

# 교통소음지도 작성을 위한 3차원 도시모델 구축 : 항공 LiDAR와 GIS DB의 혼용 기반

## Extraction of Three-dimensional Hybrid City Model based on Airborne LiDAR and GIS Data for Transportation Noise Mapping

박 태 호\*·전 범 석\*\*·장 서 일†  
Taeho Park, Bumseok Chun and Seo Il Chang

(Received September 22, 2014 ; Revised November 11, 2014 ; Accepted November 11, 2014)

**Key Words** : Noisemap(소음지도), LiDAR(라이다), GIS(지리정보시스템), Digital Surface Model(수치 표면 모형), Digital Elevation Model(수치 표고 모형)

### ABSTRACT

The combined method utilizing airborne LiDAR and GIS data is suggested to extract 3-dimensional hybrid city model including roads and buildings. Combining the two types of data is more efficient to estimate the elevations of various types of roads and buildings than using either LiDAR or GIS data only. This method is particularly useful to model the overlapped roads around the so called spaghetti junction. The preliminary model is constructed from the LiDAR data, which can give wrong information around the overlapped parts. And then, the erratic vertex points are detected by imposing maximum vertical grade allowable on the elevated roads. For the purpose of efficiency, the erratic vertex points are corrected through linear interpolation method. To avoid the erratic treatment of the LiDAR data on the facades of buildings 2 meter inner-buffer zone is proposed to efficiently estimate the height of a building. It is validated by the mean value(=5.26 %) of differences between estimated elevations on 2 m inner buffer zone and randomly observed building elevations.

### 1. 서 론

소음지도는 개발계획단계에서의 환경영향평가를 비롯하여 지방자치단체의 교통 및 개발계획 수립, 민원해결 등에 사용되고 있다. 소음지도는 실제 측정정보보다 경제적이고, 넓은 범위의 소음을 쉽게

알 수 있기 때문에 광범위하게 사용되고 있는 추세에 있다.

하지만, 소음지도의 제작과정에 있어서 특히 3차원 도시모델의 형성에서 몇 가지의 문제점이 있다. 무엇보다도 도시형태보다는 고가의 높이나 건물의 높이 등과 같은 높이에 대한 문제가 가장 크다. 국내에 작성된 GIS(지리정보시스템)정보에는 도시 구

† Corresponding Author ; Member, Department of Environmental Engineering, University of Seoul / Center for Geographic Information System, Georgia Institute of Technology  
E-mail : schang@uos.ac.kr  
Tel : +82-2-6490-2865, Fax : +82-2-6490-5440

\* Member, Department of Energy and Environmental System Engineering, University of Seoul

\*\* Center for Geographic Information System, Georgia Institute of Technology

# A part of this paper was presented at the KSNVE 2014 Annual Autumn Conference

‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

성요소의 지리적 위치는 정교하게 구성되어 있으나, 높이에 있어서는 취약하다. 건물 높이의 경우 해당 건물의 층수는 나타나지만, 실제 높이는 알 수 없으며, 도로의 높이에 대한 정보는 나타나지 않는다. 도로의 높이는 소음원으로서 3차원적 위치에 해당하기 때문에 소음지도 제작에 있어서 매우 중요한 자료이며, 건물 높이 역시 건물 전면 소음지도(facade noise map)를 작성 할 경우 수음자의 높이에 직결되는 문제이므로 정확한 자료가 필요하다.

항공 LiDAR 데이터는 실측자료로서 정확성과 신뢰성을 가지고 있지만, 많은 수의 점 데이터로 이루어져 3차원 솔리드(solid)모델을 구축하기 위해서는 일련의 처리과정이 필요하다. 그 과정에서 다른 데이터베이스, 예를 들어 항공사진이나 도시 인프라 GIS 데이터와 같은 자료와의 병행처리가 요구된다. 김성준과 이임평은 수치지도의 도로경계 레이어와 LiDAR 데이터를 이용하여 도로의 3차원 기하모델을 생성하였다<sup>(1)</sup>. 또한 이현직, 유지호, 김상연은 디지털 항공사진영상과 LiDAR 데이터를 이용하여 토지피복을 분류하고, 건물 및 도시의 형태를 추출하였다<sup>(2)</sup>. 이처럼 다양한 방법을 통하여 3차원 도시모델을 구축할 수 있다. 하지만, LiDAR를 단독으로 이용하거나, 항공사진영상 등을 혼합하였을 경우에도 정확한 도시모델을 구축하는 것에는 한계가 있다. 또한, GIS 데이터를 이용하는 것과 비교해서 데이터 가공에 걸리는 시간이 길다. GIS 데이터를 이용할 경우 정확도의 측면에서 타 데이터보다 월등하고, 3차원 도시모델의 생성 시간을 현저하게 줄일 수 있다.

이 연구에서는 정교한 3차원 도시모델 형성을 위해 구축되어 있는 기초적인 GIS 데이터와 병행하여 LiDAR 데이터를 이용하여 도로 및 건물의 고도 데이터 형성방법을 알아본다. 소음지도의 제작에 필요한 3차원 도시모델의 구축을 목표로 하지만, 필요이상으로 실제에 가까운 모델은 과도한 음향학적인 계산을 필요로 하므로 최소한의 계산량으로 소음지도의 이용목적에 충분한 정확도를 얻을 수 있는 모델 구축을 목표로 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 LiDAR 데이터의 이용과 그 한계

LiDAR는 light detection and ranging의 약어로,

레이저광선을 발사하여 지표면과 지물에 반사된 펄스를 분석하여 그 형태를 분석하는 방법이다<sup>(3)</sup>. LiDAR는 용도에 따라 지상 또는 항공에서 측정할 수 있지만, 3차원 도시모델을 구축하기 위해서는 공중에서 지표로 향하여 레이저를 발사하는 항공 LiDAR를 사용한다. LiDAR 데이터는 기본적으로 점 형태의 데이터로 구성되며, 각 점에는 지점의 X,Y,Z 좌표와 함께 펄스의 범위에 따라 지면, 초목, 건물, 수변공간 등의 정보도 포함되어 있다. 지면의 경우만 따로 정리하여 가공한 자료를 DEM(digital elevation model)이라고 하며, 지면을 포함하여 건물 및 지면위의 모든 데이터를 포함하여 가공한 자료를 DSM(digital surface model)이라고 한다. DSM의 예를 Fig. 1에 나타내었다.

점으로 표현된 데이터를 활용하기 위해서는 각 점들을 보간하여 래스터(raster)화된 자료로 변환하여 사용한다. 래스터 데이터는 각 셀(cell)이 해당 지점의 높이를 나타내며, 셀의 크기에 따라 정밀도가 달라진다.

생성된 DEM은 도시에 포함되는 모든 건물과 도로의 바닥 고도가 되며, DSM을 이용하면 다리 및 고가의 높이를 산정할 수 있다.

LiDAR 데이터는 크게 두 가지로 활용할 수 있다. 첫 번째로, 도로의 높이를 산정하는 것이고, 두 번째는 건물의 높이에 대한 부분이다.

도로의 높이는 일반적으로 지반의 고도에 도로의 정보(위치, 폭 등)를 겹쳐서 모델링을 해 왔으나, 교량이나 고가도로의 경우 그러한 방법이 적용될 수 없다. 그래서 개별적인 확인작업을 통해 수정하였



Fig. 1 Point cloud of LiDAR data in Atlanta, GA, USA

으므로 비효율적이었다. 이 논문에서는 LiDAR 데이터와 교통관련 데이터를 병행처리하여 교량과 고가도로를 효율적으로 모델링하는 방법에 대하여 논한다. 특히, 인터체인지(interchange)에서 고가도로들이 접치는 경우의 모델링에 대하여 중점적으로 논의한다.

건물의 경우, 소음지도 제작 시 건물 층수에 1개 층당의 높이를 곱하여 전체높이를 추정하고 건물의 footprint를 수직방향으로 확장하여 모델링하는 방법이 일반적으로 이용되었다. 하지만 고층빌딩의 경우 건물별로 1개 층당의 높이차가 크기 때문에 오차가 발생할 가능성이 크다. 다른 방법으로는 각 건물의 높이를 실측하여 이용하기도 하지만 건물의 개수가 많을 경우 효율성이 떨어지고, 도화원도 등의 다른 데이터베이스를 이용하는 경우도 있으나 출처가 불명확하고 목적에 따른 데이터이기 때문에 신뢰성이 떨어진다. 따라서 현존하는 자료 중 LiDAR 데이터가 정확도와 효율성면에서 가장 바람직하다고 할 수 있다. 하지만 그 데이터를 보유한 도시가 제한되어 있고, 점으로 이루어진 데이터를 이용하여 3차원 solid모델을 만들어내는 과정 중 해결해야 하는 사항들이 있기 때문에 그 문제에 대하여 이 논문에서 논하고자 한다.

LiDAR 데이터는 그 자체로서는 점으로 이루어진 데이터로서 독자적으로 데이터를 처리하기 위해서는 많은 계산시간과 노력이 필요하다. 하지만 GIS 데이터와 병행처리하면 원하는 데이터를 추출하기 위한 시간을 절약할 수 있다.

**2.2 고가도로와 교량의 모델링**

도로의 정보는 국내 정보통신단체표준(TTAS)의 「수치지형도 Ver.2 묘화 사양」(표준번호 : TTAK. OT-10.0262)에 따라 「A002」의 NGI코드를 가지며, 이는 도로중심선을 나타내는 선(line) 형태이다.

수치지형도 v2.0의 데이터에는 포장재질, 차로수, 도로폭 등이 포함되어 있어, 소음지도 작성 시 편리하게 이용가능하다. 도로의 경사도와 도로의 고도자료는 포함되어 있지 않지만, 이는 교량부를 제외하면 지표면의 높이와 동일하기 때문에 큰 문제가 되지 않는다.

소음지도 작성을 위해 3차원 도시모델을 구축하는 데에 있어서 LiDAR데이터가 가장 유용하게 사

용되는 점은 도로의 고도를 취득할 수 있다는 점이다. 고가의 경우는 지형보다 고도가 높기 때문에 다른 방법이 필요하다.

LiDAR 데이터를 이용하여 도로의 고도를 산출하는 방법은 항공 LiDAR만을 사용하기 때문에 최상위에 있는 도로반사면의 고도만 알 수 있는 단점을 가지고 있다. 따라서 도로가 접치는 인터체인지와 같은 지점에서는 위를 통과하는 교각과 아래로 통과하는 도로의 높이를 동시에 알기 힘들다. 이런 단점을 보완하기 위하여 도로의 종단경사를 이용한 보정이 필요하다. 도로의 종단경사는 「국토교통부령 제 111호, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」(4)의 「제25조(종단경사)」에서 명시된 최대 종단경사를 이용하여 최대 종단경사를 초과하는 도로를 보간법을 이용하여 보정 할 수 있다. 최대 종단경사는 Table 1에 표기하였다.

도로의 중심선은 선의 형태로 되어 있기 때문에 제작당시 디지털타이핑 된 점들을 연결한 형태이다. 따라서 이 점들간의 X,Y,Z좌표들을 분석하여 계산한 종단경사와 최대 종단경로의 비교를 통해 최대 종단경사보다 초과하는 도로의 고도를 보간법을 이용해 수정할 수 있다.

**2.3 건물의 모델링**

건물의 높이는 DSM에서 DEM을 뺀 값을 기본으로 연산한다. DSM의 값에서 DEM의 값을 빼면

**Table 1** Maximum grade for design speed(municipal rule on the standard of road structure and facility)

Design speed (km/h)	Maximum grade (%)							
	Highway		Arterial		Collector		Local	
	Flat	Mountain	Flat	Mountain	Flat	Mountain	Flat	Mountain
120	3	4						
110	3	5						
100	3	5	3	6				
90	4	6	4	6				
80	4	6	4	7	6	9		
70			5	7	7	10		
60			5	8	7	10	7	13
50			5	8	7	10	7	14
40			6	9	7	11	7	15
30					7	12	8	16
20							8	16

지표에 있는 초목이나 건물의 순수한 높이만을 계산할 수 있다. 기존의 방법은 이 데이터와 건물의 형태(footprint)를 이용하여 높이를 산정하였으나, 이 방법은 몇 가지 오류를 발생시킬 수 있다. 우선, DSM과 DEM은 래스터화 된 자료이기 때문에 각 자료의 셀 크기에 따라 오차가 발생할 수 있다. 특히 건물의 외곽선을 이용하기 때문에 이 경계선에 있는 자료들과 함께 연산하였을 경우 오차가 발생할 수 있다. 이를 극복하기 위해 윤여상과 이중열은 객체기반분류기법 등을 적용하여 고해상도 영상자료로부터 건물의 형태를 추출하였다<sup>(5,6)</sup>. 한편, 고준희, 이병찬, 임계석, 박수진, 장서일은 도화원도의 높이를 GIS데이터와 혼합하여 건물의 높이 산정에 이용하였다<sup>(7)</sup>. 이 연구에서는 영상자료나 도화원도가 아닌 GIS데이터를 이용한 방법에 대하여 논한다.

소음지도 제작을 위한 3차원 도시모델에서 건물의 층수는 소음지도 작성시 대단히 중요한 인자가 된다. 이는 「환경부 고시 제2013-75호 소음지도의 작성방법」의 「13. 전파경로와 관련 영향인자」 중 「다. 건물높이」 항목에서 건물높이는 가능하면 실제 높이로 하여야 하지만 실측이 불가능 할 경우 단독주택은 2.8 m × 층수, 공동주택은 2.7 m × 층수, 상가는 3.6 m × 층수로 하여 높이를 산정하는 방식을 취하기 때문이다. 따라서 현재는 대부분의 경우 각 건물의 층수에 층당 높이를 곱하는 방식으로 건물의 높이를 산정하고 있는 실정이다.

### 3. 연구 결과

#### (1) 도로의 고도 수정

DSM의 고도를 적용한 도로의 종단경사가 최대 종단경사보다 높다는 것은 정상적인 도로의 형태가 아니라는 말이며, 이것은 선택한 도로의 위로 통과하는 다른 교각이 있다는 반증이다. Fig. 2는 대상이 되는 도로를 표시하였다. 도로의 전체적 현황은 그림에서 보는 것과 같이 많은 도로와 고가가 복잡하게 얽힌 소위 스파게티 정션(spaghetti junction)이라 불리는 지역으로 미국 아틀란타 지역을 대상으로 하였다. 도로의 정보는 아틀란타가 소속된 조지아(Georgia)주의 운송국(Georgia Department of Transportation)에서 제공된 수치지도를 이용하였다. 이 수치지도는 DSM을 정보를 혼합하여 수치지도의



Fig. 2 Junction of I-85 and I-285 near Hartsfield - Jackson Atlanta International Airport

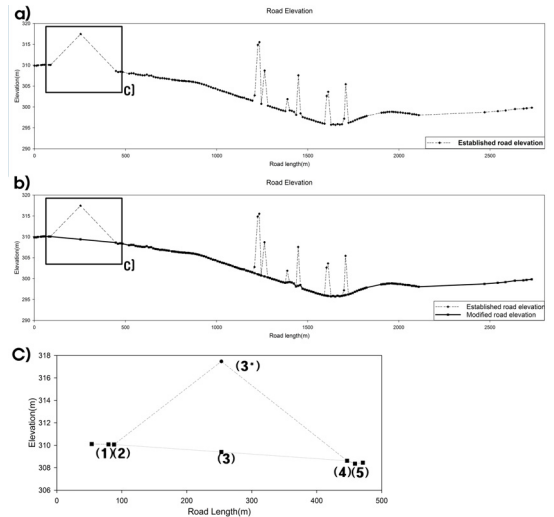


Fig. 3 Collected road elevation(a) and corrected road elevation(b), and their detail in boxed area(c)

도로에 고도를 부여하였다. 도로와 DSM을 혼합하여 도로의 높이를 부여한 결과는 Fig. 3의 a)에 나타내었다. Fig. 3의 a)를 보면, 7개의 비정상적인 점이 나타나고 있다. 이러한 비정상적인 지점들을 b)와 같이 수정하였다. 수정방법은 c)에서 보면, 위 a)와 b)의 박스로 표시된 부분을 확대한 것이다. c)에서 (1)과 (2)사이, (2)와 (3\*)사이 등과 같이 각 구간별 기울기를 계산하고, 각 기울기를 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙과 비교하여 이상 지점을 추출하였다. Fig. 3의 c)에서 (3\*)와 같이 이상 지점으로 추출

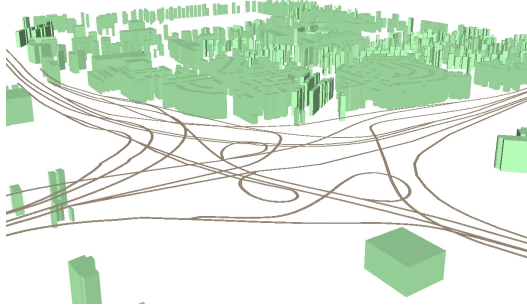


Fig. 4 Result for corrected road elevation

된 지점은 (2)와 (4)사이에서 거리 가중 보간법을 이용하여 도로의 고도를 수정하여 (3)과 같은 고도로 수정하였다. 또한 연구지역의 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

(2) 건물의 높이 결정

건물의 높이는 26개의 건물을 대상으로 실제 높이를 측정하고, 같은 건물에 대하여 LiDAR 데이터를 이용하여 높이를 예측하였으며, 그 값을 측정한 실제 높이와 비교하였다. 예측은 개별 건물의 footprint와 겹치는 래스터 속성값의 최소, 최대, 평균값을 도출하였고, 건물 내부에 2 m 간격의 완충공간을 가지는 영역에서도 동일한 방식으로 예측하였다. 완충공간은 래스터이미지의 셀 크기가 1 m인 것을 고려하여 셀의 대각선길이( $\sqrt{2} \approx 1.414$ )보다 큰 최소 정수값인 2 m로 설정하였다. 이 방법은 Fig. 5에 설명하였고, 그 결과를 Table 2에 정리하였다.

이론적으로 실제 건물의 높이와 가장 유사하게 산정하려면 지붕의 형태에서 가장 낮은 부분을 기준으로 산정하는 것이 좋다. 왜냐하면, 아파트와 같은 다층건물의 경우 지붕의 형태에 따라 각 세대의 수음지점이 높아질 수 있기 때문에 높은 층으로 갈수록 소음도가 과소평가 될 수 있기 때문이다. 하지만 이 방법은 경계부에서의 발생할 수 있는 오류에 취약하고, LiDAR 데이터 수집시에 발생하는 오차에 의해 건물의 높이가 극단적으로 낮게 연산되는 오류를 발생시킨다. 따라서 건물 높이 산정을 위하여 일정 간격의 내부 완충공간을 설정하여 원래의 건물 형태가 아닌 내부 완충공간에서 통계적 방법을 통해 정확도를 향상시킬 수 있다.

예측결과에서 최대값의 경우는 실제 높이와 최대

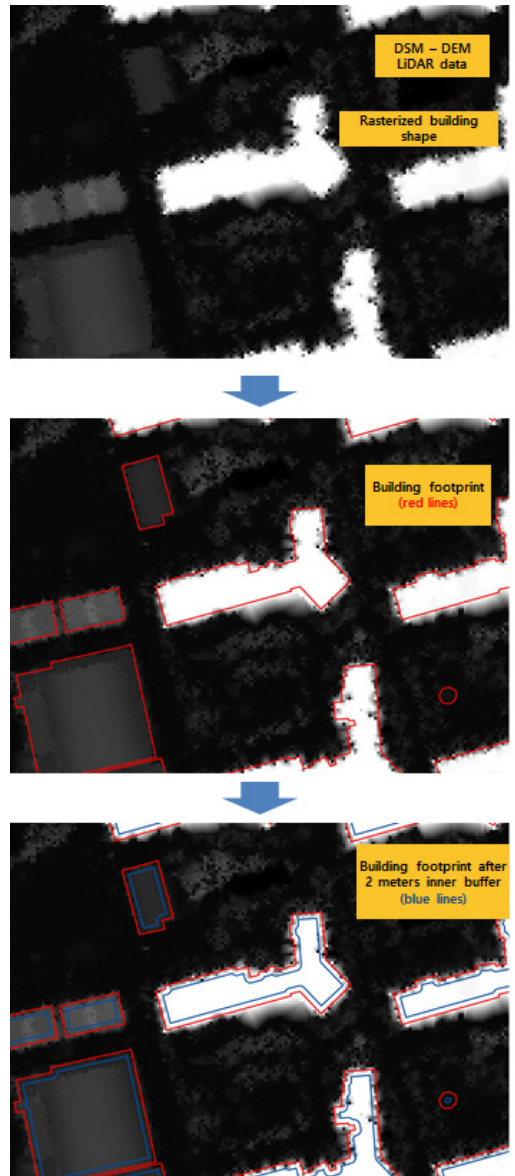


Fig. 5 Method for to estimate building elevation

15.8 m 높게 예측되었다. 특히 LiDAR 데이터를 그대로 사용한 경우는 최소값에서 실제 높이와 차이가 크게 나타났다. 그 이유는 래스터화 과정에서 건물 경계부의 셀 생성과정에서 찾을 수 있다. 건물 경계부의 셀 높이는 지표의 높이값과 건물의 가장 외곽의 높이값 사이에 보간법을 이용하여 추정하게 되는데, 이 과정에서 지표의 높이값이 더 큰 영향을 준 것으로 판단된다.

완충공간의 생성 유무를 비교해보면, 완충공간을

**Table 2** Results on difference between real building elevation and estimated elevation

Estimate method Statistic value	Predicted elevation(m)			Predicted elevation in buffer(2 m) space(m)		
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
Average	61.77	7.28	5.93	34.73	7.20	3.18
Standard deviation	15.13	2.71	4.12	29.67	2.58	3.25
Min	28.10	3.10	0.50	0.20	3.10	0.10
Max	110.60	15.80	13.70	110.60	14.70	11.40
Median	64.35	6.75	4.90	21.70	6.75	1.80
75 Percentile	66.43	8.28	8.98	64.90	8.28	4.50

생성했을 경우 평균값 기준으로 5.93 m에서 3.18 m로 낮아졌으며, 표준편차 역시 4.12에서 3.25로 낮아져 안정화되는 경향성을 보였다. 각 건물별 오차율은 평균값을 기준으로 9.63 %에서 5.26 %로 낮아지는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

소음지도 작성을 위한 3차원 도시모델을 작성하는 방법은 다양하다. 실측을 통해서 하는 방법이 가장 정확하다 할 수 있겠으나, 국내·외의 도시단위의 소음지도 제작사례를 보면 현실적으로 불가능하며 비용적인 측면이나 효율성면에서도 떨어진다. 한편 국내에서 일반적으로 사용중인 수치지도를 사용하는 경우는 법적으로 문제가 없고, 유용하게 사용할 수 있지만, 실제의 높이 등을 정확히 반영하지 못한다는 단점이 있다.

항공 LiDAR 데이터를 이용하는 방법은 기존의 수치지도를 이용하는 것과 결합하였을 경우 도로의 높이, 특히 교각의 실제 형태와 유사한 모델을 작성할 수 있다. 수음자 위치를 나타내는 건물 높이 산정의 측면에서도 실제와 평균 5.26 % 정도의 차이를 보이는 것으로 나타났다.

LiDAR 데이터를 처리하는 과정에는 추가적인 계산과 데이터 처리를 위한 사전지식의 학습이 필요하다. 하지만, 수치지도와 결합하면 소음지도의 정확성에서 가장 중요한 요소인 소음원의 위치와 수음원의

위치를 더 정확히 반영 할 수 있어 예측의 정확도를 높일 수 있을 거라 기대된다.

하지만, 소음의 전과과정에서 매우 중요한 역할을 하는 방음벽이나 일반적인 벽체의 경우 항공 LiDAR 데이터로는 모델링하기가 매우 어렵고 일반 GIS 데이터에도 높이 등의 자료가 누락되어 완벽하게 정리되어 있지 않은 경우가 많아 모델링에 많은 어려움이 있다. 따라서 방음벽과 일단 벽체를 LiDAR 데이터를 이용하여 방음벽의 높이를 산정하는 방법에 대하여 추후 연구할 예정이다.

#### 후 기

이 논문은 2013년도 서울시립대학교 연구년 교수 연구비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

이 연구를 위한 자료를 제공해 주신 Atlanta Regional Commission(ARC)와 Georgia Institute of Technology의 Center for Geographic Information System에게 감사드립니다.

#### References

- (1) Kim, S. J. and Lee, L. P., 2008, 3D Road Modeling using LIDAR Data and a Digital Map, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 26, No. 2, pp. 165~173.
- (2) Lee, H. J., Lu, J. H. and Kim, S. Y., 2011, Land Cover Object-oriented Base Classification Using Digital Aerial Photo Image, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 19, No. 1, pp. 105~113.
- (3) The Korean Earth Science Society, 2009, Earth Science Dictionary (Korean edition), Bookshill, Seoul.
- (4) Municipal Rule on the Standard of Road Structure and Facility, Ordinance of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport No. 111, 2014.
- (5) Yoon, Y. S., 2006, Object-based Classification for Building Detection Using VHR Image and Lidar Data, Proceedings of the KSRS Spring Conference, pp. 307~310.
- (6) Lee, J. Y., 2006, Automated Modification of Irregular Shape of Building Edges Extracted from High

Spatial Resolution Satellite Imagery Using Road Direction Information, Proceedings of the KSRS Spring Conference, pp. 173~177.

(7) Ko, J. H., Lee, B. C., Lim, J. S., Park, S. J. and Chang, S. I., 2009, Excess Noise Map for Environmental Standard and Assessment of Noise with Using GIS Data, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 10, pp. 1075~1082.



**Taeho Park** is a Ph.D. student of Dept. of Energy and Environmental System Engineering, the Graduate school of University of Seoul. He received his B.S. in Environmental Engineering and M.S. in Energy and Environmental System Engineering from University of Seoul. His research interests are environmental noise and 3-Dimensional city modeling and mapping of environmental noise. His recent research focuses on building more elaborate city model for environmental noise mapping and realtime noise mapping system with noise monitoring system.



**Bumseok Chun** strives to bring us closer to the goal of 3-D computational urban modeling for sustainable development, taking research beyond the current 2-D environments. He is a postdoctoral researcher and also serves as a lecturer in City and Regional Planning at Georgia Tech.



**Seo Il Chang** completed his Ph.D. studies in the Herrick Laboratories, Dept. of Mechanical Engineering, Purdue University in 1993 on nonlinear problems of mechanical systems including plates and shells. In 1997, he started his academic professional career in the Dept. of Environmental Engineering, the University of Seoul. His major research interest has been the environmental noise and vibration control and people in his lab have generated noise maps of cities. Recently, he collaborates with researchers from other fields including transportation, GIS, air quality and public health to make environmental pollution maps and to assess health impact. His long-term research plan is to study the relations between environmental noise and urban forms.