

# LiDAR자료의 3차원 정보를 이용한 최적 Sensor 위치 선정방법론 개발 Process Development for optimizing sensor placement using 3D information by LiDAR

유한서\* · 이우균\*\* · 최성호\*\*\* · 곽한빈\*\*\*\* · 곽두안\*\*\*\*\*

Yu, Han Seo · Lee, Woo Kyun · Choi, Sung Ho · Kwak, Han Bin · Kwak, Doo Ahn

## 要 旨

최근 항공사진과 고해상도 위성영상의 보급과 수치사진측량 시스템 및 분석 알고리즘의 발전으로 인하여 데이터 추출, 영상이미지프로세싱처리, 정밀 대축척지도제작 등의 연구가 진행되고 있지만 2차원 평면 정보라는 제한적인 요소를 가지고 있다. 이에, 높은 위치정확도와 개체인식을 위한 정확한 공간정보와 3차원 좌표가 필요하게 되었다. 본 연구에서는 높은 위치정확도가 검증된 LiDAR의 3차원 공간정보를 이용하여 실제 지형을 반영하였고, 센서 최적 위치를 도출하기 위해 확률알고리즘을 개발하고 공간분석을 통해 확률 값을 산정하였다. Grid기반인 2차원·3차원 센서위치지점을 생성하고 LiDAR의 3차원정보를 센서감지영역 산정에 적용하였다. 이 데이터를 바탕으로 알고리즘을 구현하여 최적 센서위치지점으로 선정하였다. 또한 최적 센서위치지점 선정 시 고려사항을 3가지 조건으로 나누었다. 첫째조건은 방해물이 없는 2차원인 경우(2-D Non obstacle), 둘째조건은 방해물이 존재하는 2차원인 경우(2-D Obstacle), 셋째는 방해물이 존재하며 3차원인 조건(3-D Obstacle)으로 설정하였다. 이 3가지 조건에 알고리즘을 적용하여 2차원, 3차원적 공간에 대한 최적위치선정 방법을 검토하였다. 결론적으로 본 연구에서는 LiDAR 데이터를 이용하여 정보 수집을 위한 지상 고정센서 위치 선정 방법론을 제시하고자 하였다.

핵심용어 :

## Abstract

In previous studies, the digital measurement systems and analysis algorithms were developed by using the related techniques, such as the aerial photograph detection and high resolution satellite image process. However, these studies were limited in 2-dimensional geo-processing. Therefore, it is necessary to apply the 3-dimensional spatial information and coordinate system for higher accuracy in recognizing and locating of geo-features.

The objective of this study was to develop a stochastic algorithm for the optimal sensor placement using the 3-dimensional spatial analysis method. The 3-dimensional information of the LiDAR was applied in the sensor field algorithm based on 2- and/or 3-dimensional gridded points. This study was conducted with three case studies using the optimal sensor placement algorithms; the first case was based on 2-dimensional space without obstacles(2D-non obstacles), the second case was based on 2-dimensional space with obstacles(2D-obstacles), and lastly, the third case was based on 3-dimensional space with obstacles(3D-obstacles). Finally, this study suggested the methodology for the optimal sensor placement — especially, for ground-settled sensors — using the LiDAR data, and it showed the possibility of algorithm application in the information collection using sensors.

Keywords :

## 1. 서 론

오늘날 인간과 컴퓨터, 사물을 유기적으로 연계함

으로써 다양하고 편리한 새로운 정보서비스를 제공해주는 센서의 활용은 실세계 현상을 모니터링하고 측정할 수 있는 핵심 인프라로 주목받고 있다. 최근 정보사회

2009년 10월 20일 접수, 2009년 11월 24일 채택

- \* (주)올프랜드 국토공간정보사업본부 과장(clubhs@all4land.com)
- \*\* 교신저자 · 고려대학교 환경생태공학부 교수(leewk@korea.ac.kr)
- \*\*\* 고려대학교 환경생태공학과 석사과정(gkattack@korea.ac.kr)
- \*\*\*\* 고려대학교 환경생태공학과 석사과정(nextsunday@korea.ac.kr)
- \*\*\*\*\* 고려대학교 환경생태공학과 박사과정(tulip96@korea.ac.kr)

로의 진전과 함께 LiDAR, 유비쿼터스 등 새로운 적용 가능한 기술개발이 요구되고 있다. 그 중 LiDAR는 정확한 3차원 좌표를 획득하는데 초점이 맞춰져 있으며, 넓은 지역에 대해 정밀한 3차원 좌표의 획득이 용이하다는 LiDAR의 장점으로 인해 정밀한 DSM을 구축하거나 건물추출 및 3차원 도시모델 구축 등이 주된 관심사였다(신정일, 2007). LiDAR를 이용한 토지의 피복 분류에 관한 연구로 Haala와 Bremer(1999)는 DSM과 CIR(Color Infra Red)을 이용하여 분류를 수행하였고, 한수희 등(2003)은 LiDAR의 반사강도와 고도자료를 이용한 토지피복분류에 관한 연구를 실시하였다. 우현욱(2004)은 위성영상과 LiDAR를 이용하여 토지피복 분류를 실시하였다. 이근상 등(2003)은 시가지의 건축 밀도를 평가하는 기법을 연구하였으며, 송철철 등(2008)은 LiDAR 데이터를 이용하여 다양한 토지피복에 대해 3차원으로 복원하는 모델링 연구를 수행하였다.

또한 새로운 기술 중에 하나인 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술이 최근 활발히 연구되고 있다. 센서의 소형화, 저가화, 지능화 추세에 따라 센서 네트워크는 물류, 교통, 환경 등의 다양한 응용 분야에 널리 적용되고 있다고 하였다(박순영, 2006). USN은 현장조사로부터 수집할 수밖에 없었던 환경정보를 실시간으로 빠르고 정확하게 취득할 수 있게 되었다. 이와 같이 정보취득 뿐만 아니라 재난재해방지를 위한 원격제어 서비스와 도로 상의 정체지역 모니터링을 통한 교통량 제어 서비스등과 같이 위치에 기반을 둔 서비스와 긴급 구난 등과 같이 센서들이 측정한 센서 데이터가 신속하고 정확하게 전달되어야 하는 실시간 모니터링 서비스처럼 센서들에 대한 위치 정보관리는 중요성이 더해진다. 센서가 취득하는 정보는 일정 지역을 대표하는 값이기 때문에 센서의 위치를 선정하는 기준의 설정이 중요하고 기준에 따라 효율적 운용, 센서 기능 극대화를 위해 선정방법은 우선적으로 행해져야한다.

기존 연구에서는 Duke University의 Dhillon과 Chakrabarty(2003)는 센서의 적정위치 선정과 분산 센서네트워크 관리 연구에서 방해물 요소를 고려하였지만 지표고도 등 3차원정보와 가시적 센서의 능력을 배제하였다. National Taiwan University의 Lin과 Chiu(2005)는 3차원 지표고도 및 방해물요소를 고려하지 않고 센서의 최적 위치를 측정하였다.

본 연구에서는 센서의 위치를 선정하는데 있어 기존 연구에서 배제된 3차원 정보를 동반된 LiDAR 자료를 이용하여 3차원정보의 지형뿐만 아니라 건물, 수목의 방해물(Obstacle)에 대한 정밀도 높은 지형정보를 적용하여 지형적 특성을 고려한 정보 수집을 위해 지상 고

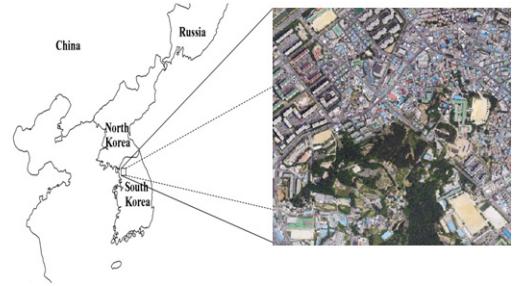


Fig. 1. 연구대상지역

정센서 위치 선정 방법론 연구를 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 연구대상지

본 연구의 대상지로 인천광역시 서구 검단신도시(37° 38' N 126° 39' E - 37° 34' N 126° 44' E)를 대상으로 하였다(Figure 1). 이 대상지역은 시가지역, 산림, 도로가 고루 분포되어 있는 특성을 지니고 있다. 연구대상지 전체면적은 1,039,183.64㎡이고 이중 건물면적은 165,497.37㎡로 전체면적의 15.9%, 산림면적은 158,207.07㎡로 전체면적의 15.2%로 구성되어있다.

### 2.2 연구자료

본 연구에 사용된 LiDAR 자료는 항공기를 이용하여 1,000m의 상공에서 2.8 points/㎡의 점밀도로 촬영되었다. 레이저스캔을 위해 사용된 장비는 Optech 社の의 ALTM(Airborne Laser Terrain Mapper) 3070 모델로 취득한 자료를 사용하였다. 취득데이터는 GRR(Ground Returns Ratio)을 산정 및 전처리를 수행하기 위해 TerraSolid 社の TerraScan프로그램을 이용하였다. 또한 공간분석 및 논리 연산처리작업을 위해 MicroSoft 社の 프로그램 개발도구인 Visual Studio 6.0과 ESRI 社の ArcObject 라이브러리를 적용하였고, 공간DB구축을 위해 ArcGIS프로그램을 이용하여 수행하였다.

### 2.3 연구방법

포인트 데이터로 구성된 센서감지영역에서 각 포인트에 포인트 번호(pID(N))를 할당하였다. 적정 센서 위치 선정에는 pID와 pID 사이에 건물 또는 산림이 센서감지에 영향을 줄 것이라고 가정하는 알고리즘을 이용하였다. 이때, 적정 센서 위치를 선정하기 위해서 Dhillon과 Chakrabarty(2003)의 센서감지모형과 방해물(Obstacle)모형의 두 가지 모형을 이용하였다.

2.3.1 평가대상 데이터

LiDAR는 자료에서 지형과 건물·수목의 정보를 처리하는데 건물과 수목의 대상체를 구분하기 위해서는 대상체의 고도정보를 이용하게 된다. 그러나 대상체의 고도는 지형의 영향을 받고 있기 때문에 실제로 같은 고도 값을 갖고 있다고 하더라도 분류의 결과가 지형과 건물, 수목 등으로 다르게 나타날 수 있다(정성은, 2008). DSM(Digital Surface Model)은 자연지물과 인공지물을 포함하는 지형으로 이루어지며, DTM(Digital Terrain Model)은 자연지물과 인공지물을 제외한 순수한 지형만으로 표현된다(오윤석, 2005). 본 연구에서는 IDW보간법과 필터링 과정을 통하여 DSM을 생성하였다. 다음 단계로 자연지물과 인공지물을 제거하여 순수한 지형으로 지면점을 분리한 DTM을 생성하였다(윤정숙 등, 2006). 구조물의 분류를 위해 DSM에서 DTM을 제거하여 자연지물과 인공지물을 생성하고 이를 비식생지역과 식생지역으로 각각의 기준을 적용하여 수목과 건물을 분류하였다. 건물과 수목의 경계부에서 오분류된 일부 값들은 항공사진을 이용하여 보완하였다(Figure 2). 래스터형식의 대상지 DSM을 Cell-size 별 point 데이터로 구축하여 지형 및 건물 높이정보 입력을 통해 센서감지영역(Sensor field)으로 정하였다.



Fig. 2. LiDAR의 건물 및 식생 정보 추출 여기서 분홍색 폴리곤은 건물, 초록색 폴리곤은 식생지역을 의미

2.3.2 센서감지모형(Sensor detection model)

Dhillon과 Chakrabarty(2003)의 센서감지모델의 데이터처리하는 평가기준 입력인자 값은 센서감지범위(Range)와 센서능력치(Threshold)이고, 최초 입력 값에 의해서 포인트를 순차적으로 연산처리 하였다. 입력된 센서감지범위(r)와 센서능력치(T) 값을 통해 센서능력초기값(a)이 설정된다. 초기 센서위치선정에 있어 a값을 이용해 센서위치선정 관계식에서 적정위치 'i' 를 도출하였다(Figure 3과 8).

대상지역을 센서가 감지할 확률(P)은 센서에서의 거리(Distance)와 센서능력초기값(a)을 고려하여 표현하였다. 여기서 센서의 능력은 센서감지범위(r)와 센서능력치(T)를 가지고 표현하였다(Equation 1, 2).

$$a = \frac{\ln T}{-r} \tag{수식 (1)}$$

$$P = e^{-ad} \tag{수식 (2)}$$

여기서, a는 센서능력초기값, T는 센서능력치, r은 센서감지범위, P는 센서가 감지할 확률, d는 센서에서의 거리

사용자 입력 값 중 임계치의 범위는  $0 < T \leq 1$ 로 설정하였다. 0값은 센서감지(Sensing)가 허용되는 범위 값이고, 1값은 센서감지가 허용되지 않는 범위 값이라고 정하였다. 센서감지모형을 통해 계산된 감지 확률을 이용하여 센서 적정 위치를 산정하였다.

센서위치지점(i: Sensor point)과 센서감지지점(j: Sensing point)사이의 거리를 통해서 i위치의 센서가 j 위치를 감지할 확률  $p_{ij}$ 를 구하고 센서감지불가 확률(Missing point)  $m_{ij}$ 를 구하였다. i위치의 센서가 전체 대상지역을 감지하지 못할 확률( $M_i$ )은 감지되는 위치 j를 전 영역으로 확장시킨 후  $m_{ij}$ 를 합산하여 구하였다(Equation 3, 4).

$$m_{ij} = 1 - p_{ij} \tag{수식 (3)}$$

$$M_i = \sum_{j=1}^N m_{ij} \tag{수식 (4)}$$

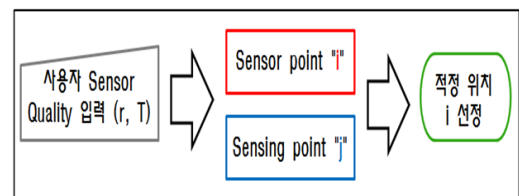


Fig. 3. 센서감지영역과 입력자료 구조

여기서  $i$ 는 센서위치지점,  $j$ 는 센서감지지점,  $p_{ij}$ 는  $i$  위치의 센서가  $j$  위치를 감지할 확률,  $m_{ij}$ 는 센서감지불가 확률,  $M_i$ 는  $i$  위치의 센서가 전체 대상지역을 감지하지 못할 확률

이때, 최소가 되는  $M_i$ 의  $pID$ 가 제 1센서의 위치가 되며, 제 1센서의 센서감지범위 내의 포인트를 제외하고 제 2, 3센서의 적지를 산정하기 위한  $M_{i2}$ ,  $M_{i3}$ 을 순차적으로 계산하였다. 제 1센서가 우선 선정 값으로 결

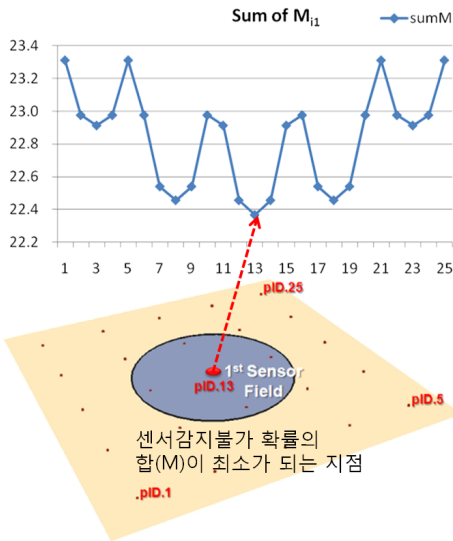


Fig. 4. 센서위치지점 예시(제 1센서)

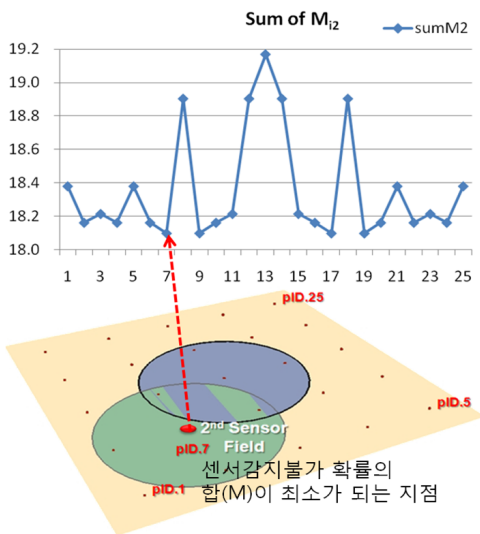


Fig. 5. 센서위치지점 예시(제 2센서)

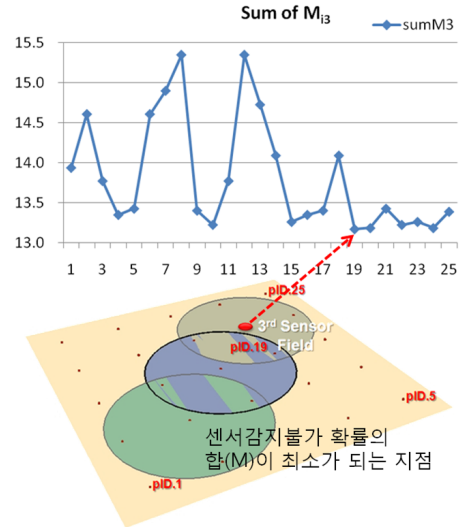


Fig. 6. 센서위치지점 예시(제 3센서)

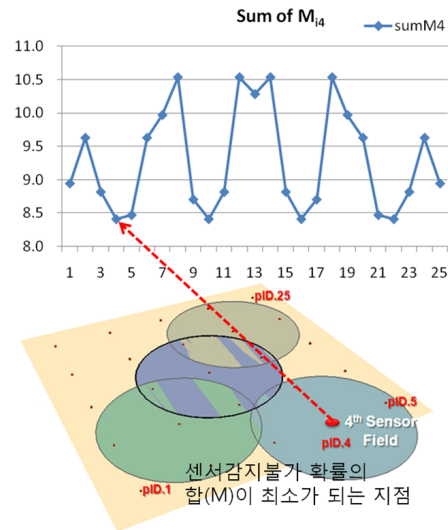


Fig. 7. 센서위치지점 예시(제 4센서)

정되면, 제 1센서의 센서감지범위 내 선정된 감지되는 위치 영역을 제외하고, 순차적으로 제 2, 제 3, 제 4센서 값을 도출하였다.

예를 들어, 2차원 가상 대상지를 25개의 그리드 포인트로 설정하고 장애물이 없다는 가정 하에 센서위치지점을 도출해보자. 각 지점별로 센서감지불가확률의 합( $M$ )을 구하고 최소의  $M_{ii}$ 값을 산출하여 제 1센서의 위치로 지정한다. Figure 4와 같이 pID.13이 제 1센서의 적정 위치로 선정된다. 제 1센서의 센서감지영역을 제

외하고 나머지 대상지에서 센서감지불확률의 합을 구한 뒤, 최소의  $M_{i2}$ 에 해당하는 지점을 제 2센서의 적정 위치(pID.7)로 정의한다(Figure 5). 이러한 방식으로 Figure 6처럼 제 3센서의 적정위치(pID.19)와 제 4센서의 적정위치(pID.4)를 선정한다.

2.3.3 방해물 모형(Obstacle Model)

Dhillon과 Chakrabart(2003)는  $P = e^{-ad}$ 을 통해 포

인트와 포인트의 거리 값 연산으로만 센서감지확률을 측정하였지만, 본 연구는 추가적으로 거리, 각도뿐만 아니라 ArcGIS의 Intersect, I-Topological Operator, I-Proximity Operator 등의 라이브러리를 활용한 공간 연산을 통해 pID와 pID간의 공간관계를 계산하였다. 방해물 모형에서는 건물, 식생 등의 방해물에 의하여 센서가 감지할 수 없는 영역이 생기는 것을 고려한다. 센서위치지점과 센서감지지점의 각도( $\theta$ )를 이용하여

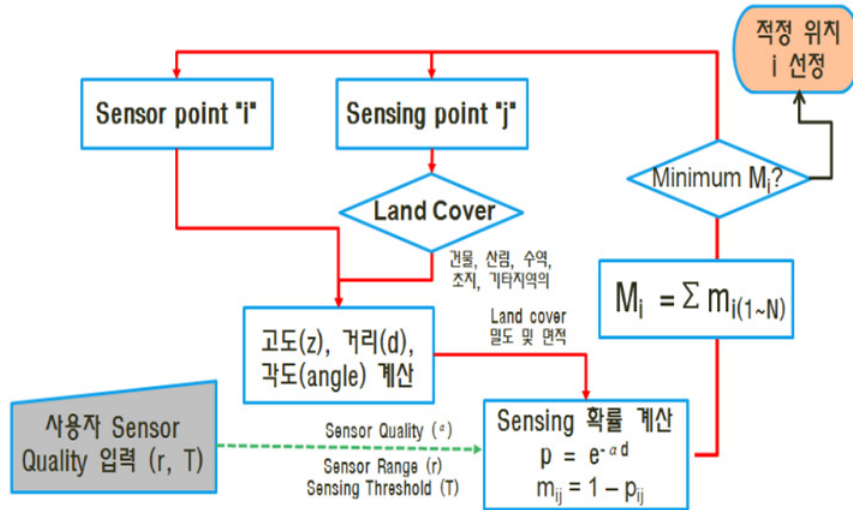


Fig. 8. 적정 센서 위치 선정을 위한 알고리즘(Dhillon과 Chakrabart, 2003)

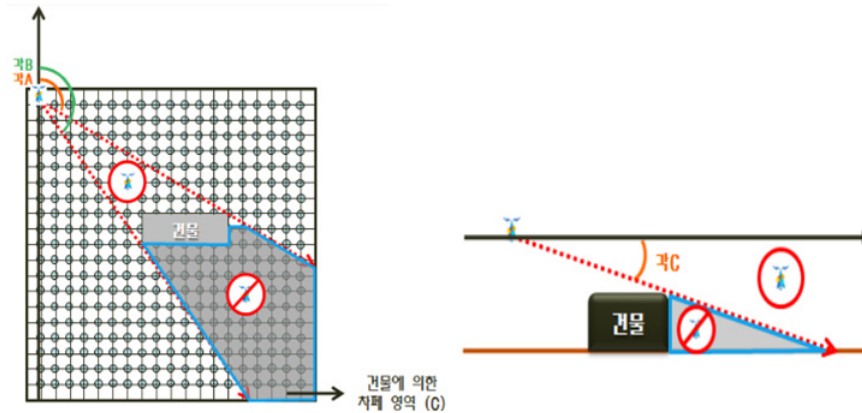


Fig. 9. 방해물 모형

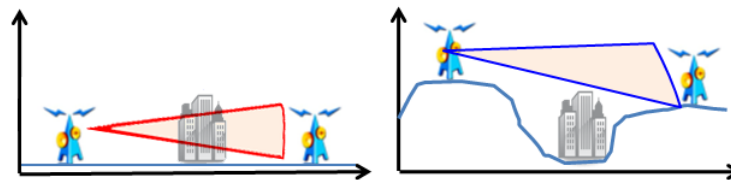


Fig. 10. 2차원 및 3차원 센서감지모식도

그림자효과(Shading effect)를 이용하였다(Figure 9). 여기서, 2차원적인 공간에서 영역 C안의 포인트와 센서위치지점  $i$ 가 이루는 각  $\theta$ 가 방해물에 의해 형성되는 각 A와 각 B사이 에 존재할 경우, 완전차폐(건물) 또는 부분차폐(산림과 초지) 된다고 가정하였다. 3차원적인 공간에서 각 C보다 각  $\theta$ 보다 클 경우, 완전차폐(건물) 또는 부분차폐(산림과 초지)된다고 가정하였다. 산림 및 초지에 의한 부분차폐의 경우, 거리에 따라 50%씩 센서감지확률이 감소한다는 전제를 포함시켰다.

$$\text{각} A < \theta (\text{C영역 센서감지 지점}) < \text{각} B$$

여기서,  $\theta$ 는 센서위치지점과 센서감지 지점의 각도.

3차원의 적정센서지점 평가에서는 고도정보가 적용된 데이터를 고려하여 공간분석으로 포인트의 상관관계를 분석하고 센서감지모형을 토대로 센서감지확률 값을 산정하였다(Figure 10).

### 3. 결과 및 고찰

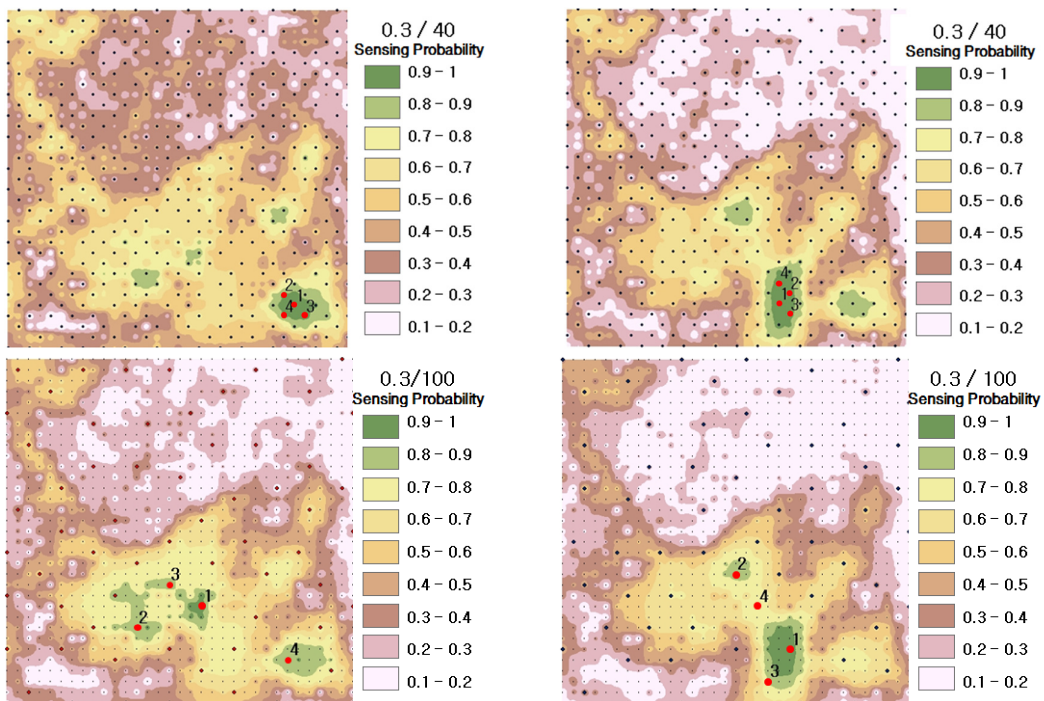
LiDAR 자료로 취득한 실제 방해물인 건물과 지형, 산림을 2차원/3차원 평가방식으로 대상지의 센서감지 범위(Range), 센서능력치(Threshold), 공간해상도(Grid

size)값을 평가조건별로 적용하여 결과 값을 도출하였다. 그리고 사용자 센서감지범위 입력 값은 10m-200m의 범위로, 센서능력치 값은 0.1-0.9의 범위로, 대상지 공간해상도 값은 30m, 50m의 범위 값으로 최적 입력 값을 평가하였다.

#### 3.1 센서감지범위(Range)의 변화에 따른 효과

2차원/3차원 평가조건 의 센서능력치(Threshold) 입력 값을 동일하게 적용하고 측정한 결과는 다음과 같다. 센서감지범위 값이 증가할수록 선정된 필요한 센서의 수, 즉, 대상 지역 전체를 감지하기 위한 센서위치지점이 감소하는 결과가 나타났다(Table 1, 2). 2차원/3차원 평가결과에서 선정된 센서위치지점의 수는 큰 변동이 없었지만 선정된 센서위치의 분포형태는 상이한 결과가 나타났다(Figure 11).

3차원 평가조건 의 경우 지형, 건물, 산림의 3차원 고도정보에 따라 방해물이지만 더 높은 고도정보를 가진 지형지물이기 때문에 방해물이 되지 못한 경우로 사료된다. 또한 산림영역과 건물밀집지역의 경계부에 띠를 이루는 분포형태는 크게 변화하지 않은 결과가 나타났다. 센서감지가 통과하지 못하는 건물과 같은 방해물에 적용되는 평가방식과 다르게 산림영역에서는 가치치



센서감지확률 및 센서위치지점 분포(2차원)

센서감지확률 및 센서위치지점 분포(3차원)

Fig. 11. 센서감지범위(Range)의 변화에 따른 센서감지확률 및 센서위치지점 지도(IDW 보간 후)

Table 1. 센서감지범위(Range)의 변화에 따른 센서위치지점의 수(2차원)

Valuation factor		Grid Size(m)	
Range	Threshold	30×30	50×50
40	0.3	440	400
100		67	62
160		31	27
200		20	21

Table 2. 센서감지범위(Range)의 변화에 따른 센서위치지점의 수(3차원)

Valuation factor		Grid Size(m)	
Range	Threshold	30×30	50×50
40	0.3	446	400
100		66	66
160		31	26
200		19	17

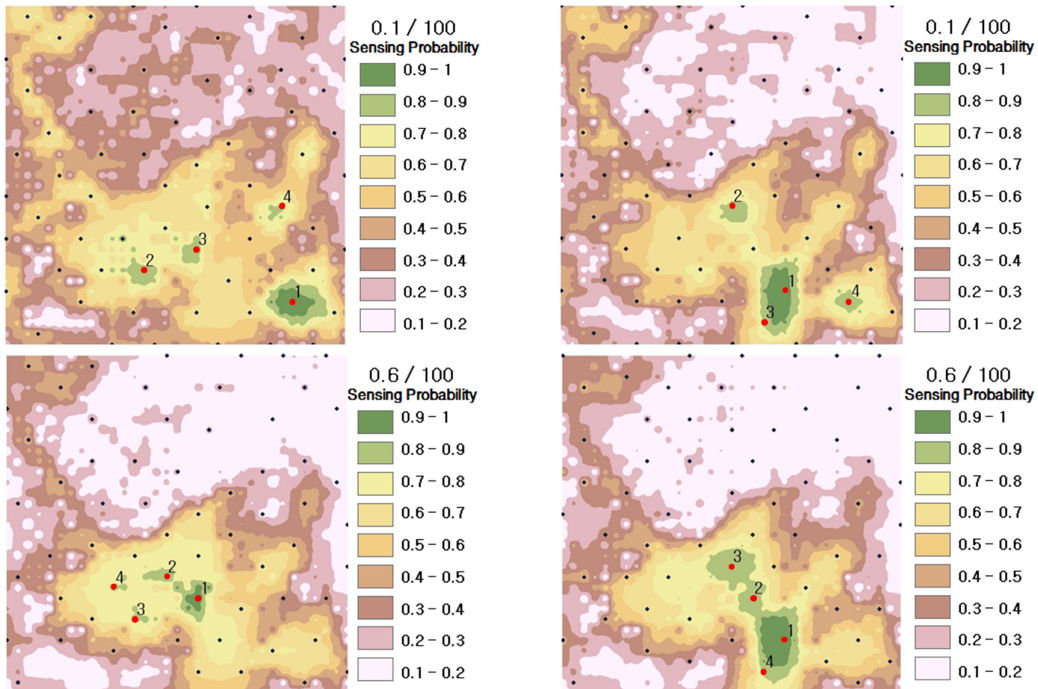
값이 적용되었고 3차원 지형지물정보가 적용되면서 나온 분포형태라 판단된다.

센서감지확률을 변화를 Figure 11에서 보면 2차원에서 감지확률이 증가했던 영역이 3차원 평가조건은 건물밀집지역에서 감소하는 변화를 볼 수 있다. 위의 결과를 토대로 최적 센서위치지점을 선정한 결과는 Figure11에 검은색과 붉은색 점으로 표시하였다. 특히 제 1센서에서부터 제 4센서까지의 위치는 붉은색 점과 함께 1부터 4까지의 라벨을 부여하였다. 그 결과 2차원 방해물 모형에서는 제 1센서에서 제 4센서가 건물 및 산림의 방해물이 없는 곳에 위치하였다. 방해물의 높이를 고려한 3차원 방해물 모형의 결과는 비교적 높이가 높은 산림의 부분에 제 1센서에서 4센서가 위치하는 것을 알 수 있었다. 센서감지범위를 고려했을 때, 3차

원 방해물 모형에서는 제 1센서위치지점이 크게 차이가 없었으나, 2차원 방해물 모형과 비교 시 센서감지범위에 따라 제 1센서위치지점이 상이한 것을 알 수 있었다. 또한, 센서감지범위가 40인 3차원 방해물 모형에서는 제 1-4센서가 산림 부분에서도 특히 고도가 높은 지역에 집중적으로 분포하는 것으로 나타났다. 하지만, 센서감지범위가 100인 3차원 방해물 모형에서는 비교적 제 1-4센서가 전체 산림 부분에 고르게 분포하는 것으로 나타났다.

### 3.2 센서능력치(Threshold)의 변화에 따른 효과

2차원/3차원 평가조건에서 센서감지범위(Range)의 입력 값을 동일하게 적용하고 단계 별 입력 값을 측정 한 결과 Table 3, 4와 같이 대상 지역 전체를 감지하는



센서감지확률 및 센서위치지점 분포(2차원)

센서감지확률 및 센서위치지점 분포(3차원)

Fig. 12. 센서능력치(Threshold)의 변화에 따른 센서감지확률 및 센서위치지점 지도(IDW 보간 후)

Table 3. 센서능력치(Threshold)의 변화에 따른 센서 위치지점의 수(2차원)

Valuation factor		Grid Size(m)	
Range	Threshold	30×30	50×50
100	0.1	67	63
	0.3	66	62
	0.6	66	65
	0.9	69	64

Table 4. 센서능력치(Threshold)의 변화에 따른 센서 위치지점의 수(3차원)

Valuation factor		Grid Size(m)	
Range	Threshold	30×30	50×50
100	0.1	66	65
	0.3	66	66
	0.6	68	66
	0.9	70	62

센서위치지점(Sensing Point) 수의 변화가 2차원/3차원 거의 동일한 변화가 나타났다. 센서감지확률분포도는 Figure 12 결과에서처럼 산림영역중심으로 확률분포영역이 나타났지만, 센서 선정 시 평가 조건상에서 센서 능력치 값의 변화로 인한 센서위치지점(Sensing Point) 수의 영향은 크게 받지 않는 것으로 사료된다. 센서감지확률 값의 변화도 건물밀집지역, 산림영역 등에서도 영역별 3차원 지형지물 고도정보가 고려되어 센서확률 값이 증가했지만 대체적으로 큰 변화가 나타나지 않았다. 위의 결과를 토대로 최적 센서위치지점을 선정한 결과는 Figure12에 검은색과 붉은색 점으로 표시하였다. 특히 제 1센서에서부터 제 4센서까지의 위치는 붉은색 점과 함께 1부터 4까지의 라벨을 부여하였다. 센서감지범위에 따른 센서위치지점 모의 결과와 마찬가지로 2

차원 방해물 모형에서는 제 1센서에서 제 4센서가 건물 및 산림의 방해물이 없는 곳에 위치하였고, 3차원 방해물 모형의 결과에서는 비교적 높이가 높은 지역에 제 1센서에서 4센서가 위치하는 것을 알 수 있었다. 센서감지범위와 마찬가지로 센서능력치를 고려했을 때, 3차원 방해물 모형에서는 제 1센서위치지점이 크게 차이가 없었으나, 2차원 방해물 모형과 비교 시 센서능력치에 따라 제 1센서위치지점이 상이한 것을 알 수 있었다. 반면, 센서능력치의 변화를 고려할 경우, 3차원 방해물 모형에서 센서감지범위에 따라 제 1-4센서의 분포가 집중되거나 넓게 분포하는 특징과는 다르게 제 1-4센서의 분포가 집중되는 경우는 나타나지 않았다.

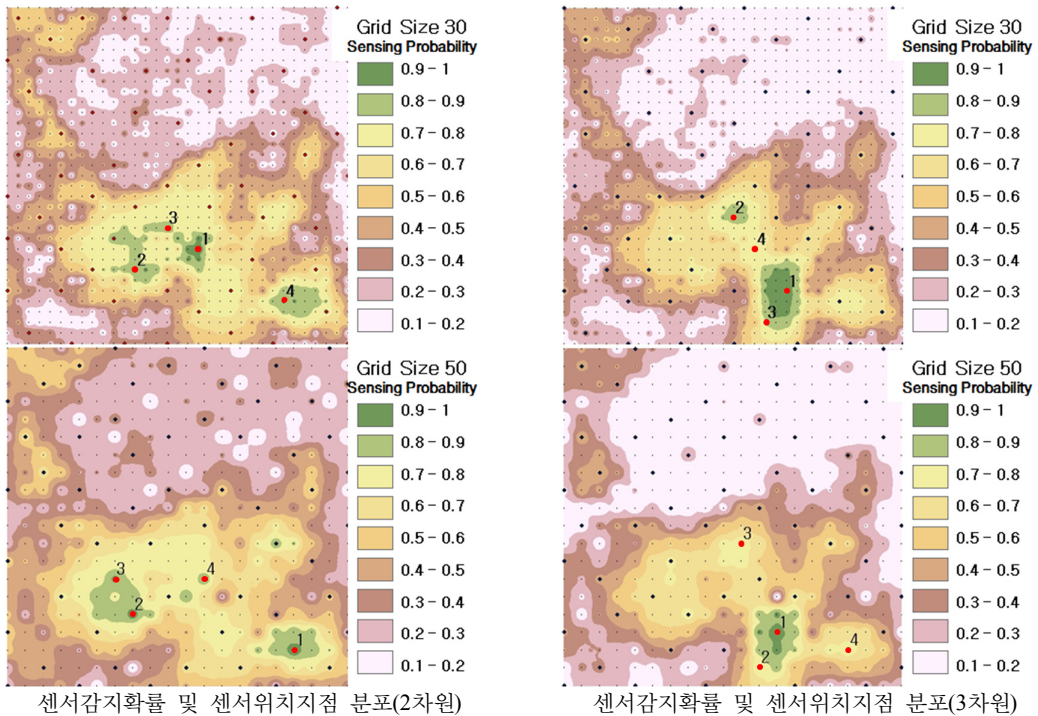


Fig. 13. 대상지 공간해상도(Grid size)의 변화에 따른 센서감지확률 및 센서위치지점 지도(IDW 보간 후)



Table 5. 대상지 공간해상도(Grid size)의 변화에 따른 센서위치지점의 수(2차원)

센서감지영역	Grid Size (센서능력치0.3고정)		센서능력치	Grid Size (감지영역100고정)	
	30×30	50×50		30×30	50×50
40	440	400	0.1	67	63
100	67	62	0.3	66	62
160	31	27	0.6	66	65
200	20	21	0.9	69	64

**3.3 공간해상도(Grid size)의 변화에 따른 효과**  
2차원/3차원은 동일하게 Range 적용 값은 전반적으로 대상지 공간해상도(Grid Size)가 증가할수록 전체 대상 지역을 감지하기 위한 센서위치지점(Sensor Point)의 수가 감소하는 경향이 나타났다. 또한 2차원에서는 대상지 공간해상도가 증가하면서 센서 감지확률이 증가하는 분포도가 나타났지만 3차원 평가에서는 대상지 공간해상도가 증가하면서 크게 감지확률이 떨어지는 것으로 나타났다. 2차원에서 대상지 공간해상도가 증가로 센서감지확률분포가 증가하였지만 3차원은 실제 지형지물정보가 적용되어 감지확률이 낮아졌기 때문이라 판단된다(Figure 13). 대상지 공간해상도의 변화에 따른 분석 단계에서 센서감지확률은 평가기준이 되는 센서감지영역(Sensor field)의 크기 차가 크기 때문에 확률의 큰 변화가 나타났다.

위의 결과를 토대로 최적 센서위치지점을 선정한 결과는 Figure13에 대상지 공간해상도는 작은 검은 점으로 표시하였고 센서위치지점은 큰 검은 점으로 표시하였다. 특히 제 1센서에서부터 제 4센서까지의 위치는 붉은색 점과 함께 1부터 4까지의 라벨을 부여하였다. 센서감지범위와 센서능력치에 따른 센서위치지점 모의 결과와 마찬가지로 2차원 방해물 모형에서는 제 1센서에서 제 4센서가 건물 및 산림의 방해물이 없는 곳에 위치하였고, 3차원 방해물 모형의 결과에서는 비교적 높이가 높은 지역에 제 1센서에서 4센서가 위치하는 것을 알 수 있었다. 3차원 방해물 모형에서는 제 1센서 위치지점이 크게 차이가 없었으나, 2차원 방해물 모형에서는 센서능력치에 따라 제 1센서위치지점이 상이한 것을 알 수 있었다. 센서능력치의 변화에 따른 센서분포와 마찬가지로 3차원 방해물 모형에서 대상지의 공간해상도 변화에 따라 제 1-4센서의 분포가 집중되는 경우는 나타나지 않았다.

본 연구 결과에서 평가조건 중, 센서감지영역의 경우, 단계별 센서능력치 변화 값에 의한 결과가 명확하고, 단계별 센서감지확률분포의 차이가 잘 나타나 적절한 평가방법으로 판단된다. 센서능력치의 경우, 단계별 결

Table 6. 대상지 공간해상도(Grid size)의 변화에 따른 센서위치지점의 수(3차원)

센서감지영역	Grid Size (센서능력치0.3고정)		센서능력치	Grid Size (감지영역100고정)	
	30×30	50×50		30×30	50×50
40	446	400	0.1	66	65
100	66	66	0.3	66	66
160	31	26	0.6	68	66
200	19	17	0.9	70	62

과 값에 변화는 크게 없지만 대상지 전체의 감지확률분포는 확인할 수 있었고, 대상지 공간해상도는 3차원 정보가 적용된 공간해상도의 변화 값에 선정된 센서위치지점 수의 결과 차이가 크게 없지만 감지확률분포가 공간해상도에 따라 큰 차이가 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 LiDAR의 3차원 공간정보 자료를 추출하고 센서감지모형 이론을 준한 모의실험으로 최적 위치를 선정하고 기존 2차원 평면상의 측정결과와 비교하였다. 비교결과로 기존연구인 Dhillon과 Chakrabarty (2003)의 센서감지모형은 센서위치와 방해물에 대한 대상지 실험에서 센서감지거리 값을 통해 선정된 센서 위치지점의 수는 20-440개(2차원)로, 19-400개(3차원)의 범위로 나타났고, 센서능력치에 따라서 62-69개(2차원), 62-70개(3차원)의 범위의 결과를 얻었다. 대상지 공간해상도에 따른 분석에서 17-446개(센서능력치고정), 62-70개(센서감지영역고정) 범위의 센서가 필요한 것으로 나타났다.

2차원, 3차원 임계치 입력 값에 의한 선정된 센서의 수 차이는 크게 나타나지 않았지만 3차원 공간정보를 적용함으로써 선정된 센서위치가 변화함을 확인할 수 있었다. 즉, 위치적 고도에 따라서 표면상 방해물로 표현되지만 공간 관계상으로 방해물이 될 수 없는 결과를 확인할 수 있었다.

이상의 결론은 센서 선정 방법론 통해 단계별 평가지표 적용과 함께 공간배치 평가결과를 활용하면 정확성이 높은 센서위치선정 값의 취득이 가능하고, 이는 센서를 통한 정확한 데이터 수집과 소요비용에 대한 보다 실질적 도출로 도움이 될 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Dhillon and Chakrabarty, 2003, Sensor Placement for Effective Coverage and Surveillance in Distributed

- Sensor Networks, Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion 2003, 1609-1614.
2. Frank Y. S. Lin, P. L. Chiu., A Near-Optimal Sensor Placement Algorithm to Achieve Complete Coverage / Discrimination in Sensor Networks, IEEE Communications Letters, 9 (1): 50-92.
  3. Haala, N., Brenner, C. 1999, Extraction of Building and Trees in Urban Environments, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54: 130-137.
  4. 박순영, 2006. 센서 네트워크 환경에서 실시간 영역 질의 처리를 위한 센서 데이터 관리 시스템. 인하대대학원 박사학위 논문.
  5. 송철철, 이우균, 정희성, 이관규. 2008. 토지피복 및 지형특성을 고려한 항공라이다자료의 3차원 표면모형 복원. 한국GIS학회. 한국GIS학회지. 16 (1): 19-32.
  6. 신정일. 2007. LiDAR 반사강도 자료의 신호특성분석 및 정규화. 석사학위논문. 인하대학교.
  7. 오윤석, 배상근, 김병국. 2005. 수량계산을 위한 LiDAR 와 SBES데이터 통합프로그램 개발에 관한 연구. 한국 GIS학회지. 13(2): 147-166.
  8. 우현욱. 2004. 고해상도 위성영상과 항공레이저 측량자료를 이용한 토지피복분류. 석사학위논문. 전북대학교.
  9. 이근상, 고덕구, 조기성. 2003. 항공레이저측량 자료를 이용한 시가지 건축밀도 평가에 관한 연구. 한국지리정보학회. 한국지리정보학회지. 6 (3): 95-106.
  10. 정성은, 2008. 항공 LiDAR와 지상 Laser Scanner를 이용한 개체목의 수관 체적 추정. 고려대학교. 석사학위 논문.
  11. 한수희, 김용일, 유기윤. 2003. LiDAR 반사강도와 DSM을 이용한 토지피복 분류에 관한 연구. 대한토목학회. 대한토목학회논문집. 23 (1D): 107-114.