



# GIS DB와 LiDAR Dataset의 효율적인 결합에 의한 도로교통소음지도의 제작

## Road-traffic Noise Mapping by Combining GIS DB and LiDAR Dataset

박 태 호\* · 장 채 미\* · 장 서 일† · 전 범 석\*\*

Taeho Park\*, Chaemi Jang\*, Seo Il Chang† and Bumseok Chun\*\*

(Received May 29, 2018 ; Revised July 20, 2018 ; Accepted July 20, 2018)

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

### ABSTRACT

In order to construct a road-traffic noise map of a city, which is a useful tool for policy making, a 3-D model of the city should be generated in advance. Since the 3-D model should include relevant roads and buildings of a city, the process requires time- and resource-consuming works. Especially, the heights of elevated roads and buildings cannot be obtained easily from the official data. In this study, DSM, DEM, and nDSM models generated from a LiDAR dataset are combined with GIS DB to estimate the heights more efficiently. This procedure was applied to the city of Gwangju to construct a road-traffic noise map, and by measuring the noise levels at 604 locations, the average difference between the measured and predicted noise levels was found within 1.7 dB(A). The 3-D modeling process combining LiDAR and GIS DB is expected to increase the efficiency of noise map construction.

### 1. 서 론

소음지도는 유럽에서 사용되고 있는 환경정책의 중요한 보조도구로서 EU는 전략적 소음지도 작성을 일정 규모 이상의 도시에 대해 의무화하였다<sup>(1)</sup>. 국내에서는 2009년 6월에 개정된 「소음·진동 관리법」의 제 4조의 2(소음지도의 작성)가 신설됨에 따라 소음지도 작성을 위한 법적 토대가 마련되었다. 이후 「소음진동 관리법 시행규칙」 제 7조의 2(소음지도의 작성 등)이 2010년 6월 신설됨에 따라 환경부 고시 제 2010-72호 「소음지도의 작성방법」이 제정

되어 소음지도 작성의 가이드라인이 완성되었다. 이에 따라 2012년 부산광역시 연제구를 대상으로 한 소음지도 작성 시범사업이 시행되었고, 이후 부산광역시, 울산광역시, 대구광역시, 경기도 남양주시, 경기도 성남시, 인천광역시, 대전광역시, 광주광역시에 대하여 소음지도가 작성되었다.

이런 도시단위의 대규모 소음지도의 제작에는 인구, 도로, 교통과 개별 건물 등 도시 인프라에 관한 많은 양의 정보의 입수와 처리가 요구되어지고 는데 GIS(geographic information system, 지리정보시스템)의 빠른 발전으로 이러한 방대한 작업이 현실적으로 가능하게 되었다. 그럼에도 불구하고 아직까지

† Corresponding Author ; Member, Dept. of Environment Engineering, University of Seoul  
E-mail : schang@uos.ac.kr

\* Dept. of Environmental Engineering, University of Seoul

\*\* Texas Southern University

‡ Recommended by Editor Jong Kwan Ryu

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

해결이 쉽게 되지 않는 부분은 GIS나 지도상에서 평면, 또는 2차원으로 되어있는 정보를 음향학적인 해석이 가능하도록 3차원 모델로 전환, 제작하는 것이다. 특히 도로중 고가나 교량과 같은 지면에서 떨어진 도로의 경우는 그 높이를 파악할 수 있는 효율적인 방법이 마땅치 않다. 환경영향평가를 위한 지구단위의 소규모 소음지도의 경우 실측으로 할 수도 있겠으나 도시단위 소음지도 작성에서는 개별적인 측정을 통한 방법은 현실성이 매우 떨어진다.

이러한 난점을 해결하는 방안으로서 LiDAR(light detection and ranging) dataset을 이용하는 방법을 들 수 있다. LiDAR의 원시 데이터는 점으로 이루어져 있으며 각 점들은 X, Y, Z 좌표를 가지며 추가적으로 반사강도나 각도 등의 정보를 가지고 있다. 이러한 점군(point cloud)을 rasterize시켜 얻을 수 있는 모델은 2가지가 있는데 지표에 있는 건물을 포함한 모든 객체의 형태를 가지고 있는 DSM(digital surface model, 수치 표면 모형)과 지표의 높이값만 가지는 DEM(digital elevation model, 수치 표고 모형)이다. 추가적으로 DSM과 DEM의 높이 차이를 계산하는 nDSM(normalize DSM)이 있으며 건물의 높이를 추정하는데 이용된다. 고가나 교량의 경우에는 DSM을 이용하여 그 높이를 산출한다.

LiDAR dataset을 이용한 도시모델을 작성하는 연구는 2000년대 초반부터 이루어져 왔는데 도시의 3차원 모델을 실제에 가능한 가깝게 모사하는 것을 목표로 하였다. 기존의 연구를 크게 도로와 건물의 모델 작성으로 나누어 검토해보면 도로 모델 작성에 있어서 김성준과 이임평은<sup>(2)</sup> LiDAR dataset과 수치 지도를 이용하여 도로의 3차원 기하모델을 생성하여 3차원 도로모델을 작성했다. Boyko와 Funkhouser<sup>(3)</sup>는 대규모 지역의 LiDAR dataset만을 이용하여 그 점군에서 자동적으로 도로면을 분리하고 2차원 형태의 도로 네트워크를 3차원의 도로 표면으로 만들었다. 이와 같이 기존의 도로의 모델링에서는 LiDAR 점군을 이용하여 도로 면을 생성하여 3차원으로 구성하는 방법이었으므로 실제의 도로모양에 매우 근사한 모델의 작성이 가능하나 음원의 정확한 위치만을 필요로 하는 소음지도의 제작에는 필요 이상의 상세한 모델이므로 이 연구에서는 그러한 상세한 모델을 만드는 대신 GIS DB에서 도로 중심선의 위치를 추출하고 그 높이만을 LiDAR dataset을 이용하

여 추정함으로써 연산을 간소화하였다.

건물의 3차원 모델에 있어서는 Priestnal 등은<sup>(4)</sup> LiDAR dataset을 이용하여 DSM과 DEM을 구축하고 그 높이를 비교하여 건물의 외곽선을 추정하였다. 이를 추출하여 건물의 3차원 모델을 작성하였다. Zhou 등은<sup>(5)</sup> 평면 방정식을 통해 건물의 지붕을 인지하고 지붕의 타입, 지붕면, 경계선을 고려할 수 있는 모델을 작성하였다. 또한 Vu 등은<sup>(6)</sup> 고밀도 LiDAR 점군을 이용하여 도시에서 변경된 건물을 검출하였다. 이전 연구에서 건물의 모델링은 건물의 형태나 지붕형태 등을 사실에 가깝게 재구성하는 것을 주요 목적으로 하였기 때문에 음향학적인 해석에 그대로 적용하기에는 적절치가 않다. 하지만 이 연구에서는 음향학적 시뮬레이션을 수행할 때 사실과 가까운 지붕이나 건물 형상의 경우 발생할 수 있는 계산시간의 막대한 증가와 효율성의 하락을 고려하여 직육면체 형태의 박스모델을 구성하였다.

이 연구에서는 소음지도 작성을 위한 예비단계인 도로와 건물을 포함한 3차원 도시모델의 효율적인 제작방법을 음향학적인 관점의 타당성을 바탕으로 하여 도출하였다. 또한 그 방법을 광주광역시의 소음지도 제작에 실제로 적용하여 3차원 도시모델을 제작하고 음향시뮬레이션의 결과를 실측값과 비교하여 적용성을 검증하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 자료의 수집

이 연구의 도시모델 작성과정에는 국토지리정보원에서 공개하고 있는 수치지도 v2.0과 국토지리정보원에서 소장한 LiDAR 자료를 이용하였다. 또한 교통 데이터는 광주지방경찰청에서 제공하는 ITS(intelligent transportation system) 자료와 광주광역시청에서 작성하는 연간 교통량 조사 자료를 이용하여 일평균 교통량을 산정하였다.

### 2.2 LiDAR와 GIS DB의 결합 처리

#### (1) 도시모델의 생성

GIS는 도시단위의 소음지도 작성에 있어서 가장 핵심적인 역할을 담당한다. 건물의 예를 들어보면, CAD와 같이 건물의 형태를 나타내어 주는 것은 동일하나, 개별의 건물의 속성값을 가지고 있다. 속성

의 경우 제작자에 따라 다르지만, 가장 널리 쓰이는 국토지리정보원의 수치지도 v2.0은 용도, 층수, 건물명 등의 자료를 포함하고 있다.

LiDAR dataset을 소음지도를 위한 도시모델 작성에 이용하는 주요한 목적은 건물과 도로의 높이를 정의하는 것이다. 도시에 존재하는 모든 건물과 도로의 정확한 높이를 측정하기 어렵기 때문에 이를 해결하기 위한 다양한 방법들이 고안되었다. 환경부에서 발표한 고시<sup>7)</sup>에 따르면, 건물높이는 가능하면 실제 높이로 하여야 하지만, 실제 측정할 수 없는 경우에 용도에 따라 단독주택, 공동주택, 상가건물의 층수에 각각 2.8 m, 2.7 m, 3.6 m를 곱해서 높이를 추정하게 하고 있으며 도로의 경우에는 특별한 지침이 없다.

이 연구에서 진행된 3차원 도시모델 생성의 대략적인 절차는 Fig. 1에서 보는 것과 같다. 2차원의 GIS DB와 3차원의 점군 형태로 이루어진 DSM 또는 DEM 자료를 이용하여 3차원의 GIS형태의 자료를 만들고, 이 자료를 바탕으로 도시모델을 생성하는 것이다. 여기서 이용되는 3차원 DEM은 도시모델에서 지면(terrain)으로 이용 할 수 있다. DSM은 고가도로의 높이 계산에 이용하고, 두 모델(DSM, DEM)을 비교해 건물의 높이를 계산하는데 이용한다.

이 연구는 GIS에 포함하고 있는 도시의 형태(footprint)는 유지하면서, 보편적으로 유통되는 수치

지도에는 포함되어 있지 않은 높이 정보를 추가하는 방법이다. 따라서 도시 공간정보의 해상도에는 변함이 없으나 기존에 유통되는 수치지도의 X,Y 2차원적인 데이터에서 발전된 X,Y,Z의 3차원적 모델링을 가능할 수 있게 한다.

(2) 도로

이 연구에서 사용한 LiDAR dataset과 GIS DB를 결합하여 도로의 높이를 산정하는 방법에 대해서는 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)는 예시로 제시한 지역의 항공사진이다. 대상지역은 광주광역시 제2순환로 중 일부로, 고가로 이루어진 도로와 지면에 위치한 도로가 교차하여 겹치는 형태로 구성되어 있다. Fig. 2(b), (c), (d)는 2차원의 도로를 3차원으로 변환시키는 과정을 보여주고 있다. Fig. 2(b)와 (c)에서 표시하고 있는 색상은 측정된 DSM 점군의 높이를 의미한다. Fig. 2(c)에서 보는 것과 같이 DSM 점군과 GIS DB를 겹쳐 고가도로의 높이를 추출 할 수 있다. 그림에 있는 두 개의 도로 중 좌-우 방향의 도로는 고가이며, 상-하 방향의 도로는 지면에 있는 도로이다. DSM 점군을 rasterize하고 도로중심선과 도로면을 표시하였다.

DSM과 DEM을 이용하여 도로 높이를 추정하는 방법은 고가도로의 위치를 특정하는 것에서부터 시작한다. 이 연구에서는 GIS DB에서 도로의 중심선을 추출하고 도로정보에서 고가도로 영역을 추출하였다. 고가도로 영역은 「국토지리정보원고시 제 2015-1530호」 수치지형도 작성 작업규정의 별표 2 (수치지도 2.0 지형·지물 속성 목록)에서 정의된 A007(교량), A009(입체교차부) layer를 이용하여 면(plane) 형태로 도출하였다. 그리고 해당 영역에 포함되는 도로 중심선을 전체 도로중심선에서 분리하여 고가도로 영역으로 정의하였다. 여기서 분리된 고가도로는 DSM을 이용하고, 분리되지 않은 일반도로는 DEM을 이용해서 그 높이를 계산하였다.

Fig. 2(c)에서 보는 것과 같이 계산의 효율성을 높이고 편리한 계산을 위해 rasterize된 DEM 또는 DSM이미지를 이용하였다. 원시형태의 LiDAR 점군과 달리 rasterize된 이미지는 Fig. 3에서 볼 수 있는 것처럼 픽셀(pixel)형태로 이루어져 있다. 이 연구에서는 하나의 픽셀을 1 m × 1 m로 구성하여 높이를 계산하였다. 하나의 픽셀은 하나의 높이 값을 가지

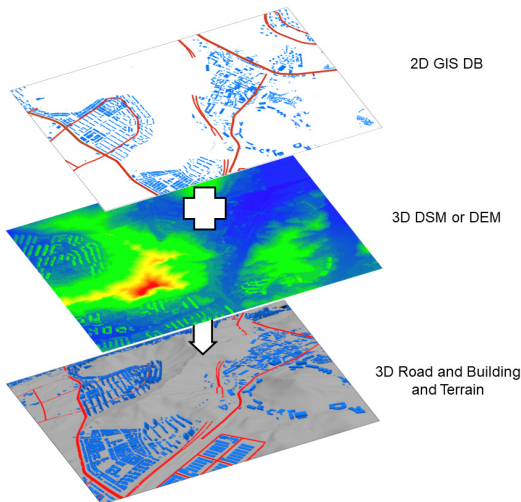
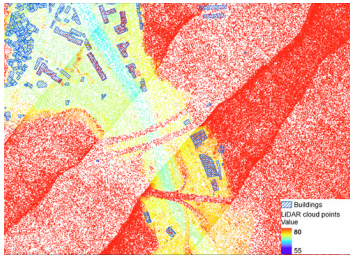


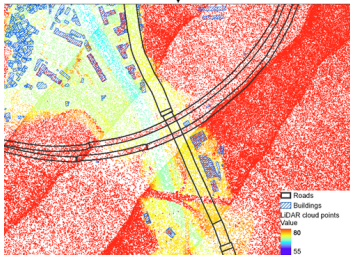
Fig. 1 Combining 2D GIS DB with 3D models for urban model construction



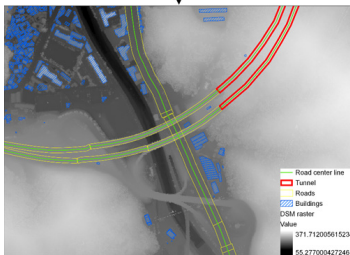
(a) Aerial image



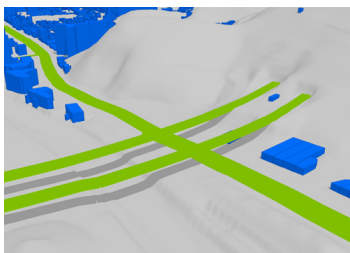
(b) LiDAR point cloud(DSM)



(c) LiDAR point cloud with GIS road plane DB

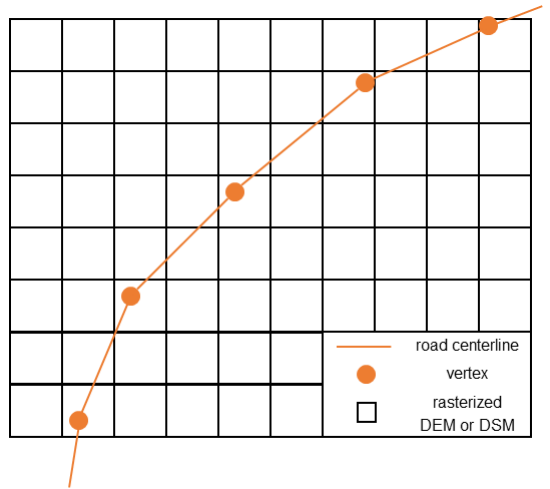


(d) Rasterized DSM with GIS road plane, road centerline, tunnel DB



(e) 3D ground and elevated road model

**Fig. 2** Procedure for 3D road model



**Fig. 3** Road centerline, vertex points and pixels

고 있다. 여기서 각 도로 중심선의 꼭지점(vertex)들이 포함되는 픽셀의 값을 각각의 꼭지점들의 높이 값으로 치환하여 도로의 높이를 계산한다.

Fig. 2(e)는 완성된 도로 모델을 보여주고 있다. DEM과 도로모델이 결합된 해당 그림에서 고가 도로에는 지면에 나타나는 음영으로 지면과 떨어져 있다는 것을 알 수 있고, 지면에서 나타나는 터널 입구와 도로가 끊어지는 지점이 일치하는 것을 시각적으로 확인할 수 있다.

(3) 건물

건물의 높이를 산정하기 위해서는 nDSM을 이용한다. DSM은 「DEM+건물」의 높이이므로, DSM과 DEM의 차이인 nDSM을 계산하여 순수한 건물의 높이를 도출한다.

Fig. 4는 건물의 높이를 계산하는 방법에 대하여 설명하고 있다. Fig. 4(a)는 예시로 들고 있는 아파트 단지의 항공사진을 보여주고 있다. Fig. 4(b)는 대상 지역의 LiDAR 점군의 원시 데이터를 나타내었다. LiDAR 점군은 3차원적인 위치를 나타내고 있어서 이 점군들의 위치를 분석하면 건물의 높이를 계산 할 수 있다. 여기서 각 건물이 위치한 지면 높이는 각각 다를 수 있기 때문에 DEM과의 차이를 이용해 nDSM을 생성하고 이를 건물 높이 계산에 이용한다. 이때, nDSM을 생성하는 과정에서 건물의 외곽에 위치한 픽셀에 나타날 수 있는 오차를 제거하기 위해 해당 건물 GIS 객체에서 2m(nDSM 픽



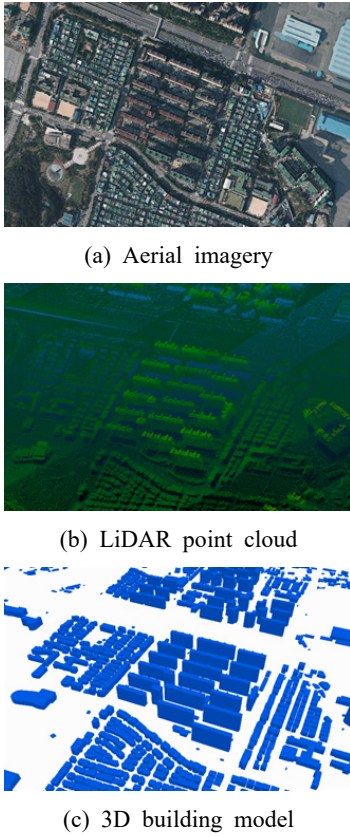


Fig. 4 3D building model construction by using nDSM

셀(1 m × 1 m)의 대각선길이( $\sqrt{2}=1.414\text{m}$ )보다 큰 최소 정수의 내부 완충공간을 설정하였다. 건물의 높이는 그 내부 완충공간의 높이 평균값을 해당 건물의 높이로 산정하였다<sup>(9)</sup>. Fig. 4(c)는 건물 높이를 계산한 후 작성된 건물모델을 보여주고 있다.

### 3. 연구 결과

연구 방법에서 설명했던 방법으로 광주광역시에 대한 도시모델을 작성하였다. 건물모델과 최종적인 도시모델을 작성하는 데는 ESRI사의 ArcGIS Pro 2.0을 사용하였다. 도로의 높이 산정에는 Matlab 2016b의 Mapping Toolbox를<sup>(8)</sup> 이용하여 DSM과 도로 중심선을 결합하고, DSM의 높이를 추출해 3차원 도로중심선으로 재가공하였다. Matlab의 Mapping Toolbox는 GIS DB에서 가지고 있는 속성과 개체 각각의 좌표를 테이블로 나타내주고 raster 이미지를 읽을 수 있어 이 연구에 유용하게 이용되었다.

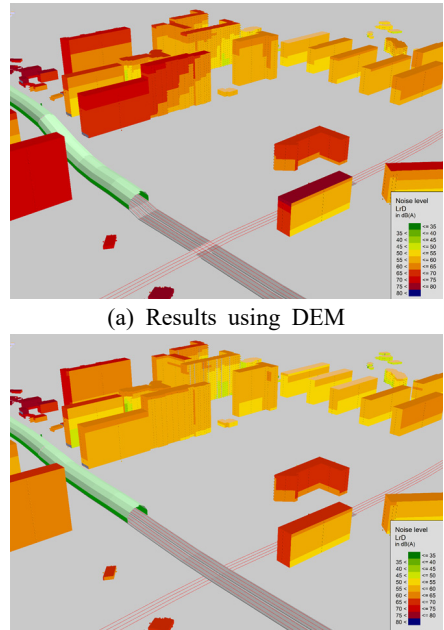


Fig. 5 Noise prediction results

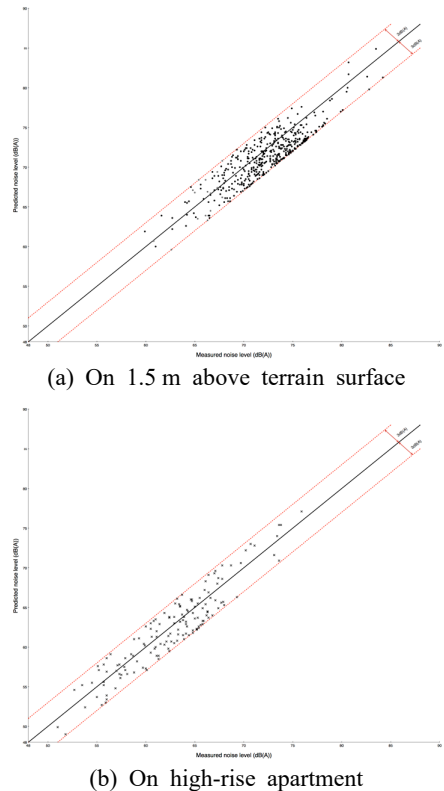


Fig. 6 Comparison between predicted and measured noise levels

그리고 작성된 도시모델을 기반으로 소음지도를 작성하였다. 소음지도의 작성은 환경부고시 제 2016-117호 「소음지도의 작성방법」에 따라 3차선 이상의 도로에 대하여 작성되었으며 연간 평균 교통량을 분석하여 주·야간의 평균 교통량을 이용하여 작성하였다. 제작은 SoundPLAN사의 SoundPLAN 7.4를 이용하였다. 작성된 도시모델과 소음지도의 외벽 소음지도의 예는 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5(a)는 DEM만을 이용하여 구성한 도시모델을 이용하여 작성한 것이며, Fig. 5(b)는 이 연구에 사용된 방법으로 작성된 외벽 소음지도를 나타내었다. 두 결과를 비교해보면 DEM만을 이용했을 경우 고가부에서 급격한 높이변화로 인한 소음도 증가가 발생하며, 소음도의 과다예측을 야기할 수 있다. 이것은 다리나 고가의 시작점 또는 끝점에서 지면이 절토와 같이 급격히 변화하는 지점에서 흔히 발생할 수 있는 현상으로, DEM만을 이용할 때 도로 모델링을 하는 경우 가장 어려움을 겪는 지점이며, 도로의 높이를 제작자가 임의의 높이를 이용하여 조절 해 줄 수밖에 없는 부분이기도 하다. 이 연구에서는 LiDAR dataset을 이용하여 실제와 가까운 도로의 높이를 구현하였다.

작성된 소음지도는 측정을 통해 검증하였다. 검증은 총 604개 지점(도로변 456지점, 공동주택 148지점)에서 수행되었으며, 절대오차 +1.7dB(A), 표준편차 1.7를 나타내 환경부에서 제시하는 기준(절대오차  $\pm 3$ dB(A), 표준편차 3)을 모두 만족하였다. 각 지점에서 1시간동안 소음측정과 비디오 촬영을 동시에 수행하였고, 촬영된 비디오를 바탕으로 통과한 교통량을 산정하였다. 공동주택 측정의 경우 벽면에서 1m 이격된 지점에서 측정하였고, 건물 벽면 소음도를 동일 지점에서 계산하여 비교하였다. Fig. 6(a)는 지면에서 1.5m 높이에서 측정한 결과와 예측모델의 동일지점에서 측정한 결과를 비교한 것이며, Fig. 6(b)는 공동주택의 벽면에서 1m 이격된 위치에서 측정한 결과를 소음도 예측결과와 비교한 것이다.

이 연구에서 사용된 방법에 대한 정확도의 비교를 위해 3차원으로 인근 500m에 위치한 공동주택 측정지점 107개에 대하여 DEM을 이용해 예측한 소음도와 LiDAR dataset을 이용한 예측 소음도를 측정 소음도와 비교하였다. DEM을 사용한 예측의 경우, 3차원 도시모델을 작성하는 과정에서 제작자의 숙련도에 따라 모델의 질적 차이가 있으므로 도

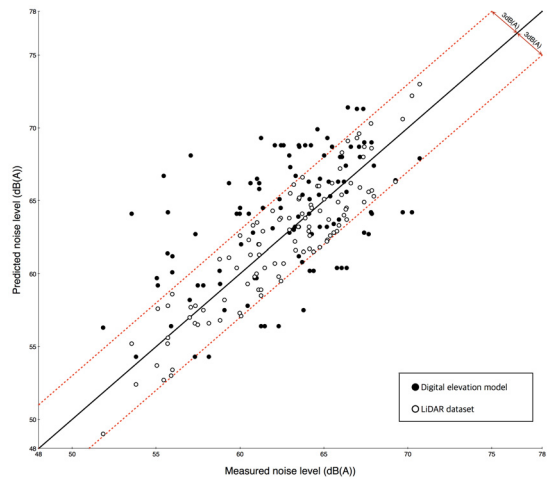


Fig. 7 Comparison of predicted and measured noise levels according to DEM and LiDAR dataset

로는 DEM과 동일한 높이에 위치한 것으로 간주하였다. 비교결과는 Fig. 7에 나타내었다.

두 방법을 비교하였을 때, DEM을 이용한 결과는 오차평균 3.47 dB(A), 표준편차 2.43으로 환경부 고시에서 제시하고 있는 기준을 만족하지 못하였다. 반면 LiDAR dataset을 이용하였을 경우, 오차평균 1.67 dB(A), 표준편차 0.91로 높은 정확도를 나타내었다.

#### 4. 결 론

이 연구에서는 GIS와 LiDAR dataset을 이용하여 도시모델을 만들고, 이 모델을 이용해 소음지도를 작성하였다. 여기서 LiDAR dataset은 도로의 높이, 특히 고가와 교량의 높이를 산출하는데 이용되었다. 이는 기존의 제작자가 수작업으로 작성하던 방법에서 발전하여 DSM을 이용하여 도로를 구성하는 꼭지점의 높이를 산정하였다. 이 꼭지점들을 연결하고 도로를 다시 재구성하여 3차원으로 구축된 고가나 다리를 완성하였다. 또한 nDSM을 이용하여 건물의 높이를 산정하였다. 건물은 도로보다 비교적 건설과 해체가 빈번하여 건물 높이를 추정 할 때 각기 다른 시기에 제작된 GIS와 LiDAR자료의 간극을 줄일 수 있는 방법은 이후에 추가적인 연구가 필요하다.

이를 기반으로 작성된 소음지도는 환경부에서 요구하는 검증조건을 모두 만족하였다. 특히 검증에는 일반적으로 수행하는 도로변 측정뿐만 아니라 공동

주택에서의 검증(604개소 중 148개소)을 포함하였다. 또한, 3차원으로 구축된 도로 주변의 공동주택 측정지점 107개 지점을 비교하였을 때 1.8dB(A)의 개선효과가 있었다.

이 연구는 도시단위의 소음지도를 만들기 위한 3차원 도시모델을 효율적으로 제작하는 방법에 대한 연구이다. LiDAR를 이용하면 기존에 이용하던 사람이 직접 높이를 입력하거나 일괄적인 기준에 의한 건물높이를 산정하는 방법과 대비하여 더 정확하고 효율적인 방법이 될 것으로 기대한다.

## 후 기

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2015R1D1A1A01060891).

## References

- (1) European Parliament and Council of the European Union, 2002, Assessment and Management of Environmental noise (EU Directive), Official Journal of the European Communities.
- (2) Kim, S. J. and Lee, I. 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.
- (3) Boyko, A. and Funkhouser, T., 2011, Extracting Roads from Dense Point Clouds in Large Scale Urban Environment, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 66, No. 6, pp. S2~S12.
- (4) Priestnall, G., Jaafar, J. and Duncan, A., 2000, Extracting Urban Features from LiDAR Digital Surface Models, Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 24, No. 2, pp. 65~78.
- (5) Zhou, G., Song, C., Simmers, J. and Cheng, P., 2004, Urban 3D GIS From LiDAR and Digital Aerial Images, Computers & Geosciences, Vol. 30, No. 4, pp. 345~353.
- (6) Vu, T. T., Yamazaki, F. and Matsuoka, M., 2009, Multi-scale Solution for Building Extraction From LiDAR and Image Data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 11, No. 4, pp. 281~289.
- (7) Ministry of Environment, 2016, Notice No. 2016-117, Methodology for Making Noise Map.
- (8) Mathworks, 2018, Matlab Mapping Toolbox User's Guide.
- (9) Park, T. H., Chun, B. S. and Chang, S. I., 2014, Extraction of Three-dimensional Hybrid City Model based on Airborne LiDAR and GIS Data for Transportation Noise Mapping, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 24, No. 12, pp. 985~991.



**Taeho Park** is a Ph.D. student in Dept. of Environmental 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.



**Seo Il Chang** completed his Ph.D. studies in the Herrick laboratories, Dept. of Mechanical Engineering, Purdue University in 1993 on non-linear 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.