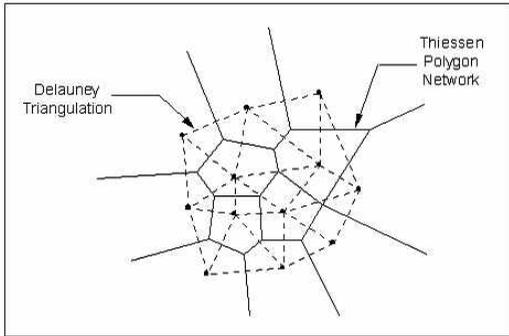


그림 4. Delauney Triangulation, Thiessen Polygon Network

복을 표현하는 방법으로 일반적으로 DEM 생성하는 과정에서 활용된다(Mitasova 등, 1993).

Natural Neighborhood 보간(Sibson, 1985)은 LiDAR 포인트를 대상으로 최적의 DEM 생성 보간 알고리즘을 지원하며, 상기 TIN 기반 Thiessen Polygon Network에서 보간점의 위치를 기준으로 외접원으로 얻어진 삼각형의 면적의 합계로 생성된다. Natural Neighborhood 보간에 사용되는 기본 방정식은 다음과 같으며, 이는 IDW(inverse distance weight) 보간에서도 동일하게 활용된다(Gold, 1989).

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i \quad (1)$$

여기서,  $F(x, y)$ 는 격자 위치  $x, y$ 에서의 최종적인 보간값을 나타내며,  $n$ 은 보간에 사용되는 포인트 데이터의 개수,  $f_i$ 는 포인트 데이터에서의 규정된 보간 함수,  $w_i$ 는 각 포인트 데이터에 대한 가중치 함수이다.

### 2.3 가상 파일 및 DEM 생성

가상 파일(temporary file)은 그림 5와 같이 보간을 통해 생성된 각 격자의 표고값을 임시로 저장하는 파일로써 이러한 가상 파일의 최적합한 생성을 통해 컴퓨터 메모리 사용을 최소화하는 것이 가능하다(Agarwal 등, 2006). 최종적으로 출력되는 DEM 파일은 광범위한 지역을 분할하여 생성된 각 가상 파일들을 취합하여 완성

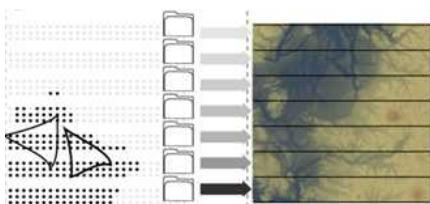


그림 5. 가상 파일을 이용한 DEM 생성 과정

되며, 출력되는 DEM 파일의 포맷은 GIS 분야에서 범용적으로 사용되는 GeoTIFF 포맷으로 이 포맷에서는 표고값을 Float 데이터 타입으로 저장한다. 단, 2GB 이상의 대용량 데이터의 경우에는 파일의 압축률을 고려하여 IMG, RRD 포맷으로 저장하도록 한다.

### 3. DEM Generator 프로그램의 개발

본 연구에서 최종적으로 개발된 DEM 생성 프로그램의 명칭은 ‘DEM Generator’로서 이 프로그램은 Visual C#.NET 언어를 이용하여 개발되었으며, 기본적인 라이브러리로 libLAS, GDAL library를 이용하였다. 입력 파일은 LiDAR LAS 포맷, NGI XYZ 포맷, ASCII XYZ 포맷, NGI 포맷, AutoCAD DXF 2000 포맷을 지원하며 결과 파일로는 DEM, 음영기복도, DSM의 GeoTIFF 이미지 포맷, Imagine IMG 이미지 포맷, 등고선도의 AutoCAD DXF 포맷을 지원한다. DEM Generator 프로그램의 전체 화면은 그림 6과 같으며, 메모리 활용의 최소화를 위해 데이터 로딩 과정을 배제하였으므로, 본 프로그램의 UI(user interface)에서는 입력 파일의 메타데이터만 확인가능하다.

#### 3.1 프로그램 성능 평가를 위한 테스트 지역 설정

본 연구를 통해 개발된 DEM Generator 프로그램의 성능 평가를 위하여 다음의 테스트 지역을 설정하고, 기존의 상용 LiDAR 자료처리 프로그램(TerraScan) 및 일반적인 공간자료 처리 프로그램(ArcGIS)과의 DEM 생성시간 및 효율, 생성 정확도에 관한 비교평가를 수행하였다. 이를 위한 테스트 지역으로는 산악지역이 많은 강원도 횡성군 일원이 선정되었으며, 대상지역의 면적은 약 997km<sup>2</sup> 정도이다. 각 프로그램의 정확한 성능평가를 위하여 대상지역을 포괄하는 고해상도 DEM을 1m의 해상도로 작성하였다. DEM 작성을 위한 기초자

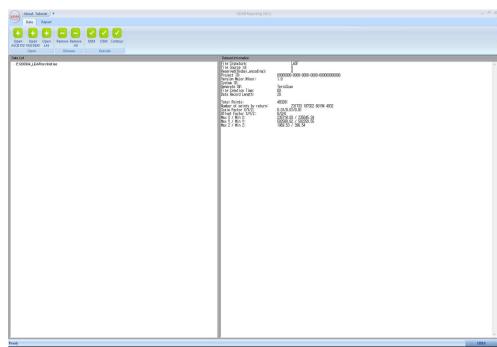


그림 6. DEM Generator

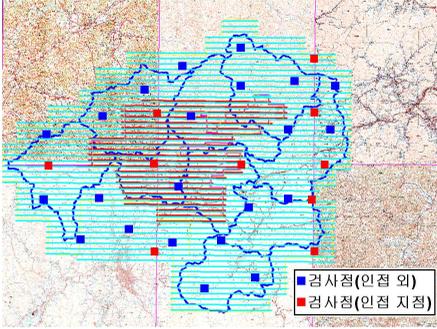


그림 7. 테스트 지역(강원도 횡성군 일원)

료로서 Leica ALS 60 LiDAR 장비를 통해 관측된 항공라이다 데이터(2.6point/m<sup>2</sup>)를 이용하였으며, 이 데이터의 경우 DEM 제작을 위한 클래스 분류를 수행한 후 LAS 1.1 포맷으로 생성된 자료이다.

그림 7은 선정된 테스트 지역을 표현한 것이다.

3.2 프로그램 성능 비교 및 평가

본 DEM Generator 프로그램을 통해 테스트 지역에 대한 DEM 생성의 효율성을 비교하기 위하여, LAS 1.1 포맷으로 저장된 LiDAR 데이터를 DEM Generator 프로그램을 이용하여 그림 1의 과정에 따라 처리하였다. 먼저 테스트 지역의 LiDAR 데이터에 대한 인덱싱 및 스트리밍 과정을 적용하여 입력된 데이터의 순차적 정렬을 수행하였으며, 특정한 보간 기법(TIN 또는 Natural Neighborhood)을 적용하여 표고값에 대한 보간을 수행하였다. 여기서는 기존의 상용 프로그램과의 비교를 위해서 TIN 보간법만을 적용하였다. 마지막으로 보간된 표고값을 공간적으로 분할하여 생성된 가상 파일을 통합하여, 테스트 지역에 대한 GeoTIFF 포맷의 DEM 및 음영기복도 파일을 생성하였다. 테스트 지역에 대하여 생성된 DEM 및 음영기복도의 해상도는 1m(격자크기: 1m×1m)이며, 다음의 그림 8(a)는 DEM Generator를 통해 생성된 DEM, 그림 8(b)는 음영기복

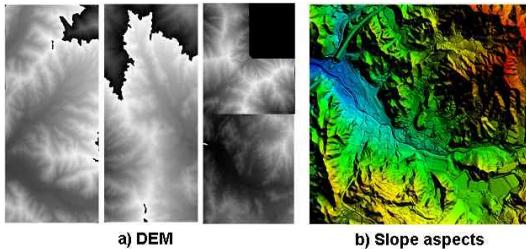


그림 8. DEM Generator를 통해 생성된 DEM 및 음영기복도

도를 나타내고 있다.

LiDAR 데이터를 이용하여 DEM 및 음영기복도 생성 시 본 연구에서 개발된 DEM Generator을 이용할 경우의 효율성을 증명하기 위하여, 기존의 상용 LiDAR 자료처리 프로그램인 TerraScan 사의 TerraScan 프로그램 및 일반적인 공간자료 처리 프로그램 ESRI 사의 ArcGIS 9.1 프로그램과의 DEM 생성 효율 비교 및 정확도 평가를 수행하였다.

DEM 생성 효율성 평가를 위하여 대용량 데이터(17,954×22,410 kbyte) 및 저용량 데이터(2,244×2,801 kbyte) 두 개의 데이터를 준비하고, DEM Generator, TerraScan 및 ArcGIS를 이용하여 각 데이터에 대한 DEM을 생성하였다. 그 후 인텔 Quad2Duo CPU E7300 @ 2.67GHz, 3G RAM, 1TB 하드디스크 용량의 컴퓨터 환경에서 각 프로그램을 이용하여 생성된 DEM별 생성 시간, CPU 점유율, 메모리 점유량을 비교하여, 본 연구에서 제안된 스트리밍 방식의 DEM 생성 효율성을 평가하였다.

다음의 표 1은 DEM Generator와 일반 상용 프로그램을 이용한 DEM 생성 시 각 프로그램의 효율성을 비교한 결과를 나타낸 것이다. 표 1에서 나타나듯이 본 연구에서 제안된 스트리밍 방식을 이용한 DEM 생성 방식의 경우 기타의 상용 프로그램에서 이용하는 방식에 비하여, DEM 생성 시간, CPU 점유율, 메모리 점유량에서 상당 부분 향상된 성능을 보여주었으며, 특히 CPU 점유율 및 메모리 점유량에서는 기존의 상용 프로그램에 비하여 최대 6배 및 최대 18배 이상 향상된 성능을 각각 나타내었다. 따라서 본 DEM Generator 프로그램을 이용하면 처리능력이 떨어지는 일반 PC를 이용하여 대용량 DEM을 제작할 경우 가장 큰 문제가 되던 DEM 생성 시간을 현저하게 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그러므로 대용량 DEM 사용이 필수적이었던 지도제작, 재해예측, 3D 공간정보 분야 등의 다양한 분야에서 시간적·경제적 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

표 1. 성능 비교 결과

| 구 분             | DEM Generator |      | TerraScan |      | ArcGIS |      |
|-----------------|---------------|------|-----------|------|--------|------|
|                 | 대용량           | 저용량  | 대용량       | 저용량  | 대용량    | 저용량  |
| DEM 생성 시간(sec.) | 112.2         | 12.3 | 268.5     | 8.5  | 439.7  | 19.2 |
| CPU 점유율(%)      | 18            | 12   | 95        | 32   | 97     | 48   |
| 메모리 점유량 (byte)  | 104M          | 100M | 1.8G      | 800M | 1.2G   | 560M |

표 2. 정확도 비교 결과

| 검사점     | 구분(cm) | DEM Generator | TerraScan | ArcGIS |
|---------|--------|---------------|-----------|--------|
| 인접 지점   | 최소값    | -25.6         | -30.5     | -45.4  |
|         | 최대값    | 36.2          | 42.5      | 35.3   |
|         | 평균     | 6.8           | 7.2       | 8.3    |
|         | 표준편차   | ±17.2         | ±21.8     | ±22.6  |
| 인접 지점 외 | 최소값    | -12.2         | -27.5     | -43.5  |
|         | 최대값    | 31.6          | 38.8      | 35.3   |
|         | 평균     | 5.1           | 4.8       | 6.2    |
|         | 표준편차   | ±14.9         | ±15.2     | ±17.4  |

또한 DEM Generator를 통해 생성된 DEM의 정확도를 평가하기 위하여 테스트 지역에 대한 직접 수준측량을 통해 그림 7과 같은 총 32점의 검사점(■, ■)을 획득하였으며, 각 프로그램을 통해 생성된 DEM 표고값과의 차이를 비교하여 정확도 검사를 수행하였다. 추가적인 인접 작업을 수행하지 않는 DEM Generator 방식에 대한 좀 더 신뢰성 있는 정확도 검사를 위하여 총 검사점 중 10점(■)은 기존 프로그램에서 DEM 생성 시 인접 작업이 수행되는 지점에 설정하였으며, 나머지 22점의 검사점(■)은 인접 지점 외에 설정하여 각각의 표고값을 취득하였다.

표 2는 설정된 인접 내외 지점의 검사점을 이용하여 각 프로그램별로 생성된 DEM과의 정확도를 비교한 결과이다. 정확도 비교 결과 각 프로그램을 통해 생성된 DEM 모두 인접 지점 내외에서 비슷한 수준의 정확도를 나타내고 있었으며, 각 정확도 수치 모두 항공 LiDAR를 이용한 표고 측량의 허용 정확도(25cm 이내)를 만족하는 것으로 나타났다. 특히 DEM Generator를 이용하여 생성된 DEM의 인접 지점 내 검사점 정확도 평가에서 인접 작업을 추가로 수행한 기타의 상용 프로그램 생성 DEM의 정확도 평가 결과보다 약 15% 이상 향상된 결과를 나타내었으며, 이는 기존 상용 프로그램으로 생성된 DEM의 경우 인접 작업으로 인해 인접 지역의 정확도가 감소하였음을 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서 제안된 스트리밍 방식을 이용한 DEM 생성 프로그램인 DEM Generator 프로그램을 이용할 경우, 대규모 DEM 생성 시 효율성 및 정확도를 향상하여 다양한 관련 분야에서 고해상도의 고정밀 DEM 활용을 가능하게 할 것으로 기대된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 스트리밍 방식을 이용하여 넓은 지역의 대규모 DEM 생성 시 하드웨어 성능에 따라 자료를 부분적으로 처리해야 하는 불편을 개선하고, 부분적으

로 처리된 DEM 자료 간의 추가적인 인접 작업에 의하여 감소되는 DEM의 정확도를 개선하기 위하여 Window 기반의 DEM Generator 프로그램을 개발하였다. 개발된 DEM Generator 프로그램은 항공 LiDAR 및 수치지형도 자료와 같이 대용량의 자료에 스트리밍 방식을 적용한 인덱싱을 통해 입력된 자료의 순차적인 정렬 및 델로니 삼각망을 생성하고, 특정한 보간 기법(TIN 또는 Natural Neighborhood)을 적용하여 사용자가 원하는 해상도를 가지는 GeoTIFF 포맷의 DEM 및 음영기복도 파일을 생성하게 된다.

개발된 DEM Generator 프로그램의 DEM 생성 효율성을 평가하기 위하여 기존 상용 프로그램의 결과와 비교한 결과, 스트리밍 방식을 이용한 DEM 생성 방식의 경우 기존의 방식에 비해 DEM 생성 시간, CPU 점유율, 메모리 점유량에서 상당 부분 향상된 성능을 보여 주었으며, 특히 CPU 점유율 및 메모리 점유량에서는 기존의 상용 프로그램에 비하여 최대 6배 및 최대 18배 이상 향상된 성능을 각각 나타내었다. 또한 DEM Generator를 통해 생성된 DEM의 정확도를 평가하기 위하여 직접 수준측량을 통해 획득된 검사점과 비교한 결과 생성된 DEM의 정확도가 항공 LiDAR 측량의 정확도를 충분히 만족시키는 것으로 나타났으며, 특히 인접 지역 내 DEM 정확도는 인접 작업을 추가로 수행한 DEM의 정확도 평가 결과보다 약 15% 이상 향상된 결과를 나타내었다.

따라서 본 연구에서 개발된 DEM Generator 프로그램을 활용할 경우 GIS, 기상, 환경, 재해예측과 같이 넓은 지역의 대규모 DEM 생성이 필요한 분야에서 기존의 부분적인 DEM 생성 및 인접 처리 과정에 의해 발생했던 시간적·경제적 손실을 절감시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 추가적인 인접 및 수정 작업이 불필요하여 DEM의 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단되어, 다양한 관련 분야(지도제작, 재해예측, 3D 공간정보 분야 등)에서 고해상도의 고정밀 DEM 활용을 통해 시간적·경제적 효율성을 향상시킬 수 있을 것

로 판단된다.

### 감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2009-3111)의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 정문주, 2003, “지형 렌더링을 위한 효율적인 자료 구조와 알고리즘”, 석사학위논문, 성균관대학교 대학원.
2. Agarwal, P.K., Arge, L. and Yi, K., 2005, “I/O-efficient construction of constrained Delaunay triangulations”, *Proc. of the 13th European Symposium on Algorithms*, Vol.3669 of LNCS., Mallorca, Spain, Springer Verlag, pp.355–366.
3. Agarwal, P.K., Arge, L. and Danner, A., 2006, “From LIDAR to grid DEM: A scalable approach”, *Proc. of International Symposium on Spatial Data Handling*.
4. Cignoni, P., Montani, C., Rocchini, C. and Scopigno, R., 2003, “External memory management and simplification of huge meshes”, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol.9, No.4, pp.525–537.
5. Gold, C.M., 1989, “Surface interpolation, spatial adjacency and GIS”, In: *Three Dimensional Applications in Geographic Information Systems*. Taylor and Francis, London, pp.21–35.
6. Isenburg, M., Lindstrom, P., Gumhold, S., Snoeyink, J., 2003, “Large mesh simplification using processing sequences”, *Proc. of Visualization 2003*, pp.465–472.
7. Isenburg, M., Liu, Y., Shewchuk, J. and Snoeyink, J., 2006, “Streaming computation of Delaunay triangulations”, *ACM Transactions on Graphics*, Vol.25, No.3, Special issue on Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006.
8. Maune, D.F., 2001, “Digital elevation model technologies and applications: The DEM users manual”, *ASPRS*, Bethesda, MD.
9. Mitasova, H. and Mitas, L., 1993, “Interpolation by regularized spline with tension: I. Theory and implementation”. *Mathematical Geology*, Vol.25, pp.641–655.
10. Sibson, R., 1981, “A brief description of natural neighbour interpolation”. In Barnett, V., ed.: *Interpreting Multivariate Data*. *John Wiley & Sons*, Chichester, pp.21–36.
11. Vitter, J.S., 2001, “External memory algorithms and data structures: Dealing with MASSIVE data”, *ACM Computing Surveys*, Vol.33, No.2, pp.209–271.
12. Yoon, S., Lindstrom, P., Pascucci, V. and Manocha, D., 2005, “Cache-oblivious mesh layouts”, *ACM Transactions on Graphics*, Vol.24, No.3, pp.886–893.