

# 병렬처리와 가상격자를 이용한 대용량 항공 레이저 스캔 자료의 효율적인 처리

## (Efficient Processing of Huge Airborne Laser Scanned Data Utilizing Parallel Computing and Virtual Grid)

한 수 희\*                  허 준\*\*                  엔 흐 바 타 르\*\*\*  
(Soo Hee Han)          (Joon Heo)              (Lkhagva, Enkhbaatar)

**요약** 본 연구에서는 대용량의 항공 레이저 스캔 자료를 효율적으로 처리하기 병렬처리 기법과 가상격자 구조를 도입하였으며 제안한 방법의 실효성을 평가하기 위하여 IDW(Inverse Distance Weighting) 방식으로 정규격자 DSM을 생성하였다. 즉, 대용량 항공 레이저 스캔 자료의 신속한 보간을 위하여 병렬처리 기법을 이용하고 불규칙적으로 분포된 포인트의 검색 효율성을 제고하기 위하여 가상격자(virtual grid)를 사용하였다. 마스터 노드와 6대의 슬레이브 노드로 구성된 클러스터를 사용하여 처리 시간을 측정된 결과 노드의 수가 증가하더라도 1에 가까운 efficiency를 나타내었으며 load scalability의 특성도 만족시켰다. 또한 용량의 한계로 인하여 단일 시스템에서 처리할 수 없는 크기의 자료를 클러스터 시스템으로 처리할 수 있음을 확인하였다.

**키워드** : 항공 레이저 스캐너, 라이더, 병렬처리, 가상격자, 클러스터

**Abstract** A method for processing huge airborne laser scanned data using parallel computing and virtual grid is proposed and the method is tested by generating raster DSM(Digital Surface Model) with IDW(Inverse Distance Weighting). Parallelism is involved for fast interpolation of huge point data and virtual grid is adopted for enhancing searching efficiency of irregularly distributed point data. Processing time was checked for the method using cluster constituted of one master node and six slave nodes, resulting in efficiency near to 1 and load scalability property. Also large data which cannot be processed with a sole system was processed with cluster system.

**Key words** : Airborne laser scanner, Lidar, Parallelism, Virtual grid, Cluster

## 1. 서론

오늘날 GIS 및 원격탐사 분야에서 자료의 양이 증가하고 분석 방법이 복잡해짐에 따라 처리 성능에 대한 관심이 고조되고 있으며 이에 병렬처리가 중요한 해법으로 부각되고 있다[1, 2, 3, 4, 5]. 특히 도시 지역의 3차원 공간 정보 데이터베이스의 구축과 갱신의 중요성이 증가하고 있는 가운데 항공 레이저 측량 기술의 실효성은 이미 널리 알려져 있으며[6, 7], 레이저 스캐너의 발달과 대상 지역의 규모가 증가함에 따라 스캔 자료의 크기도 방대해지므로 효율적인 처리 방식의 개발이 중요해지고 있다 [8, 9]. 그러나 실제로 취득되는 대용량 항공 레이저 스캔 자료의 효율적인 처리에 관한 연구는 아직까지 미흡하며 여러 상용 소프트웨어에서 일괄 처리 가능한 자료의 크

기도 컴퓨터 시스템에 크게 제약을 받고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 대용량의 항공 레이저 스캔 자료를 효율적으로 처리하기 위하여 병렬처리 기법을 도입하였으며 그 실효성을 평가하기 위하여 IDW(Inverse Distance Weighting) 방식으로 정규격자 DSM을 생성하였다.

정규격자 DSM(Digital Surface Mode, 수치표면모델)은 지형 모델링, 공간 분석, 방재 등 여러 GIS 응용 분야에서 이용되고 있으며 수치지도, 스테레오 항공/위성 광학 영상, 항공 레이저 스캔 자료 등으로부터 제작할 수 있다. 항공 레이저 측량 기술은 대상체의 3차원 위치를 빠르고 정확하게 취득할 수 있으며 고밀도의 자료 취득이 가능하므로 정밀 DSM 제작을 위한 중요한 수단으로 자리 잡고 있다. 그러나 3차원 좌표를 UTM과 같은 실제 계 좌표로 표현하기 위하여 x, y, z를 각각 4 byte의

\* 본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C04)에 의해 수행되었습니다.

\* 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사후과정, scivile@yonsei.ac.kr

\*\* 연세대학교 사회환경시스템공학부 부교수, jheo@yonsei.ac.kr(교신저자)

\*\*\* 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정, enkhbaatar@yonsei.ac.kr

double 형식으로 다룬다고 가정하면 포인트 한 개당 12 byte가 필요하다. 고밀도 중복 스캔을 수행하여 포인트 밀도를 5 points/m<sup>2</sup>라고 가정하면 10km × 10km 정도의 영역에 대한 자료의 크기는 5GB를 넘어서게 된다.

아울러 레이저 스캔 자료는 정규격자 영상과는 달리 불규칙적인 분포의 포인트로 구성되어 있으므로 특정 위치의 자료를 검색하기 어려우며 특별한 자료구조로 변환하지 않고 순차적인 검색 방식을 사용할 경우 자료의 양이 증가함에 따라 검색 시간도 함께 증가하는 문제점이 있다. IDW 보간 방식은 자료의 크기와 처리 시간이 비례하는 선형 시간 작업(linear time operation)이지만 포인트 검색 시간의 불변성이 보장되지 않으면 선형 처리 특성이 보장될 수 없다.

따라서 본 연구에서는 대용량 자료의 신속한 처리를 위하여 병렬처리 기법을 도입하여 사용된 프로세서의 수에 따른 처리 속도의 향상 정도를 확인하고, 불규칙 분포의 포인트 검색 과정에서 시간 불변성을 보장하기 위하여 가상격자(virtual grid)를 함께 적용하여 DSM 생성 과정이 선형 처리 작업으로 유지됨을 확인하고자 한다. 제한한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 처리에 투입된 프로세서의 수에 따라 처리 시간이 선형적으로 감소하는지의 여부와 동일한 개수의 프로세서가 투입된 상태에서 자료의 양의 증가함에 따라 처리 시간도 선형적으로 증가하는지의 여부를 확인하고자 한다.

그러나 가상격자를 사용함으로써 자료의 크기가 증가함에 따라 메모리 사용량도 증가하므로 처리 가능한 자료의 크기는 시스템 용량의 제약을 받게 된다. 이러한 문제 역시 클러스터(cluster) 기반의 병렬처리를 수행함으로써 일정 수준 극복됨을 확인하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 병렬처리와 피씨 클러스터

병렬처리(parallel processing)란 프로그램을 여러 개의 프로세서에 분산시켜 동시에 수행함으로써 처리 속도를 증가시키는 개념을 말하며 기상 예측, 3차원 모델링 및 시뮬레이션, 대용량 정보 처리, 인공 지능 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 병렬처리의 성능은 다음의 두 가지 기준에 따라 평가되는데, 하나는 speedup이고 다른 하나는 efficiency이다[10].

Speedup은 수식 1과 같이 크기 n의 자료를 병렬처리를 사용하지 않고 처리할 경우의 시간 복잡성(time complexity) 대 p개의 프로세서로 처리할 경우의 시간 복잡성의 비율로 나타낸다. 이상적으로는 S<sub>p</sub>(n)이 p이어야 하나 실제로는 프로세서간 불완전한 동조(sync)과 통신 지연 등으로 인해 p가 커짐에 따라 S<sub>p</sub>(n)이 p보다 훨씬 작아진다.

$$S_p(n) = \frac{T(n)}{T_p(n)} \quad \text{식 1}$$

여기서 S<sub>p</sub>(n) : speedup, T(n) : 비 병렬처리시 최적 시간

복잡성, T<sub>p</sub>(n) : 프로세서 p개 사용시 시간 복잡성

Efficiency는 수식 2와 같이 하나의 프로세서로 처리할 경우의 시간 복잡성 대 p개의 프로세서로 처리할 경우의 시간 복잡성과 p의 곱의 비율로 나타낸다. 이상적인 경우 E<sub>p</sub>(n)의 값은 1이다.

$$E_p(n) = \frac{T_1(n)}{pT_p(n)} \quad \text{식 2}$$

여기서 E<sub>p</sub>(n) : efficiency, T<sub>1</sub>(n) : 프로세서 1개 사용시 시간 복잡성

또한, 같은 시스템으로 더욱 많은 양의 자료를 처리할 경우 합리적인 범위 내에서 처리 시간의 증가가 이루어져야 하는데 이와 같은 특성을 load scalability[11]라고 한다. 대용량의 자료를 처리하기 위해서는 자료의 크기와 처리 시간의 선형성이 보장되어야 한다.

병렬처리를 수행하기 위해서는 다수의 프로세서로 구성된 하드웨어와 MPI(Message Passing Interface)[7], PVM(Parallel Virtual Machine)[8]와 같이 각 프로세서에 명령을 내리고 프로세서간 자료 흐름을 제어할 라이브러리가 필요하다. 기존에는 병렬처리를 위한 하드웨어로 수십~수백개의 CPU와 공유된 메모리로 구성된 슈퍼컴퓨터(supercomputer)를 사용하였으나, 최근 마이크로 프로세서의 성능이 크게 개선되고 병렬처리에 대한 요구가 증가함에 따라 상대적으로 매우 저렴한 가격의 클러스터(cluster)가 대중화되고 있다[14, 15, 16]. 클러스터(cluster)란 개인용 컴퓨터나 워크스테이션(workstation)과 같이 독립적인 프로세서와 메모리를 갖는 시스템들을 고속의 네트워크로 연결하여 병렬처리를 수행할 수 있도록 구성된 시스템을 말한다. 클러스터는 일반적으로 그림 2와 같이 하나의 마스터 노드(master node)와 다수의 슬레이브 노드(slave node)로 구성된다. 마스터 노드는 사용자 인터페이스, 자료의 입/출력, 슬레이브 노드의 제어 기능을 맡고 슬레이브 노드는 실제 연산 기능을 수행한다.

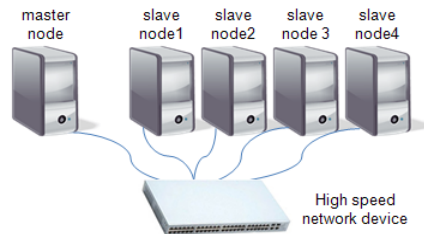


그림 1. 클러스터의 개념도

### 2.2 가상격자

가상격자는 공간상에 비정규적으로 분포된 자료를 메모리에 저장하여 효율적으로 검색하기 위한 자료구조로서 pseudo grid 라고도 한다[17, 18]. LiDAR 포인트와 같이 불규칙한 형태의 (x, y) 좌표를 갖는 자료를 가상격자를

사용하여 처리할 경우 효율성을 크게 향상시킬 수 있다. 일반적으로 가상격자는 2차원 배열로 구성하며 각각의 격자는 1차원 배열 또는 메모리 사용 효율을 고려하여 linked list로 구성할 수 있다. 그림 2에서와 같이 포인트의 실좌표  $x$ 와  $y$ 는 수식 3처럼 자료 전체의 최소 좌표 ( $x_{min}, y_{min}$ ) 만큼 이동되어  $(0, 0)$ 을 원점으로 하는 정수 좌표로 변환된 후 해당 격자에 저장된다.

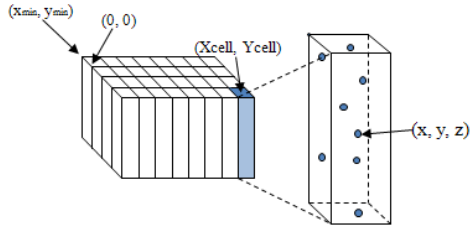


그림 2. 가상격자의 구조

$$\begin{aligned} X_{cell} &= \text{integer} \left( \frac{(x - x_{min})}{n_{CellSize}} \right) & \text{식 3} \\ Y_{cell} &= \text{integer} \left( \frac{(y - y_{min})}{n_{CellSize}} \right) \end{aligned}$$

수식 3에서  $(X_{Cell}, Y_{Cell})$ 는 포인트가 저장될 격자의 좌표,  $n_{CellSize}$ 는 격자 한 개의 실제 좌표계상의 크기이다.

### 2.3 IDW

항공 레이저 스캔 자료와 같이 불규칙한 분포의 샘플링(sampling) 자료를 정규격자 형태로 변환하기 위하여 보간(interpolation)이 필요하다. 보간은 특정 위치의 속성 값을 추정하기 위하여 주위 자료의 속성 값을 참조하는 방법을 말하며 포인트 자료에 적용 가능한 대표적인 방식으로는 nearest neighbor, natural neighbor, IDW, Kriging 등을 들 수 있다. 그 중 IDW(Inverse Distance Weighting)는 관심 위치로부터 가까운 위치에 있는 자료의 속성 값이 많이 반영되고 멀어질수록 거리에 반비례하여 그 값이 적게 반영되는 특징이 있다[19]. 또한 일정 범위의 자료만을 검색하는 지역 보간(local interpolation) 방식이므로 선형 시간 작업(linear time operation)의 특성을 나타낸다. IDW는 소프트웨어로 구현하기 쉬우며 가중치 지수와 탐색 반경의 크기를 조절함으로써 충분한 연산 부담을 가할 수 있으므로 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 채택하였다. IDW에 사용되는 수식은 수식 4와 같다.

$$\begin{aligned} \text{value}(x) &= \frac{\sum_{n=0}^N w(x_n) \times \text{value}(x_n)}{\sum_{n=0}^N w(x_n)} & \text{식 4} \\ w(x_n) &= \frac{1}{d(x, x_n)^p} \end{aligned}$$

여기서,  $\text{value}(x)$  :  $x$  위치에서의 속성 값,  $x_n$  :  $x$ 로부터 검색 반경(searching radius) 내의 임의의 위치,  $w(x_n)$  :  $x_n$  위치의 가중치,  $d(x, x_n)$  :  $x$ 와  $x_n$  간의 유클리디언 거리,  $p$  : 거리 가중 지수(2 이상의 정수)

### 2.4 병렬처리를 위한 포인트의 분배

마스터 노드에서는 자료 파일로부터 포인트의 좌표 값을 읽어 들어 어느 노드로 전송할지를 결정한 후 메시지 패싱(message passing)을 통해 해당 노드로 전송한다(그림 3). 전체 자료의 외곽 좌표가 주어지면 마스터 노드에서는 각 슬레이브 노드의 외곽 좌표를 결정하고 이를 각 노드에 전송하여 가상격자를 생성하도록 한다. 각 슬레이브 노드에서는 마스터 노드로부터 전송받은 포인트가 저장될 격자의 위치를 결정하고 해당 위치에 포인트를 저장한다.

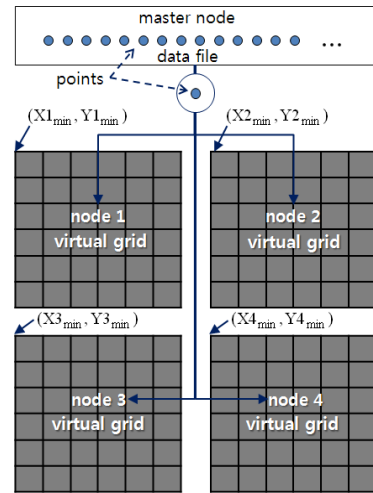


그림 3. 포인트의 분배

그러나 이와 같은 상태로 각 노드에서 독립적으로 보간을 수행하면 경계부근에서의 보간 결과가 병렬처리를 수행하지 않을 경우와 달라지며 인접 노드간 결과물의 연속성도 보장될 수 없다. 즉 그림 4에서와 같이 단일처리(single process)에서는 V1, V2 위치의 속성 값이, 일부 중첩되는 탐색반경(searching radius) 내부의 격자에 속하는 포인트들의 영향을 받아 결정되므로 연속성이 보장된다. 반면 병렬처리를 위하여 V1과 V2 사이에서 경계가 형성될 경우 V1, V2의 값이 각각 독립적인 탐색반경 내부의 격자에 속하는 포인트에 의해서만 영향을 받게 된다. 따라서 V1 및 V2 위치에서의 보간 값이 단일처리와 병렬처리의 경우 서로 상이하게 결정된다.

이와 같은 문제를 해소하기 위하여 각 노드에서는 그림 5와 같이 검색 반경(searching radius)의 크기만큼 가상 격자를 확장하고 해당 영역에 포함될 여백 포인트(marginal point)를 인접 노드로부터 전송받아 저장한다. 여백 포인트의 전송은 인접한 노드간 쌍방향으로 이루어지며 하나의 노드에서 최소 1개의 인접 노드와 여백 포인트를 주고받을 수 있고(슬레이브 노드가 두 개인 경우) 그림 6과 같이 최대 8개의 인접 노드와 여백 포인트를 주고받을 수 있다.

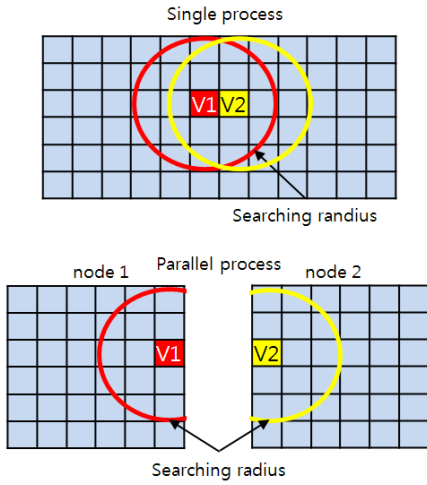


그림 4. 병렬처리시 경계 부근의 보간 문제

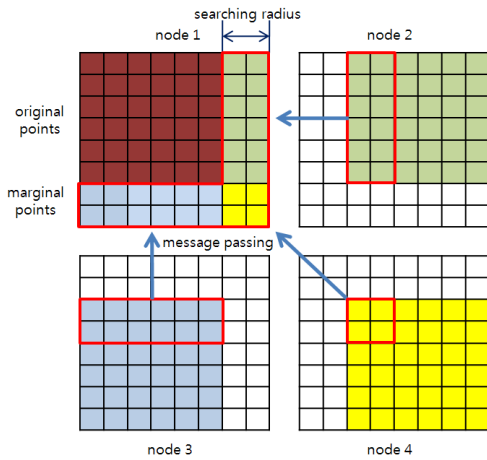


그림 5. 여백 포인트의 전송

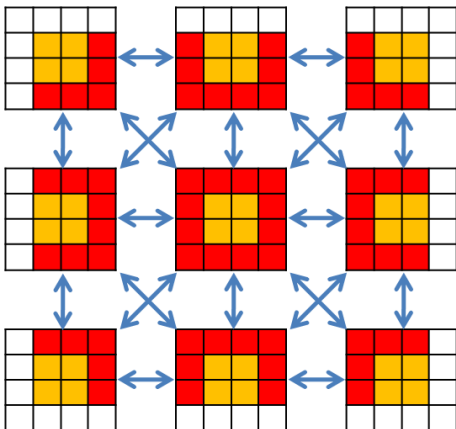


그림 6. 인접 노드가 8개인 경우

이후 각 노드별로 독립적으로 보간을 수행하고 보간 결과를 마스터 노드로 전송한다. 마스터 노드에서는 전송 받은 결과를 취합하여 하나의 DSM 파일을 생성함으로써 처리를 종료한다. 전체적인 자료의 흐름은 그림 7와 같다.

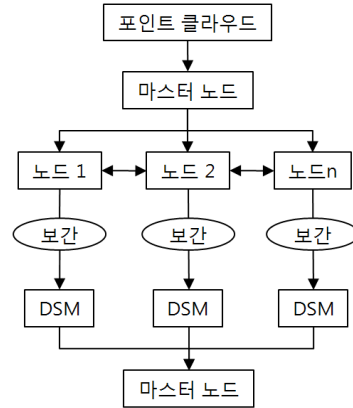


그림 7. 자료의 흐름

### 3. 적용

실험에 사용한 항공 레이저 스캔 자료는 약 400만 개의 포인트로 구성된 자료와 약 5,400만 개의 포인트로 구성된 자료이며 클러스터는 1개의 마스터 노드와 최대 6개의 슬레이브 노드로 구성하였다. 슬레이브 노드의 개수는 2의 배수로 증가시키는 것이 일반적이나 본 실험에서는 8개 이상의 노드 연결에 문제가 발생하여 6개의 노드만을 사용하였다. 자세한 실험 설정 사항은 표 1과 같으며 대상 영역의 형태는 그림 8과 같다.

표 1. 실험 설정

대상 지역	대전 일부	
대상 포인트 수	약 400만개	약 5,400만개
대상 영역 크기	1.5km by 0.8km	10.6km by 1.7km
포인트 밀도	약 3.3개/m <sup>2</sup>	약 3.0개/m <sup>2</sup>
격자 크기	1m	
IDW검색반경	10m	
IDW거리가중지수	2	
슬레이브 노드 수	1, 2, 4, 6	1, 6
노드 사양	CPU : P4 3.0Ghz RAM : 1GB Network : 1Gbps OS : windows XP	
병렬 라이브러리	mpich-nt 1.2.5 (mpich standard 1.1)	
개발 언어	C++	

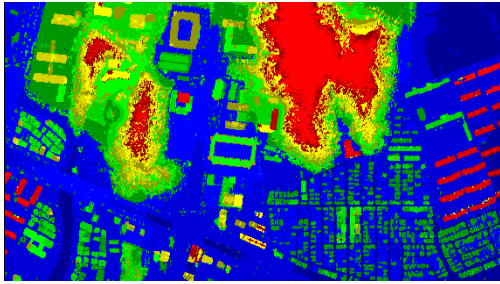


그림 8. 대상 영역 (400만 포인트)

표 1에서 슬레이브 노드의 수가 1인 경우는 병렬처리를 수행하지 않은 경우를 의미한다. 슬레이브 노드 수를 2, 4, 6개로 증가시키며 마스터 노드에서 자료 파일을 읽기 시작한 시점으로부터 생성된 DSM을 마스터 노드에서 파일로 저장하기까지 소요시간을 측정하였다. 소요 시간은 가장 긴 시간이 소요된 노드를 기준으로 측정하였으며 그림 9와 같이 총 소요 시간(Total), 노드간 자료 전송 시간(Transfer), 처리 시간(Process+delay)으로 분리하였다. 병렬처리의 성능을 나타내는 efficiency, 즉 수식 2의  $E_p(n)$ 를 총 소요 시간(Total)에 대하여 측정한 결과는 표 2와 같다. 노드 수가 많아지면서 efficiency가 점차 감소하였지만 대체로 1에 가까운 수치를 나타내었다.

추가적으로 약 5400만 개의 포인트로 구성된 자료를 6개의 슬레이브 노드로 처리한 결과는 그림 10과 같다. 포인트의 수를 최소 400만개에서 5400만개까지 증가시키면서 처리 시간을 측정한 결과 자료의 크기와 처리 시간(Total)이 비례하는 특성을 나타내었다. 따라서 제안된 방식이 load scalability의 특성을 가짐을 확인할 수 있다. 한편 5400만개의 포인트로 구성된 자료를 한 개의 슬레이브 노드만으로 처리할 경우 시스템의 메모리 용량 한계 상 처리가 불가능하였다. 따라서 단일 시스템에서의 용량 한계를 극복하기 위한 수단으로 클러스터가 활용 가능함을 확인할 수 있다.

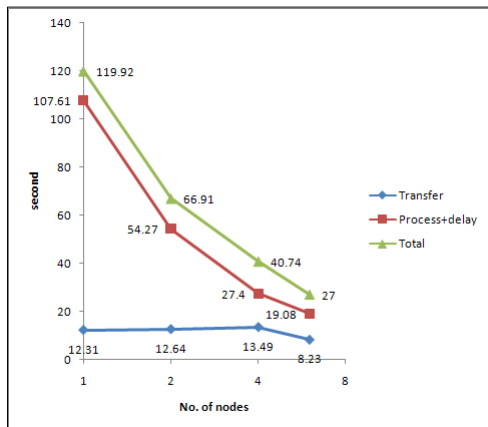


그림 9 사용된 슬레이브 노드 수에 대한 처리 시간

표 2. Efficiency

노드 수	처리 시간	$E_p(n)$
1	107.61	N/A
2	54.27	0.991432
4	27.4	0.981843
6	19.08	0.93999

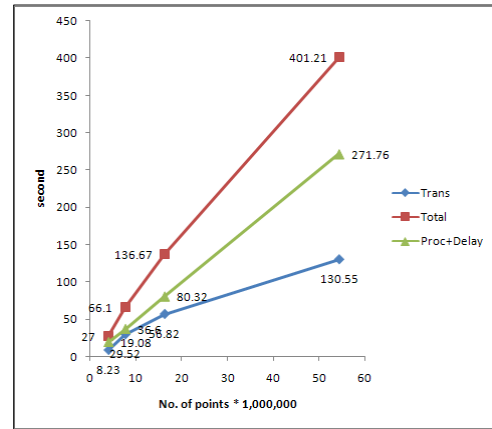


그림 10. 포인트 수에 대한 처리 시간

#### 4. 결론

본 연구에서는 대용량의 항공 레이저 스캔 자료를 빠르게 처리하기 위하여 병렬처리 기법을 도입하고 불규칙 분포의 포인트 자료를 효율적으로 검색하기 위하여 가상 격자를 사용하여 IDW 보간 방식으로 정규격자 DSM을 생성하였다. 결과적으로 병렬처리의 노드수가 증가해도 efficiency가 1에 가까운 수치를 나타내었으며 load scalability 특성도 유지되었다. 또한 클러스터 기반의 병렬처리를 수행함으로써 용량의 제약으로 하나의 시스템에서 처리할 수 없는 대용량 자료의 처리도 가능해짐을 확인할 수 있었다.

향후 연구에서는 보다 수 억 이상의 포인트로 구성된 자료를 대상으로 슬레이브 노드 수를 확충하여 실험을 수행하고자 하며 프로세서의 배치와 연결 형태의 영향에 의한 효율성을 규명하는 processor topology도 함께 고려하고자 한다. 아울러 모폴로지컬 필터(morphological filter)와 세그멘테이션(segmentation) 등 보다 다양하고 복잡한 처리 기법에 병렬처리 기법을 적용하고자 한다.

#### 참고 문헌

[1] Healey, R., Dowers, S., Gittings, B. and Mineter, M. J., Parallel Processing Algorithms For GIS, CRC Press, 1997.  
 [2] Clematis, A., Mineter, M. and Marciano, R.,

- "High performance computing with geographical data", Parallel Computing, Volume 29, Issue 10, October 2003, pp. 1275-1279.
- [3] Yang, C. and Hung, C., "Parallel Computing in Remote Sensing Data Processing", ACRS 2000 proceedings, 2000.
- [4] Plaza, A. J. and Chang, C., High Performance Computing in Remote Sensing, Chapman & Hall/CRC, 2007.
- [5] Plaza, A. J., "Heterogeneous Parallel Computing in Remote Sensing Applications : Current Trends and Future Perspectives," 2006 IEEE International Conference on Cluster Computing.
- [6] Flood, M., "Commercial Development of Airborne Laser Altimetry", International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 32, 1999, pp. 13-20.
- [7] Baltsavias, E. P., "A comparison between photogrammetry and laser scanning", ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 54, 1999, pp. 83-94.
- [8] Han, S. H., Lee, J. H., and Yu, K. Y., "An Approach for Segmentation of Airborne Laser Point Clouds Utilizing Scan-Line Characteristics", ETRI Journal, Vol. 29, No. 5, 2007, pp. 641-648.
- [9] Shan, J. and Sampath, A., "Urban DEM Generation from Raw LiDAR Data : a Labeling Algorithm and its Performance," Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 71, No. 2, 2005, pp. 217-226.
- [10] JaJa, J., An Introduction to parallel algorithms, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1992
- [11] Bondi, A. B., "Characteristics of Scalability and Their Impact on Performance,? Proceedings of Workshop on Software Performance, Ottawa, Canada, September 2000, pp. 195-203.
- [12] The Message Passing Interface, "http://www.unix.mcs.anl.gov/mpi".
- [13] Parallel Virtual Machine, "http://www.csm.ornl.gov/pvm".
- [14] Quinn, M. J., Parallel programming in C with MPI and OpenMP, McGraw-Hill, 2004.
- [15] Bader, D. A. and Pennington, R., "Cluster computing : Applications," The International Journal of High Performance Computing, 15(2), 2001, pp 181-185.
- [16] Top 500 supercomputer sites, "http://www.top500.org".
- [17] 한수희, 스캔 라인 특성을 이용한 ALS 포인트 클라우드의 효율적인 분리, 공학박사 학위 논문, 서울

대학교, 2008.

- [18] Cho, W., Jwa, Y. S., Chang, H. J., and Lee, S. H., "Pseudo-grid Based Building Extraction Using Airborne Lidar Data," Int'l Archive of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXV, Part B3, 2004, pp. 378-381.
- [19] Shepard, D., "A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data", Proceedings of the 1968 ACM National Conference, pp. 517 - 524.

#### 한 수 희



2000년 서울대학교 지구환경시스템공학부 (공학사)

2002년 서울대학교 지구환경시스템공학부 (공학석사)

2008년 서울대학교 지구환경시스템공학부 (공학박사)

2008~현재 연세대학교 사회환경시스템공

학부(박사후과정)

관심분야는 항공 LiDAR, 지상 LiDAR, 병렬처리

#### 허 준



1993년 서울대학교 토목공학과(공학사)

1997년 University of Wisconsin-Madison(M.S.)

2001년 University of Wisconsin-Madison(Ph. D.)

2000~2005년 Forest One, Inc. CTO

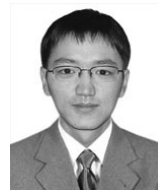
2005년 연세대학교 사회환경시스템공학부

(조교수)

2008~현재 연세대학교 사회환경시스템공학부(부교수)

관심분야는 공간정보처리 및 활용

#### 영호마타리



2005년 몽골국립대학교(공학사)

2007년 Trade and development bank of Mongolia(system engineer)

2008~현재 연세대학교 사회환경시스템공학부(석사과정)

관심분야는 image processing, geoweb, artificial intelligence