

3차원 소음지도제작을 위한 도화원도와 수치지도를 이용한 도시공간모델 생성

오소정* · 이임평**† · 김성준*** · 최경아***

*서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 석사과정, **서울시립대학교 도시과학대학 공간정보공학과 조교수

***서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 박사과정

Generation of a City Spatial Model using a Digital Map and Draft Maps for a 3D Noise Map

Sojung Oh*, Impyeong Lee**†, Seongjoon Kim***, and Kyoungah Choi***

*M.Sc. Student, Dept. of Geo-informatics, The University of Seoul

**Assistant Professor, Dept. of Geo-informatics, The University of Seoul

***Ph.D. Student, Dept. of Geo-informatics, The University of Seoul

Abstract : This study aims for generating a city spatial model required for the creation of a 3D noise map. In this study, we propose an efficient method to generate 3D models of the terrain and buildings using only a digital map and draft maps previously established without using any sensory data. The terrain model is generated by interpolating into a grid the elevation values derived from both the contour lines and the elevation point of the digital map. Building model is generated by combining the 2D building boundaries and the building elevations extracted from the digital map and the draft map, respectively. This method has been then applied to a digital map and three sets of draft maps created in the different times. covering the entire area of Yeongdeungpo-gu. The generated city spatial model has been successfully utilized for the noise analysis and the 3D visualization of the analysis results.

Key Words : City spatial model, Automatic generation, Digital map, Draft map, Noise analysis, Noise map.

요약 : 본 연구는 3차원 소음지도 제작에 요구되는 도시공간모델을 생성하고자 한다. 이를 위해 센서데이터를 사용하지 않고 기 구축된 수치지도와 도화원도만을 이용하여 지면 및 건물의 3차원 모델을 생성하는 효율적인 방법을 제시하였다. 지면모델은 수치지도의 표고점과 등고선의 고도값을 격자로 내삽하여 생성한다. 건물모델은 수치지도에서 추출한 건물의 2차원 경계와 도화원도에 취득한 건물의 고도를 융합하여 생성한다. 제안된 방법은 영등포구 전역을 포함하는 수치지도와 서로 다른 시기에 생성된 3 set의 도화원도에 적용하였다. 생성된 도시공간모델은 소음분석 및 분석결과의 3차원 가시화에 성공적으로 활용되었다.

1. 서론

도시공간에 나타나는 다양한 현상들을 이해하고 발생하는 문제들에 대한 보다 합리적인 해결방안을 도출하기 위하여 도시공간의 3차원적 모델과 이와 연결된 다양한 속성정보를 종합하는 공간분석의 필요성이 크게 증가하고 있다. 도시의 3차원 공간분석이 필요한 대표적인 연구로 소음분석이 있다. 소음분석은 도시의 과밀화 및 노후화로 인해 인구 및 교통량의 증가, 재개발과 같은 공사의 급증 등에 따른 소음의 증가에 따라 도시구성원이 보다 쾌적한 생활을 영위하기 위해 필요하다. 따라서 소음분석은 소음의 정도(소음도)를 파악하고 이를 감소시키기 위한 다양한 대책을 도출하는 것을 목적으로 한다(영등포구청, 2008; 국립환경과학원, 2007; 충북지역환경기술개발센터, 2006).

소음연구에 있어서 3차원 도시공간모델은 크게 1) 소음분석과 2) 분석결과의 가시화를 위해 사용된다. 소음분석을 통해 3차원 공간적 위치에 따라 도시구성원에게 노출되는 소음의 정도를 결정하는데, 보다 정교한 소음분석을 위해서 입력 데이터로 기존의 수치지도와 같은 2차원의 정보를 담고 있는 지리정보에 추가하여, 지형지물의 3차원 위치 및 형상정보를 포함하는 3차원 도시공간모델이 필요하다(영등포구청, 2008). 또한, 소음분석의 결과로 결정된 3차원 공간적 위치에 따라 달라지는 소음도를 사용자들에게 보다 현실감있게 제공하기 위하여 시각적으로 나타내는 3차원 소음지도의 제작을 수행한다(오진우, 2004; Ko et al. 2006; Cho et al. 2007). 이를 위해 소음도를 RGB값으로 변환하여 생성한 texture를 도시공간모델을 구성하는 모든 면에 draping하여 소음도의 3차원 가시화를 가능하게 한다.

3차원 도시공간모델의 생성방법은 크게 1) 신규로 취득된 항공영상, 위성영상, 라이다데이터 등의 센서 데이터로부터 수동 또는 반자동으로 공간정보를 생성하는 방법, 2) 센서 데이터와 기 구축된 수치지도와 같은 GIS 데이터를 융합하여 생성하는 방법, 3) 도화원도와 같은 기 구축된 GIS데이터를 이용하여 생성하는 방법 등이 있다. 기 구축된 GIS데이터만을 사용하면 신규로 센서 데이터를 획득하는 과정이 필요하지 않고, 센서 데이터로부터 벡터모델을 수동 또는 반자동으로 추출하는 도화와 같은 과정을 크게 감소시킬 수 있기 때문에 도시공

간모델을 생성하는 시간과 비용 측면에서 상당히 효율적이다.

기 구축된 GIS데이터를 사용하는 대표적인 방법으로 도화원도와 수치지도를 융합하여 넓은 지역의 지형과 건물로 정의되는 단순한 3차원 도시공간모델을 경제적으로 생성하는 방법이 있다. 도화원도는 수치지도 제작의 중간 산출물로서 항공영상의 3차원 입체시 상태에서 지형지물을 도화하여 생성된다. 따라서 도화원도는 지형지물의 높이와 같은 3차원 정보를 포함하고 있다. 그러나 이러한 정보는 이후의 과정인 정위치 편집, 구조화편집 과정의 편리를 위해 제거되고 결국 2차원 정보만 포함하는 수치지도로 제작되게 된다. 이에 수치지도에 포함된 2차원 정보와 도화원도에 포함된 3차원 정보를 결합하면 소음분석과 가시화에서 요구하는 지형과 건물로 정의되는 단순한 3차원 도시공간모델을 효율적이고 경제적으로 생성할 수 있다.

도화원도를 기반으로 단순한 3차원 도시공간모델을 생성하는 기본적인 방법론은 국토지리정보원(2007) 및 김성준 등(2007)이 제시하였고, 도화원도의 2-3개의 도엽에 해당하는 지역에 대해 적용하여 실험적으로 검증하였다. 그러나, 생성된 도시공간모델이 특정한 활용 목적에 실용적으로 적용이 가능한가에 대해 넓은 지역의 데이터에 적용하여 확인하지 않았다.

이에 본 연구는 소음분석 및 소음도의 3차원 가시화를 위해 넓은 지역의 단순한 3차원 도시공간모델을 도화원도와 수치지도를 이용하여 신속하고 경제적으로 구축하는 것을 목표로 한다. 본 연구를 위해 먼저 소음연구에서 요구하는 3차원 도시공간모델의 규격(범위, 정확도, 정밀도 등)을 분석하고, 요구되는 공간적 범위의 도화원도와 수치지도의 제작유무 및 시기 등을 고려하여 데이터를 준비하고, 국토지리정보원(2007) 및 김성준 등(2007)이 제시한 도화원도기반의 도시공간모델 생성 방법론을 적용하여, 지면 및 건물의 3차원 기하모델을 포함하는 도시공간모델을 생성하였다.

본 논문은 먼저 연구방법의 개요와 연구대상지역 및 데이터를 소개하고, 지면모델 및 건물모델을 생성하는 방법론을 자세히 기술한다. 이어서 지면모델과 건물모델을 통합하여 생성한 도시공간모델의 검증결과와 이를 적용하여 생성한 3차원 소음지도를 제시한다. 마지막으로 요약, 한계성, 향후 연구 등을 언급하면서 맺는다.

2. 연구의 개요

1) 연구방법의 개요

본 연구에서는 영등포구 지역의 3차원 소음지도 제작을 위한 요구사항에 부합하는 도시공간모형을 정의하고 수치지도와 도화원도를 이용하여 자동으로 생성한다. 도시공간모형은 지면 및 건물모형으로 구성되고, 여기서 지면모형은 래스터 기반의 DEM으로 건물모형은 벡터 기반의 다면체 모델로 정의한다.

수치지도는 3차원 지형정보와 건물의 2차원 기하 및 속성정보를 가지고 있으므로 수치지도만으로 도시공간모형을 생성하는 것은 불가능하다. 반면에, 수치지도의 제작과정의 중간산출물인 도화원도는 건물의 3차원 기하정보를 포함한다(이동천, 2006). 이에 도화원도로부터 건물의 고도값 정보를 추출하여 수치지도를 보완함으로써 도시공간모형을 생성할 수 있다.

도시공간모형은 지면모형과 건물모형을 개별적으로 생성한 후 통합하여 완성한다. 지면모형은 수치지도의 3차원 지형정보를 가지고 있는 표고점과 등고선 레이어를 이용하여 생성한다. 건물은 수치지도의 건물 레이어에서 2차원 건물 경계와 도화원도의 건물 레이어에서 건물 고도 정보를 이용하여 생성한다.

2) 연구 대상지역 및 실험 데이터

대상지역은 약 42km²의 면적에 37,791개의 건물을 포함하는 영등포구 전역이고 입력 데이터는 1:1000 수치지도(v.2.0)와 1:1000 도화원도이다. 영등포구는 철도 및 차량 등의 교통으로 인한 소음과 재개발 등으로 인한 공사장의 소음으로 인해 많은 민원이 발생하는 지역으로 국지적인 소음량의 파악과 이를 고려한 소음저감대책을 입안하기 위해 소음지도의 제작이 필수적이다. Fig. 1은 영등포구 전역에 대한 2006년에 제작된 GRS80 타원체기반의 수치지도 v.2.0이다.

수치지도와 동일 연도에 생성된 GRS80 타원체의 도화원도는 이전 도화원도와 비교하여 변화된 지역만을 부분 도화한 도화원도로서 수치지도에 포함된 전체 건물 중 약 10%정도의 건물만을 포함하고 있다. 따라서 이에 보완하여 2000년과 1998년도에 생성된 Bessel 타원체 기반의 도화원도 2 Set를 사용하였다. Table 1은 사용된 도화원도의 생성시기별 타원체, 도엽수 및 건물

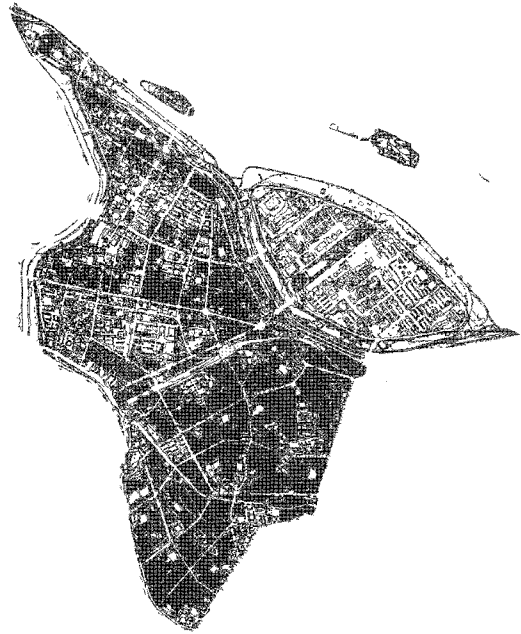


Fig. 1. Digital map of Yeongdeungpo-gu.

Table 1. Draft Maps of Yeongdeungpo-gu

	타 원 체	도 엽 수	건물개수
Set1 (2006)	GRS80	90	6,676개
Set2 (2000)	Bessel	26	5,262개
Set3 (1998)	Bessel	102	48,703개

개수를 정리한 것이다. 수치지도와 도화원도의 정의, 제작과정 등에 관련된 보다 자세한 내용은 이동천(2006)의 논문을 참고한다.

3. 지면모형의 생성

지면모형은 수치지도의 등고선과 표고점 레이어를

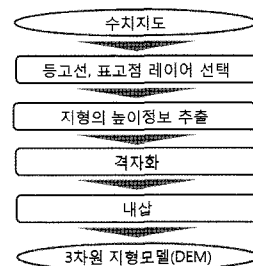


Fig. 2. Process of generation of a terrain model.

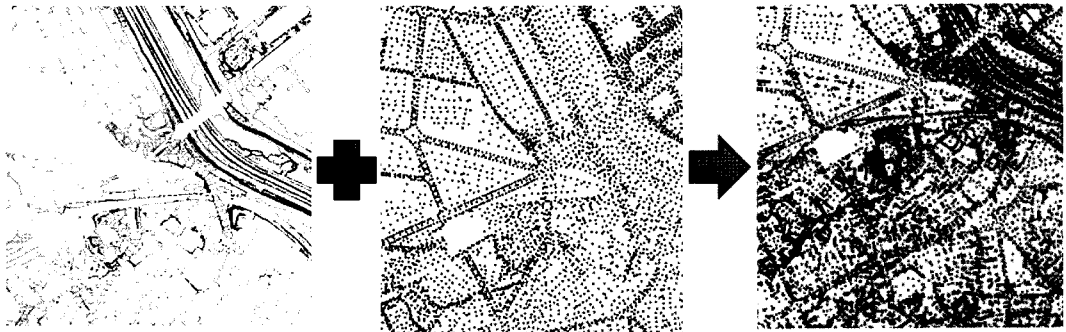


Fig. 3. Terrain point extraction.

선택하여 지면의 고도값을 추출한 후, 영등포구 전역에 격자를 생성하여 추출된 고도값을 내삽하여 DEM을 생성하였다. 지면모델의 생성과정은 Fig. 2와 같다.

1) 레이어 선택 및 높이 정보 추출

수치지도의 등고선과 표고점 레이어를 선택하고 등고선 레이어를 점데이터로 변환하여 표고점과 등고점으로부터 지면의 고도값을 포함하는 지면점을 추출하였다. Fig. 3의 왼쪽 두 그림은 등고선 레이어와 표고점 레이어를 선택한 그림이고 Fig. 3의 오른쪽은 선택된 레이어로부터 지면점을 추출한 것이다.

2) 격자화 및 내삽

DEM을 생성하기 위해 먼저 영등포구 전역을 격자화하였다. 격자 크기는 지면점의 개수를 영등포구 면적으로 나누어 계산한 점밀도에 근거하여 결정하였다. 점밀도는 0.017 점/m²이고 결정된 격자의 크기는 10m × 10m이다.

격자점마다 주변의 지면점들의 고도값을 내삽하여 DEM을 생성하였다. 먼저 격자점마다 고도값 부여를 위하여 선형내삽법을 수행하였고 주변 지면점의 부족때문에 선형내삽법으로 고도값이 부여되지 않는 격자점의 고도값은 최근린 내삽법을 이용하여 결정하였다. Table 2는 사용된 내삽법의 비율이다. Fig. 4는 생성된 영등포구의 지면모델이다.

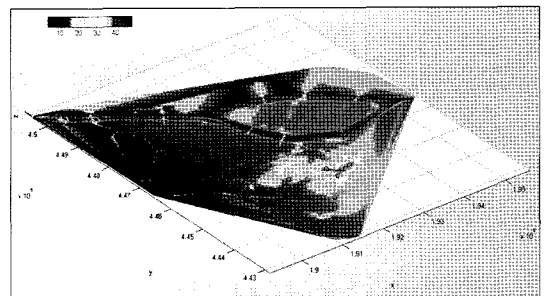


Fig. 4. Generated 3D terrain model.

4. 건물모델의 생성

건물모델은 먼저 수치지도의 건물 레이어에서 건물 경계의 2차원 좌표값을 추출하고 도화원도의 건물 레이어에서 건물 경계의 3차원 좌표값을 추출한다. 도화원도에서 수치지도와 동일한 건물을 검색하기 이전에 도화원도 Set2와 Set3은 수치지도와 좌표계가 일치하지 않기 때문에 2D Affine 변환을 수행하여 좌표계를 일치시킨다. 일치된 두 데이터에서 동일 건물을 검색한 후, 동일 건물인 경우 도화원도에 포함된 건물 경계의 3차원 좌표값으로부터 건물의 높이값을 결정하고, 그렇지 않은 경

Table 2. Percentage of interpolation methods

선형 내삽법	약 62%
최근린 내삽법	약 38%

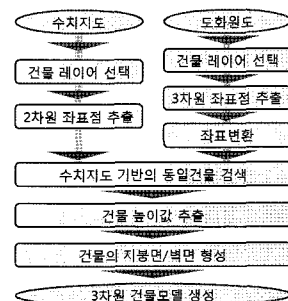


Fig. 5. Process of generation of building models.

우, 수치지도의 속성정보에 포함된 층수를 층당평균높이를 이용하여 높이를 결정한다. 최종적으로 수치지도의 2차원 경계와 결정된 높이값을 이용하여 건물의 바닥면, 벽면, 지붕면으로 구성되는 건물의 3차원 다면체모델을 생성한다. Fig. 5는 건물모델의 생성과정이다.

1) 건물 레이어 선택 및 좌표점 추출

수치지도의 건물면 레이어를 선택하여 건물의 2차원 경계점을 추출한 결과는 Fig. 6과 같다. Fig. 7은 도화

원도의 건물면 레이어와 건물선 레이어를 선택하여 건물의 3차원 경계점을 추출한 결과이다.

2) 도화원도의 좌표변환

도화원도 Set2와 Set3은 수치지도와 동일한 좌표계를 갖지 않기 때문에 Fig. 8의 왼쪽과 같이 수치지도와 도화원도에 포함된 건물 경계가 일치하지 않는다. 그림에서 수치지도는 면처리 되어 표현되었고, 도화원도는 선으로 표현되어있다. 이에 동일한 좌표계를 갖도록 변

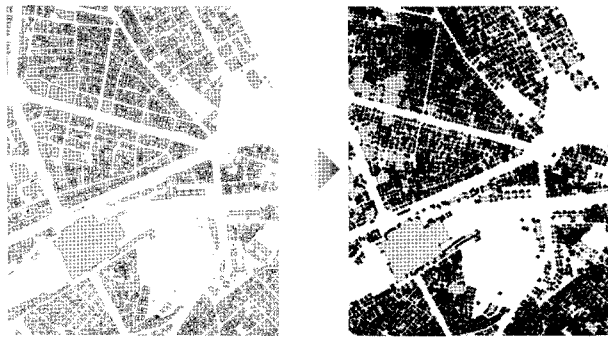


Fig. 6. Process of building boundary point in the digital map.

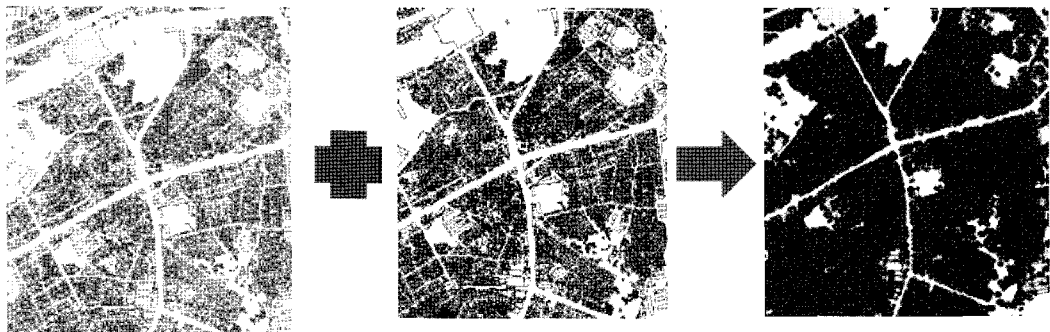


Fig. 7. Process of building boundary point in the draft map.

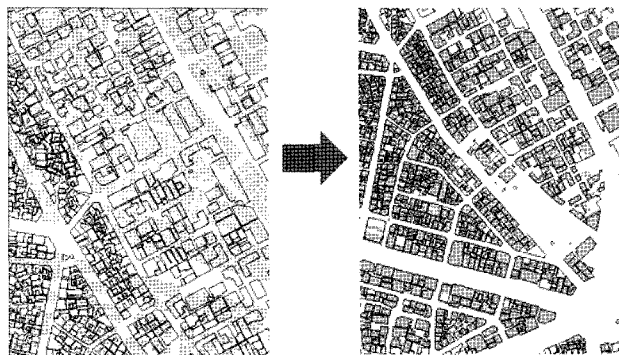


Fig. 8. Before and after the transformation.

Table 3. Transformation parameters

parameter	value
a_{11}	0.999981854200
a_{12}	0.000015501091
a_{21}	0.000052727462
a_{22}	0.999928107795
x_t	-2.056888009713
y_t	22.792532505933

환하였고, 좌표변환 후에 Fig. 8의 오른쪽처럼 건물경계가 거의 일치되는 것을 볼 수 있다.

도화원도를 수치지도와 동일한 좌표체계로 변환하기 위해서 일반적으로 3D Similarity 변환을 수행하여야 하지만, 도화원도의 하나의 도엽과 같은 좁은 지역에서는 단순한 2D affine 변환을 수행하여도 수치지도의 정확도 이내로 수치지도와 도화원도의 건물 경계를 일치시킬 수 있다. 식(1)은 2D affine 좌표변환 식이다. 여기서 변환계수들은 $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}, x_t, y_t$ 이다.

$$\begin{pmatrix} x_f \\ y_f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_m \\ y_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_t \\ y_t \end{pmatrix} \quad (1)$$

도엽별로 변환을 수행하였으며 각 도엽별로 수치지도와 일치하는 6개의 tie point를 선정하고 최소제곱법으로 계수를 추정하여 변환하였다. Table 3은 영등포구 한 도엽의 변환계수이다.

3) 동일건물 검색

수치지도에서 추출한 2차원 건물경계점마다 고도값을 결정하기 위해 도화원도에서 동일한 건물을 검색하여 수치지도와 도화원도의 건물들 간의 연결성(correspondence)을 수립하였다. 도화원도는 수치지도처럼 건물의 속성정보가 없고 건물의 3차원 기하정보만을 가지고 있다. 따라서 동일한 건물을 검색하기 위해서는 기하정보들로 판별해야한다. 본 연구에서는 건물 경계의 2차원 좌표값과 건물의 2차원 면적의 일치에 대한 두가지 조건으로 검색하였다. Table 4는 이와 같은 두가지 조건의 임계값이다. Fig. 9는 위와 같은 조건으로 영등포구 전체 128개 도엽 중 한 도엽의 동일건물검색 결과를 가시화한 것으로 푸른색 실선은 동일 건물을, 붉은색 실선은 동일하지 않은 건물을 나타낸다. 생성시기가 다르거나 부분도화를 했기 때문에 도엽별로 일치하

Table 4. Threshold of conditions

조 건	임 계 값
위 치	수치지도 좌표값의 0.5m
면 적	수치지도 건물면적의 3%



Fig. 9. Result of finding the same building.

지 않는 건물이 발생된다.

위와 같은 조건으로 검색한 결과, 두 개 이상의 도화원도 데이터 Set에서 동시에 동일건물로 검색되는 경우가 있었다. 그 경우 Fig. 10와 같은 판단을 거쳐 수치지도와 동일한 건물의 연결성을 수립하였다. 판단근거는 도화원도의 최신성이었다. 수치지도의 37,791개의 건물 중 약 82%인 31,168개의 건물이 도화원도에서 동일한 건물로 검색되었다. Table 5는 전체 건물 중 각각의 도

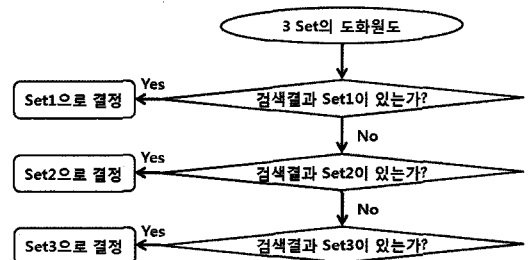


Fig. 10. Decision process of correspondence establishment.

Table 5. Result of finding the same building according to draft map set

도화원도	동일건물 갯수	비율
Set1(2006)	3,555개	9%
Set2(2000)	1,244개	3%
Set3(1998)	26,369개	70%

화원도 데이터 Set별로 검색된 비율이다. Set1은 가장 최근에 제작된 도화원도로써 수치지도와 제작시기 및 좌표계측면에서 가장 일치하지만 변경된 지역에 대한 부분도화의 결과만을 포함하기 때문에 수치지도와의 동일한 건물이 약 9%만 포함된 것을 알 수 있다. 이에 과거에 제작된 도화원도로(Set2, Set3)부터 나머지 변경되지 않은 지역의 건물의 높이값을 추출해야 한다.

4) 건물 높이값 결정

본 연구에서는 소음연구에서 요구하는 지붕이 평평한 건물모형을 생성하였다. 따라서 건물의 높이값 추출은 모든 건물경계점에서 건물 높이가 동일하다는 가정하에 수행하였다. 건물의 높이값은 크게 동일건물로 검색된 82%의 경우와 그렇지 않은 18%의 경우로 나누어 결정하였다. 동일건물로 검색된 82%의 경우, 건물의 지붕점(지붕면의 모서리점)의 고도값과 건물의 바닥점(벽면이 지면과 만나는 점)의 고도값의 차이로 건물의 높이값을 결정하였다. 지붕점의 고도값은 도화원도에서 추출한 건물 경계점들의 고도값의 중간값(median value)으로 결정하였다. 평균값을 취하지 않고, 중간값을 결정한 이유는 도화원도에서 추출한 건물 경계점들의 고도값에 이상값(outlier)이 포함된 경우가 많기 때문이다. 이는 도화할 때 건물 지붕면의 모서리점이 식별되지 않는 경우는 지붕면이 아닌 건물의 벽면 에지와 같은 점을 측정하였기 때문이다. 건물의 2차원 경계정보만을 포함하는 수치지도의 제작을 위해서는 문제가 없지만, 이로부터 건물의 고도값을 측정하는 것에는 문제가 있다. 이로 인해 이와 같은 이상값에 상대적으로 강건한(robust)한 중간값을 건물의 고도값으로 결정하였다. 바닥점의 고도값은 지면모델 상에서 건물 경계점들의 수평위치에서 취득한 지면의 고도값들의 중간값으로 결정하였다. 지붕점의 고도값을 중간값으로 결정한 것과 동일한 이유로 중간값을 이용하였다.

동일건물로 검색되지 않은 18%의 경우, 수치지도의

속성 정보 중 층수 정보와 평균층당높이를 곱하여 건물의 높이값을 결정하였다. 이때 평균층당높이는 동일건물로 검색된 모든 건물의 추출된 높이값을 건물의 층수로 나누어 계산하였고 그 결과 평균층당높이는 약 3.5738m이었다.

5) 건물의 지붕면 및 벽면 생성

건물의 다면체 모델을 생성하기 위해서 먼저 건물의 바닥면을 생성한다. 생성된 지면모델과 수치지도의 2차원 건물 경계점으로 건물 바닥면을 결정한다. 다음으로 앞서 정의된 건물의 높이값을 건물 바닥면에 더함으로 건물의 지붕면을 생성한다. 마지막으로 생성된 건물의 지붕면 및 바닥면의 에지를 연결하여 벽면을 생성한다. 이와 같은 방법을 생성되는 건물 다면체 모델은 건물을 구성하는 바닥면, 지붕면 및 벽면의 면의 집합과 이러한 면의 꼭지점을 구성하는 3차원 점들의 집합으로 정의된다. Fig. 11은 이와 같은 방법으로 생성된 영등포구의 영등포제2동 일부 영역의 건물모델이다.

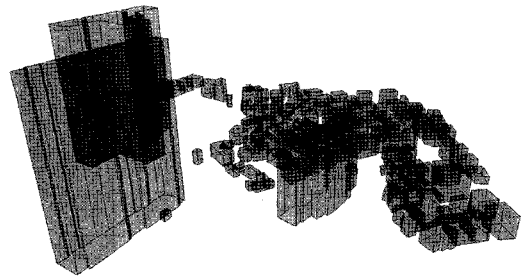


Fig. 11. A part of 3D building model of yeongdeungpo-gu.

5. 도시공간모델의 통합생성, 검증 및 적용

1) 통합생성

도시공간모델은 따로 생성한 지면과 건물을 통합하여 완성하였다. 완성된 도시공간모델의 가시화는 VRML 포맷으로 하였고 효율적으로 가시화하기 위하여 전체 영역을 200m×200m 크기의 607개 구역으로 나누어 수행하였다. 이 중 6개 구역을 Fig. 12에서 보여준다.

2) 검증 - 건물의 높이

생성된 도시공간모델의 검증을 위해 이를 구성하는

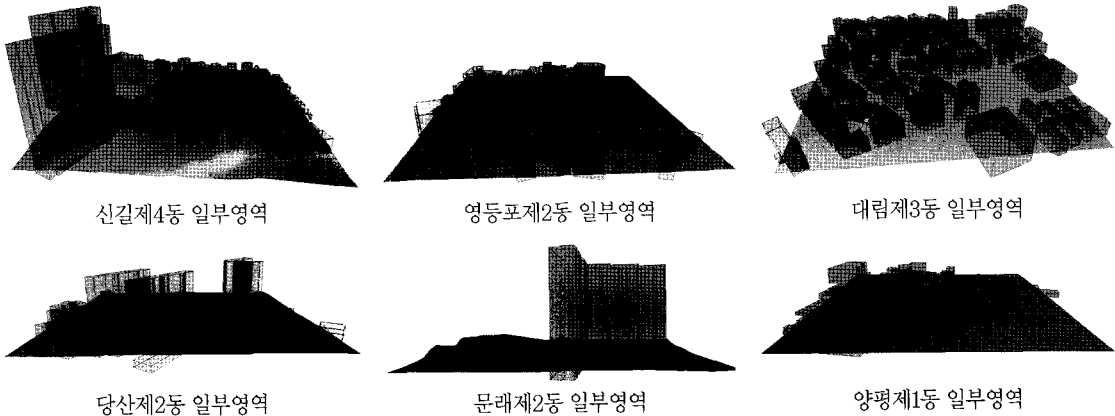


Fig. 12. City Spatial Model.

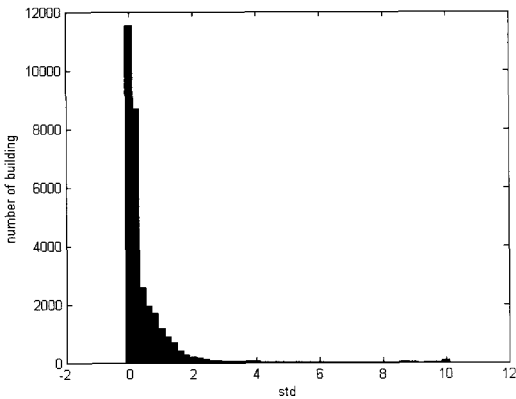


Fig. 13. Histogram of standard deviation of building's Z value.

핵심요소인 건물의 높이값의 신뢰도를 평가하였다. 객관적인 검증 을 위해서는 현지 측량 등과 같은 독립적인 방법으로 취득한 건물의 높이값에 대한 기준데이터가 필요 하지만 넓은 지역의 모든 건물에 대한 직접측량이 가능 하지 않았다. 이에 도화원도 및 수치지도에 포함된 정보를 최대한 이용해서 건물 높이값의 신뢰도를 간접적으로 평가하는 방법을 채용하였다. 이를 위해 1) 도화원도에서 추출한 건물 경계점의 고도값들에 대해 표준편차를 확인하였고, 2) 개별건물마다 결정된 건물의 높이값을 수치지도의 속성정보에 포함된 층수와 비교하였다.

도화원도에서 추출한 건물 경계점의 고도값들에 대해 개별건물마다 표준편차를 계산하였다. 이를 통해 고도값들에 포함된 이상값의 존재와 건물모델의 지붕면을 하나의 수평면으로 단순화시켜서 표현하는 것에 대한 합리성을 확인하였다. Fig. 13은 도화원도에서 동일건물로 검색된 전체 31,168개의 개별건물마다 계산한 표

Table 6. Percent of building according to standard deviation

표준편차(m)	0 ~ 1	1 ~ 3	3 ~ 5	5 이상
비율(%)	86.84	11.24	1.11	0.81

준편차를 히스토그램으로 나타낸 그림이고, Table 6은 표준편차에 대해 구간별로 동일건물로 검색된 전체 건물에서의 비율을 구한 것이다. 1 m 이하의 표준편차가 관측된 전체에서 약 87% 건물은 지붕면이 거의 수평에 가깝고, 도화원도로부터 추출한 경계점의 고도값에 이상값이 포함되지 않았다는 것을 추정할 수 있다.

또한, 개별 건물의 높이값을 수치지도에 포함된 건물의 층수 정보와 비교하였다. 건물의 높이값을 층수로 나누어 개별 건물에 대해 층당 평균 높이를 구하였다. 층당 높이값이 너무 낮거나 높은 경우는 도화원도로부터 결정된 건물의 높이값이 잘못 설정되었을 가능성이 높기 때문에 이를 확인하고자 하였다. 건물 층당 높이는 '건축법 시행령 제19조 면적·높이등의 산정방법'에 근거하여 결정한다. 보통 단독주택의 경우 2-3m, 아파트의 경우 15층 이하는 2.6m, 16층 이상은 2.8m, 상가의 경우 1층은 설비배관 등을 고려하여 3.3-4m, 상부층은 3.2-3.5m로 결정된다. 따라서 본 연구에서는 층당높이가 2-4m인 경우는 건물의 높이값 결정이 합리적이었다고 판단하였다. Fig. 14는 층당높이를 히스토그램으로 나타낸 그림이고 Table 7은 층당높이에 대해 동일건물로 검색된 전체 건물에서의 비율을 구한 것이다. 층당높이가 2-4 m 정도를 나타내는 약 75%의 건물은 합리적으로 건물의 높이값이 결정된 것으로 파악된다. 나머지 건물 중 건물의 층당높이가 0-2m로 낮게 나온 것은

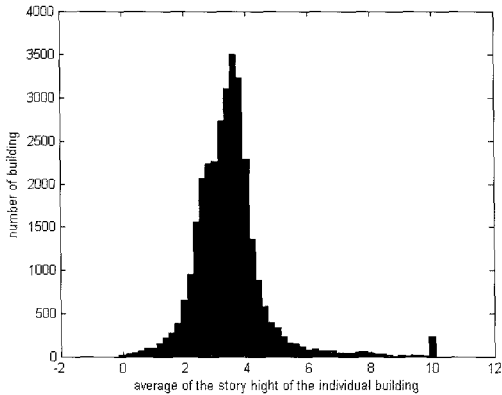


Fig. 14. Histogram of story height.

Table 7. Percent of building's story hight

층당 높이(m)	0 ~ 2	2 ~ 4	4 이상
비율(%)	5.33	74.77	19.91

건물의 지하층수 정보가 고려되었기 때문이고 건물의 층당높이가 4m 이상으로 높게 나온 이유는 건물의 지붕 높이가 고려되었기 때문으로 판단된다. 또한, 도화원도에 포함된 건물 경계점의 고도값에 이상값이 포함되어서 건물의 높이값이 잘못 결정되었을 가능성도 있다.

위의 두 가지 종류의 분석을 종합하여 표준편차가 1 m 미만이면 건물경계점의 높이값에 이상값이 없고 지붕면을 단일 수평면을 근사할 수 있다고 판단하였으며, 평균층당높이가 2-4 m이면 결정된 건물 높이값이 층수와 상당히 부합하다고 판단하였다. 따라서 본 논문에서는 1) 표준편차가 1 m 미만이고 2) 평균층당높이가 2-4m인 건물들은 건물의 높이값 추정이 합리적이라고 판단하였다. 도화원도에 검색된 건물 전체 31,168개의 건물 중 위와 같은 두 가지 조건을 만족하거나 만족하지 않는 건물의 비율을 Table 8에 정리하였다. 이 중 위의 두 가지 조건을 모두 만족하여 가장 신뢰성 크게 높이값이 결정된 건물은 21,085개로 약 68%에 해당한다. 또한, 표준편차에 대한 기준을 만족하지만 층당평균높이

Table 8. Building hight precision ratio of same building

		층당평균높이(Ha)	
		2m ≤ Ha ≤ 4m	Ha < 2m or Ha > 4m
고도값	Hs ≤ 1m	67.65 %	22.56 %
	Hs > 1m	7.12 %	2.67 %

의 기준을 만족하지는 못하는 건물은 약 23%에 해당하는데 도화원도로부터 추출한 지붕점의 고도값들이 서로 상당히 일치한 경우이기 때문에 이도 상당히 신뢰도가 높다고 판단된다. 나머지 경우가 각각 합쳐서 약 10%에 해당하는데 이는 신뢰도가 상당히 낮다고 판단되며 향후 현지 측량의 방법으로 검증해야 한다.

최종적으로 수치지도에 포함된 전체 37,791개의 건물 중 도화원도에서 동일 건물이 검색되어 경계점의 고도값으로부터 신뢰성 높게 높이값을 결정한 건물은 28,116개로 약 74%에 해당한다. 나머지 26%의 건물은 도화원도에 검색되지 않았거나 검색되었지만 신뢰성 크게 높이값이 결정되지 않았다고 판단된다.

3) 적용 - 소음지도제작

통합생성된 도시공간모델은 소음원 데이터와 함께 소음분석용 패키지에 입력되고, 도시공간모델 상에서 소음의 3차원 전파분석을 수행한다. 소음분석은 증명된 이론 또는 실험결과로 획득된 경험식을 이용하여 소음값과 소음의 분포를 계산하는 것이다(영등포구청, 2008). 소음 분석의 결과로 지면 및 건물의 벽면 상에서 비균일하게 샘플링된 개별 지점에서 노출(폭로)되는 소음도(dB)가 개별지점의 위치좌표와 함께 ASCII Text형태로 제공된다. 이러한 형태의 소음분석결과를 일반 사용자들에게 보다 친숙하게 전달하기 위해 3차원 소음지도를 제작하였다. 3차원 소음지도는 지면 및 건물벽면 상의 개별지점에서 계산된 소음도(dB)에 RGB코드를 할당한 후 이를 격자화하여 texture를 생성한 후 도시공간모델 상에 입혀서(draping) 소음분석결과를 3차원으로 가시화한



Fig. 15. 3D Noise Map using the City Spatial Model.

지도이다. Fig. 15는 생성된 도시공간모델을 입력하여 생성한 대표적인 3개의 구역에 대한 3차원 소음지도를 보여준다.

6. 결 론

본 연구는 3차원 소음지도제작에 적합한 넓은 지역의 단순한 3차원 도시공간모델을 도화원도와 수치지도를 이용하여 신속하고 저렴하게 자동으로 생성하는 방법을 제시하였다. 제시된 방법을 약 42 Km² 면적의 영등포구 전역에 대한 연속수치지도와 서로 다른 3개의 시기에 생성된 전체 218개 도엽의 도화원도에 적용하여 지면모델과 전체 37,791개 건물의 3차원 모델을 생성하였다. 전체 건물 중 약 74% 해당하는 건물은 도화원도로부터 신뢰성 높게 높이값을 결정할 수 있었다. 나머지 26% 해당하는 건물에 대해서는 추후에 현지측량으로 방법으로 보완되어야 할 것으로 판단된다. 생성된 도시공간모델은 소음분석 및 분석결과에 대한 3차원 가시화에 유용하였다. 소음지도 뿐만 아니라 넓은 지역의 비교적 단순한 3차원 모델을 요구하는 예를 들어 일조권, 조망권, 전파 분석 등 3차원 공간분석을 요구하는 다양한 응용분야에 효율적으로 활용될 것이라 판단된다. 향후 연구로 현지직접측량, 항공라이다데이터, 고해상도 입체항공영상으로부터 추출한 3차원 모델과 비교하여 본 연구에서 생성된 모델의 품질(정확도, 완전성, 세밀도 등)에 대한 정량적 평가를 수행하여야 한다.

사 사

본 연구는 서울시 산학연 협력 사업인 “스마트(유비쿼터스)시티를위한 지능형 도시정보컨버전스 시스템개발” 과제의 지원으로 가능하였습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 국립환경과학원, 2007. 소음지도 작성을 위한 연구.
- 국토지리정보원, 2007. 2차원에서 3차원에서의 지도학적 차원의 변화모색 연구보고서, 건설교통부.
- 김성준, 이임평, 민성홍, 이동천, 박진호, 2007. 도화원도를 이용한 3차원 건물모델의 자동생성, 한국지형공간학회지, 15(2): 3-14.
- 영등포구청, 2008. 정온한 생활환경 조성을 위한 영등포구 소음지도 제작 연구보고서.
- 오진우, 2004. 국내의 소음지도 제작과 활용에 관한 연구, 석사학위논문, 서울시립대학교.
- 유복모, 진경혁, 유환희, 2005. 항공사진을 이용한 3차원 도시 모형 생성, 한국측량학회지, 23(3): 233-238.
- 이동천, 유근홍, 손은정, 김호성, 문용현, 2006. 도화원도 데이터를 이용한 3차원 수치지도 생성과 편집시스템 개발, 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 359-369.
- 충북지역환경기술개발센터, 2006. 청주시 주거환경개선을 위한 중·장기 소음저감 대책.
- Cho, D. S., J. H. Kim, and D. Manvell, 2007. Noise mapping using measured noise and GPS data, *Applied acoustics*, 68(9): 1054-1061.
- Ko, J. H., S. J. Park, D. S. Kim, S. I. Chang and B. C. Lee, 2006. Noise Mapping in the City of Cheongju, *Noise control engineering, INTER-NOISE 2006*, pp. 262-.