

연구논문

도화원도를 이용한 3차원 건물모델의 자동생성

Automatic Generation of 3D Building Models using a Draft Map

김성준* · 이임평** · 민성홍*** · 이동천**** · 박진호*****

Kim, Seong Joon · Lee, Impyeong · Min, Seonghong · Lee, Dong-Cheon · Park, Jin Ho

要 旨

본 연구는 항공사진으로부터 지도를 제작하는 과정의 중간산출물인 도화원도를 이용하여 3차원 건물모델을 자동으로 생성하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 기구축된 도화원도에 포함된 제한적인 3차원 정보를 추출하여 지면모델, 지붕면모델과 벽면모델을 생성하는 과정으로 구성된다. 지붕면모델은 지붕면 모서리점들의 평면근사오차를 기준으로 단일평면이나 복합평면으로 생성한다. 단일평면은 강인추정법에 의한 평면근사를 통해, 복합평면은 삼각망에 기반한 분할 및 병합으로 구성된다. 벽면모델은 지붕면모델을 구성하는 모서리를 지면모델에 투영하여 생성한다. 실제 데이터에 적용한 결과 넓은 지역에 다양한 형태의 건물모델이 성공적으로 생성되었다. 제안된 방법은 기구축된 데이터를 이용하기 때문에 시간 및 비용적인 측면에서 효율적인 방법으로 평가된다.

핵심용어 : 도화원도, 건물모델, 다면체모델, 수치표고모형, 수치지도

Abstract

This study proposes an automatic method to generate 3D building models using a draft map, which is an intermediate product generated during the map generation process based on aerial photos. The proposed method is to generate a terrain model, roof models, and wall models sequentially from the limited 3D information extracted from an existing draft map. Based on the planar fitting error of the roof corner points, the roof model is generated as a single planar facet or a multiple planar structure. The first type is derived using a robust estimation method while the second type is constructed through segmentation and merging based on a triangular irregular network. Each edge of this roof model is then projected to the terrain model to create a wall facet. The experimental results from its application to real data indicates that the building models of various shapes in wide areas are successfully generated. The proposed method is evaluated to be an cost and time effective method since it utilizes the existing data.

Keywords : Draft map, Building model, B-rep, DTM, Digital map

1. 서 론

인간의 활동 및 지리적 현상은 3차원 위치정보에 기반하고 있다. 과거에는 기술의 부족으로 인하여 3차원의 공간정보를 2차원의 평면상에 표현해왔다. 3차원 공간상의 지형지물을 2차원 평면상에 표현하기 위해서는 공간상에 존재하는 객체에 대한 기하학적 왜곡과 손실이 불가피했다. 현재에는 3차원의 대용량 데이터를 다룰 수 있는 컴퓨터 기술의 발달과 더불어 실세계를 정교하게 표현한 3차원 공간정보의 수요가 급격하게 증가하고 있다. 이러

한 3차원 공간정보 중에서도 특히 건물에 대한 3차원 모델의 활용성은 아주 크고, 이에 이를 보다 정교하면서도 경제적으로 구축하는 것에 연구가 많이 수행되고 있다.

건물모델링을 위한 초기 연구는 주로 항공영상을 이용한 방법이다. 이는 전통적인 사진측량에서 중첩된 둘 이상의 영상으로부터 3차원 좌표값을 획득하는 방식을 건물모델링에 적용한 것이다. Haala(1996)와 Baillard 등(1999)은 영상에서 건물의 선형요소를 추출하여 이를 그룹화 함으로써 건물모델링을 수행하였다. Fuchs 등(1998)은 건물모델링 과정에 계층적인 방법을 이용하였다. 모

2007년 3월 26일 접수, 2007년 4월 23일 채택

* 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정 (sinus7953@uos.ac.kr)

** 교신저자·정회원·서울시립대학교 공간정보공학과 조교수 (iplee@uos.ac.kr)

*** 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정 (minssy0306@uos.ac.kr)

**** 정회원·세종대학교 지구정보공학과 조교수 (dcllee@sejong.ac.kr)

***** (주)공간정보기술 (avatar@git.co.kr)

델링에 사용될 수 있는 기초요소를 점, 선, 면으로 구분하고 이들을 연결자와 말단자로 구분하여 각각의 요소들을 모서리를 기준으로 그룹화하여 모델링하였다. Suveg 등(2004)은 영상만을 이용했을 때 발생하는 문제를 수치지도로 해결하기 위해 항공영상과 수치지도를 병합하여 이용하였다. 그러나 영상의 에지가 잘 정의되지 않아 크기가 작은 부분의 모델링은 잘 이루어지지 않았다.

최근 들어는 라이다와 같은 3차원 센서 데이터를 이용한 연구가 많이 진행되었다. 항공라이다데이터만을 단독으로 이용하거나, 이를 영상 또는 기존의 수치지도와 함께 병합하여 이용하고 있다. 라이다데이터가 3차원 정보를 직접 제공하지만 점 데이터로 주어지기 때문에 비교적 명시적이지 못하며 데이터의 밀도도 상대적으로 낮기 때문에 후자의 연구가 주류를 이루고 있다. Vosselman(1999)은 Hough transform을 이용하여 비정규화된 레이저 스캔 데이터로부터 건물을 구성하는 3차원 평면(facet)을 추출하여 건물모델을 생성하였다. Vosselman(2001)는 앞의 연구를 발전시켜 잘못된 지붕면을 방지하기 위하여 건물의 평면도를 기반으로 추출된 지붕면요소에 분할 및 병합을 적용하여 지붕면을 결정하였다. Brenner(1998)는 라이다 데이터로 생성한 DSM과 건물의 평면도를 이용하였다. 항공영상도 사용되었지만 후처리 과정에서 사물을 해석하는데 이용될 뿐 모델링 과정에서는 이용하지 않았다. Rottensteiner 등(2003)은 건물의 모델링을 위하여 라이다 데이터와 항공 영상을 사용하였다. 주로 라이다데이터를 이용하였으며 항공영상은 추가적으로 작은 건물 추출 시 사용되었다. 먼저 DSM의 법선벡터를 분석해서 분할한 후 지붕면으로 결정된 면들을 그룹핑하여 건물모델을 생성하였으며 인접 지붕면으로부터 에지들을 찾아내어 지붕면과 함께 그룹핑하였다. 그리고 상대적으로 밀도가 낮은 라이다데이터로 표현하기 어려운 작은 건물은 영상으로 보완하였다.

선행 연구들을 살펴보면 주로 영상과 라이다데이터를 이용하여 건물모델링을 수행하였고, 두 연구 모두 건물

의 지붕면을 이루는 선형 정보를 추출하는 방법을 이용하였다. 다만 라이다데이터의 경우 그 특성 때문에 영상이나 2차원 지도를 참조하였다. 이러한 기존의 구축된 지리정보를 거의 사용하지 않고 새롭게 3차원 데이터를 획득해야 하므로 많은 시간과 비용이 소모될 수밖에 없다는 단점이 있다. 이로 인해 기존의 방법으로는 국가 단위와 같은 넓은 지역의 건물 모델을 구축하는 것은 시간과 비용의 측면으로 인해 거의 불가능했다.

이에 본 연구는 넓은 지역의 비교적 단순한 건물 모델을 신속하고 경제적으로 구축할 수 있는 방법의 개발을 목표로 한다. 이를 위해 입력데이터로 신규로 취득된 센서 데이터를 전혀 이용하지 않고, 과거에 수치지도의 제작과정에서 중간산출물로 생성되어 보관 중인 도화원도를 사용한다. 도화원도에 포함된 지면 및 건물에 대한 제한적인 3차원 정보를 이용하여 지면모델과 건물의 지붕면 모델 및 벽면 모델을 자동으로 생성하는 방법을 제시하고, 제시된 방법을 실제 데이터에 적용하여 검증한 결과를 기술하고 있다.

2. 도화원도의 소개

2.1 도화원도의 특성

수치지도란 지표면·지하·수중 및 공간의 위치와 지형 지물 및 지명 등의 각종 지형공간정보를 전산시스템을 이용하여 일정한 축척에 의하여 디지털형식의 자료로 표현한 것을 말한다. 즉 컴퓨터를 이용하여 수치도화, 지도 입력 등 지형지물을 수치 데이터로 취득하고 목적에 따라 편집 하는 것이다. 도화원도란 항공삼각측량에 의해 지상좌표가 등록된 입체 항공영상을 도화기를 이용하여 디지털이정한 데이터를 도화원도라고 하며, 도화원도가 제작된 후에 정위치 편집 및 구조화 편집 등을 통해 수치지도로 제작된다. 이러한 과정에서 대부분의 객체의 3차원 데이터는 제거되며, 등고선 및 표고점을 제외한 모든 데이터는 2차원의 속성을 갖게 된다.

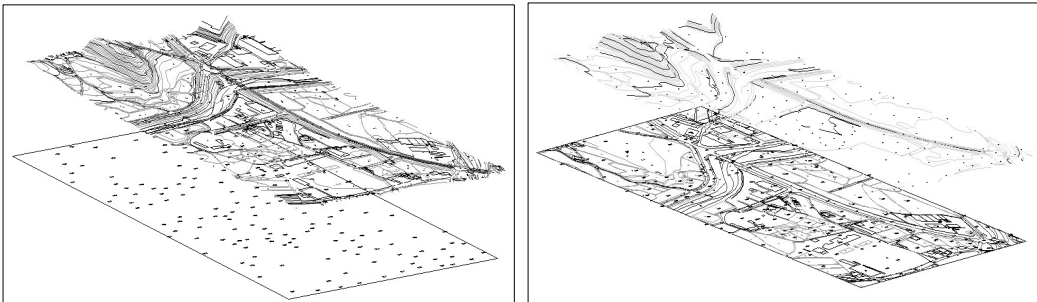


그림 1. 도화원도와 수치지도의 3차원 표현

<p>POLYLINE 도면층: "AAA008" 공간: 모형 공간 핸들 = 382C 열기 공간 점들이 동일평면상에 없음. 계산되는 면적이 없음. 길이 137.4887</p> <p>VERTEX 도면층: "AAA008" 공간: 모형 공간 핸들 = 382D 공간에 점, X=255701.4480 Y=305971.7120 Z= 115.6090</p> <p>VERTEX 도면층: "AAA008" 공간: 모형 공간 핸들 = 382E 공간에 점, X=255700.4120 Y=305951.3680 Z= 115.4510</p> <p>VERTEX 도면층: "AAA008" 공간: 모형 공간</p>	<p>LWPOLYLINE 도면층: "AAA008" 공간: 모형 공간 핸들 = 13EA5 닫힌 상수 쪽 0.0000 면적 993.5323 둘레 137.4901</p> <p>점 X=255701.4234 Y=305971.6913 Z= 0.0000 점 X=255700.4117 Y=305951.3677 Z= 0.0000 점 X=255748.4606 Y=305948.6196 Z= 0.0000 점 X=255749.4105 Y=305969.5784 Z= 0.0000 점 X=255701.4234 Y=305971.6913 Z= 0.0000</p>
--	---

그림 2. 도화원도(좌)와 2차원 수치지도(우)의 건물 레이어 데이터의 비교

그림 1에서 보는 바와 같이 도화원도는 전체 레이어의 3차원 데이터를 가지고 있으나 수치지도에서는 등고선과 표고점의 데이터를 제외한 모든 레이어가 2차원으로 표현되고 있다.

도화원도의 건물 레이어는 3차원 데이터인 z값을 포함하고 있으나 수치지도의 건물 레이어는 z값이 손실된 2차원적인 기하학적 요소만을 포함하고 있다. 이는 현재의 수치지도는 2차원의 데이터를 목적으로 하고 있기 때문에 정위치 편집, 구조화 편집의 과정을 거치면서 3차원적인 요소가 손실되기 때문에 발생한다.

2.2 도화원도의 파일구조

그림 3에서와 같이 도화원도는 Ascii형태로 저장된 DXF(Drawing eXchange Format) 형태의 파일로 저장되어 있다. 도화원도 DXF 파일은 헤더 섹션(section), 테이블 섹션, 블록 섹션, 엔터티 섹션 등 크게 네 개의 섹션으로 구성되어 있다. 여기서 엔터티 섹션은 점, 선, 면, 원, 텍스트 등 도면을 형성하는 그래픽 객체를 정의하는 부분으로 건물 경계의 다각형(면)정보를 포함한다.

개별건물경계의 다각형 정보는 엔터티 섹션 내에 다각형을 구성하는 꼭지점의 좌표를 포함하는 꼭지점(vertex) 섹션과 꼭지점을 연결하여 다각형을 구성하는 폴리라인(polyline)섹션에 정의된다. 꼭지점섹션과 폴리라인섹션으로부터 다각형정보를 추출하면 건물외곽의 2차원 경계를 구성할 수 있다. 여기서 꼭지점의 포함된 고도좌표까지 이용하면 건물지붕면의 3차원 경계가 복원된다.

2.3 도화원도를 이용한 3차원 건물모델 가능성

도화기에서 생성된 중간 산출물인 도화원도 데이터는 모든 레이어에 3차원의 정보를 포함하고 있다. 도화작업은 정해진 도화규정에 의거하여 수행되며, 현재 국내 수

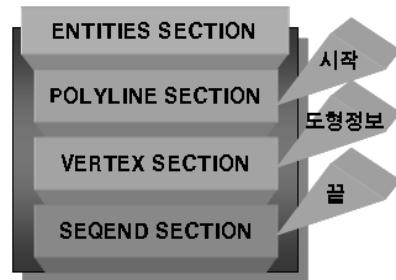


그림 3. 엔터티 섹션의 구성

치지도의 도화규정은 2차원 지도제작을 목적으로 하고 있으므로 도화원도 데이터로부터 실제계의 상세한 세부 정보(예: 건물지붕 구조의 상세묘사 등) 획득이 요구되는 활용분야에는 적합하지 않을 수 있다. 그러나 도화원도를 활용하는 장점은 추가적인 데이터 수집 또는 부수적인 데이터 처리과정이 불필요하여 직접 3차원 정보를 용이하고 경제적으로 획득할 수 있다. 도화원도는 건물 외곽점(vertex)의 높이좌표를 포함하고 있으며, 이러한 3차원 좌표값을 기반으로 객체들의 개략적인 3차원 모델생성이 가능하다(이동천, 2006).

3. 도화원도를 이용한 건물모델 생성 방법

건물모델을 표현하는 방법은 많은 연구에서 개발되었으나 대표적인 방법으로는 픽셀개념의 3차원 직육면체 형태의 객체들을 쌓아올려 건물을 표현하는 Spatial Enumeration, Spatial Enumeration과 비슷하지만 픽셀개념의 다양한 형태의 객체들을 쌓아올려 표현하는 Cell Decomposition, 건물의 각 면에 대하여 모델을 생성하여 이들을 표현해주는 Boundary Representation(B-rep), 건물을 원뿔,

직육면체, 각주, 원통 등의 고체 도형요소(Solid Primitive)의 집합체로 표현하는 방식인 Constructive Solid Geometry (CSG), 건물의 형태와 비슷한 기본적인 3차원 구조를 미리 설정하고 scale, angle 등의 parameter로써 건물을 표현하는 Parametric Description 등이 있다(Thiemann, 2002).

본 연구는 수치지도를 제작하는 중간 과정에서 생산되는 도화원도를 입력으로 하여 최종적으로 건물의 외형을 나타내는 Boundary Representation(B-rep)방법을 이용하여 3차원 다면체 모델을 자동으로 생성하는 것을 목표로 한다. 이러한 건물모델은 지붕면모델 및 벽면모델로 구성된다. 지붕면모델은 도화원도의 건물레이어에 포함된 건물의 외곽을 나타내는 다각형 모델로부터 유도한다. 다각형 모델은 입체영상을 입체시 상태에서 건물지붕면의 모서리점을 3차원으로 측정하여 생성하였기 때문에 수치지도에 나타나는 수평좌표값 뿐만 아니라 고도값도 함께 포함하고 있다. 이러한 고도값이 포함된 건물경계를 기반으로 지붕면의 3차원 기하모델을 유도할 수 있다. 벽면모델은 이미 생성한 지붕면모델과 수치표고모델(DTM)과 같은 건물이 위치한 지면의 3차원 모델을 이용하여 유도할 수 있다. 여기서 수치표고모델은 도화원도에 포함된 등고선 및 표고점 레이어로부터 계산한다.

3.1 지면모델의 생성

도화원도로부터 생성될 3차원 수치지도에 기본구축대상으로 포함된 지면모델은 지상위의 건물, 나무 등을 제외한 순수한 지표면의 높이값을 격자 형태로 표현하는 DTM(digital terrain model)이다. 참고로 건물 등과 같은 지상 위의 모든 객체에 대한 높이값까지 포함하여 격자 형태로 표현하는 모델은 DSM(digital surface model)이라 부른다. 수치표고모델은 지상위의 건물, 나무 등을 제외한 순수한 지표면의 고도값을 격자 형태로 표현한다. 수치표고모델은 라이다데이터나 또는 입체항공영상으로부터 보다 정확하고 정밀하게 생성될 수 있지만, 본 연구에서는 품질 측면에서는 부족하지만 비용측면에서는 효율적인 생성을 위해 도화원도에 포함된 데이터만을 사용한다. 평면상에 표현되는 2차원 수치지도와는 달리 3차원 수치지도에 포함된 건물, 도로 등의 다양한 객체들을 3차원 공간 내에 표현하려면 이러한 객체들이 올려질 기준이 되는 지면이 필요하다.

DTM 생성을 위해 도화원도로부터 참조할 수 있는 데이터는 크게 등고선과 표고점이다. 예를 들어 도화원도에 포함된 표고점과 등고점(등고선을 구성하는 3차원 점)은 그림 4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 표고점은 주로 건물 또는 도로 등이 많이 포함된 도심 지역에 많이 분포하고, 등고점은 주로 산악 지역에 많이 분포한다. 이

로 인해, 이러한 두 종류의 데이터를 함께 고려하면 대상 지역의 전체에 비교적 골고루 분포하는 것을 볼 수 있다.

위와 같이 도화원도에 포함된 표고점과 등고점을 이용하여 DTM을 생성할 때는 먼저 전체 지도 영역을 포함하도록 격자의 범위를 설정하고 포함된 표고점과 등고점의 밀도를 고려하여 평균적으로 하나의 격자에 하나 정도의 점이 위치하도록 격자의 간격을 설정한다. 1/1,000 수치지도의 경우에는 등고선의 주곡선 간격이 1m로 설정되어 있기 때문에 DTM의 격자 간격을 1m정도로 설정한다. 격자를 설정한 후에는 각각의 격자점의 높이값을 격자점 주변의 표고점과 등고점을 이용하여 내삽을 통해 결정한다. 내삽의 방법은 지표의 지형학적 형태를 최대한 유지할 수 있도록 지표면의 고도 차이가 크게 나타나는 절단선(breakline)이 보존되는 방법을 사용하는 것이 바람직

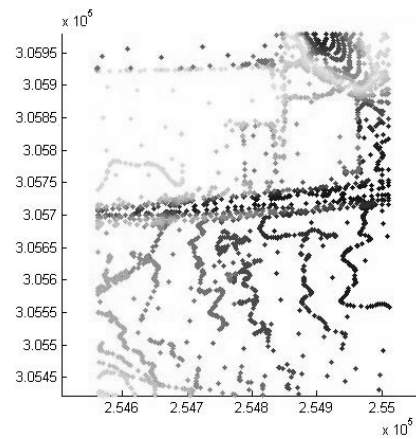


그림 4. 표고점과 등고점 데이터

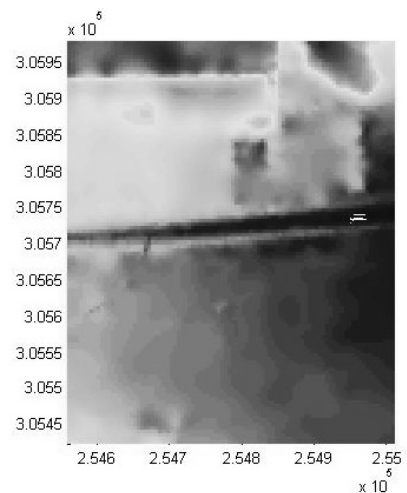


그림 5. 표고점과 등고점에 기반한 DTM

하다. 그림 5는 위와 같은 방법을 이용하여 표고점과 등고점으로부터 생성된 DTM의 예이다.

3.2 지붕면모델 생성

1) 경계점 추출

지붕면모델을 생성하는 과정은 도화원도의 건물 관련 레이어로부터 건물지붕면의 3차원 경계를 추출하는 과정과 이로부터 지붕면모델을 생성하는 과정으로 구성된다.

건물과 관련된 도화원도 레이어는 1/5,000 수치지도 레이어를 기준으로 주택외건물(레이어코드: 4111), 주택(4112), 연립주택(4113), 공사중건물(4114), 아파트(4115), 무벽건물(4118)등의 레이어가 존재한다. 이러한 건물레이어는 건물경계를 다각형 형태로 저장하고 있는데, 여기서 다각형을 구성하는 꼭지점, 즉 건물의 외곽점들은 수평좌표 뿐만 아니라 고도좌표를 포함하고 있다.

도화원도의 DXF 파일에서 꼭지점의 좌표를 포함하는 꼭지점(vertex)섹션과 꼭지점을 연결하여 다각형을 구성하는 폴리라인(polyline)섹션으로부터 다각형정보를 추출하면 예를 들어 그림 6과 같은 건물외곽의 2차원 경계를 구성할 수 있다. 여기서 꼭지점에 포함된 고도좌표까지 이용하면 그림 7과 같은 건물지붕면의 3차원 경계를 복원된다.

2) 지붕면 생성

다음은 복원된 지붕면의 3차원 경계로부터 하나 또는 여러 개의 면을 형성하여 지붕면의 다면체 모델을 생성한다.

도화원도는 모든 지형 및 지물의 3차원 데이터를 포함

하고 있지만 복잡한 건물에 대해서 지붕의 형태나 건물의 모양을 정확하게 복원하기에는 한계가 존재한다. 이는 건물을 묘사할 때 층수의 변동으로 인해 건물의 상단 높이가 달라지거나 도화작업과정에서의 문제점으로 인해 나타나는 현상이며, 현재의 도화규정은 2차원의 지도 제작을 목적으로 건물의 코너점을 입체화하여 묘사하도록 되어 있으므로 형태가 단순한 건물은 가능하지만 높이의 변화가 많은 건물에 대해서는 정확한 표현이 불가능하다.

또한 같은 수준의 건물 지붕면에 대한 vertex 정보에서 높이값이 다르게 표현되어 있는 문제를 발견할 수 있었다. 이것은 도화사가 항공사진을 이용하여 도화할 때 부점(floating mark)의 정위(on the ground)과정에서 발생하는 문제일 수도 있으며, 혹은 실제의 건물 높이가 데이터 상에 표현된 것과 같이 일정하지 않은 경우로 나누어 생각해 볼 수 있다.

이러한 문제를 해결하게 위하여 본 연구에서는 최소제곱법(LMS, Least Mean Square)을 사용하여 평면을 근사하고 그 평면을 기준으로 각 외곽점들에 대한 근사오차를 분석한다. 지붕면의 3차원 경계를 구성하는 꼭지점들에 하나의 평면을 근사하고, 근사된 평면과 각각의 꼭지점의 수직거리를 계산하여 모든 꼭지점이 주어진 임계값의 범위 내에서 존재하지 않으면 - 즉 이상점이 검출되면 LMedS 방법을 적용한다. LMedS 방법으로 추정된 후 연속된 2점 이상이 이상점으로 판별되면 복합평면으로 표현하고 그렇지 않은 경우에만 단일평면으로 표현한다.

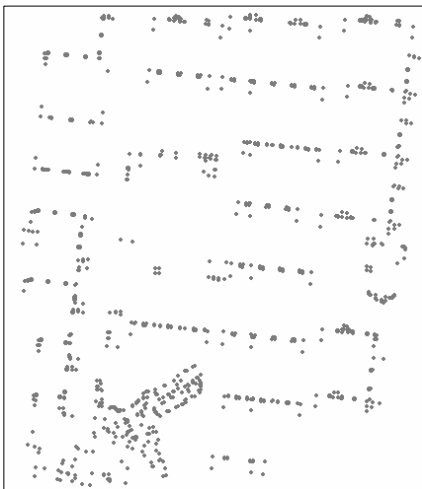


그림 6. 건물지붕의 경계점

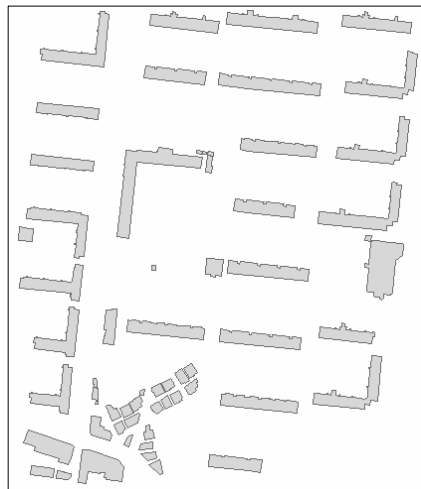


그림 7. 복원된 건물지붕의 경계

가) 단일평면

단일평면으로 구성하는 경우는 모든 꼭지점에 하나의 평면을 근사하고, 근사된 평면에 모든 꼭지점을 수직으로 투영하여 꼭지점의 좌표를 조정하고, 조정된 꼭지점을 연결하여 면을 구성한다.

그림 8은 단일평면으로 이루어지는 지붕면모형을 생성하는 방법을 보여주고 있다. 건물모델의 지붕면을 구성하는 외곽점에 포함된 이상점의 존재 유무를 검사하기 위해서는 최소제곱법(LMS, Least Mean Square)을 사용하여 평면을 근사하고 그 평면을 기준으로 각 외곽점들에 대한 근사 오차를 분석한다. 근사오차가 허용치를 벗어난다면, 건물모델의 지붕 점들 중에 이상점이 존재함을 알 수 있다. 이상점을 포함하는 건물 객체에 대해서는 이상점에 Robust 추정법을 통해 외곽점에 대한 평면 근사를 다시 수행한다. Robust 추정법으로는 이론적으로 50% 정도의 이상값이 포함되어도 정상적인 추정을 수행하는 LMedS방법을 사용한다. 그림 9와 같이 LMS방법으로 평면을 근사하면, 근사평면은 이상점의 극단적인 값에 영향을 크게 받는다. 반면, LMedS방법은 지붕점들 중에서 상하위의 극단적인 값들을 사용하지 않고 오차의 중간값(median)을 최소로 근사를 하기 때문에 이상점의 영향을 거의 받지 않는다. LMedS를 사용하여 근사한 평

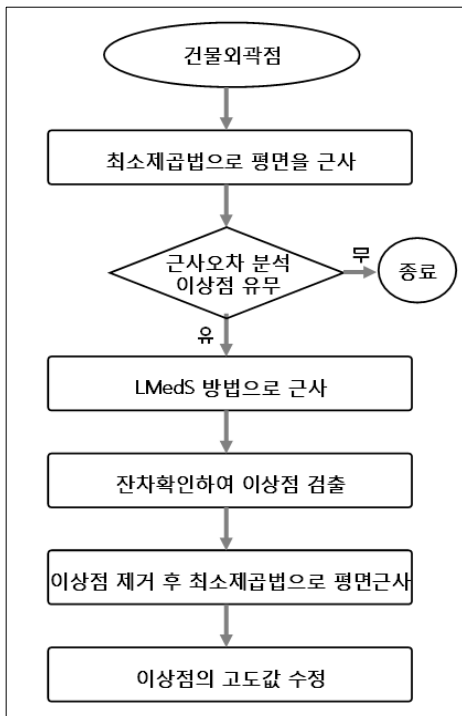


그림 8. 단일 지붕평면을 구성하는 방법

면과 모든 개별 외곽점 사이의 근사 오차를 확인하여 외곽점 중에서 이상점을 통계적으로 판단한다. 그리고 그림 10과 같이 이상점으로 판단된 외곽점의 높이값을 근사된 평면을 기준으로 보정한다.

나) 복합평면

복합평면으로 구성하는 경우는 모든 꼭지점의 수평좌표를 이용하여 2차원 삼각망(TIN, Triangular Irregular Network) 구조를 생성한다.

그림 11과 그림 12는 복합평면으로 구성되는 지붕면을 생성하는 모습을 단계별로 나타낸 그림이다. 먼저, 건물 객체(1)를 구성하는 외곽점을 추출한 후(2), 외곽점들을 이용하여 삼각망을 구성한다(3). 건물의 모습에 따라 생성된 삼각망 중에는 실제 건물 영역이 아닌 것이 존재하

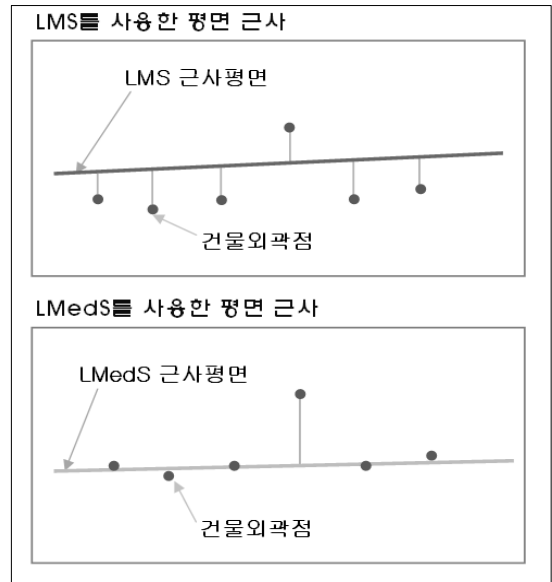


그림 9. 평면근사를 위한 LMS방법과 LMedS방법

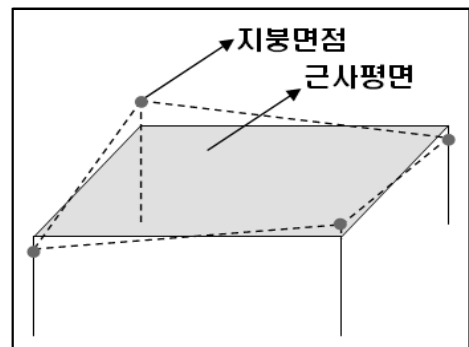


그림 10. 단일평면으로의 근사

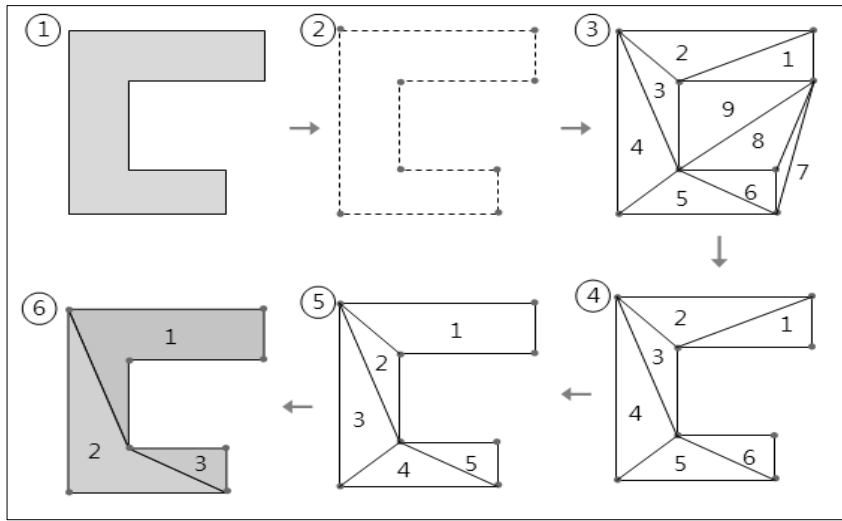


그림 11. TIN을 이용하여 지붕의 복합평면을 제작하는 과정

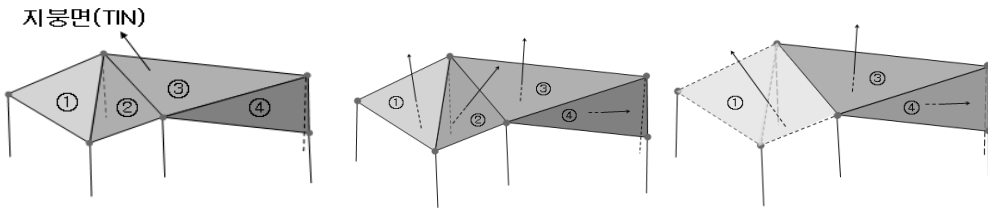


그림 12. 복합평면의 지붕면모델 생성과정

므로 각 삼각형의 무게중심이 건물 경계 내부에 존재하는가를 판별하여 그렇지 않은 삼각형은 삭제 한다(4). 다음으로 삼각망을 구성하는 각각의 삼각형의 꼭지점들을 이용하여 평면패치를 결정하고 평면에 수직인 법선 벡터를 계산한다. 그리고 평면의 수직벡터가 주어진 임계값의 범위 내에서 일치하면서 서로 인접한 두 개의 평면패치들을 하나의 평면패치로 병합한다. 두 개의 평면패치에 포함된 모든 꼭지점을 하나의 평면으로 근사하고 근사된 평면 위에 위치하도록 모든 꼭지점을 조정하여 하나로 병합된 평면패치를 구성한다. 위와 같은 병합과정을 모든 인접한 평면패치에 대해 반복적으로 수행하면, 최종적으로 더 이상 인접하면서 평면의 수직벡터가 일치하지 않는 평면패치들만 남게 된다.

3.3 벽면모델 생성

1) 벽면의 지면점 추출

벽면모델의 생성은 이미 생성된 지붕면모델과 수치표고모델을 이용하게 된다. 도화원도로부터 생성된 수치표고모델과 이를 기준으로 지붕면모델을 이용하여 벽면의

다면체 모델을 추출하는 과정으로 벽면모델을 생성한다.

건물 벽면의 상단부는 지붕면과 일치하기 때문에 건물 지붕면모델의 외곽점들을 이용하면 벽면의 상단부를 구성하는 점들을 찾아낼 수 있다. 그러나 하단부는 3차원적인 굴곡면을 가지고 있는 지형 위에 존재하고 그 형태 또한 3차원적인 굴곡을 갖는 선(spline)이다.

따라서 본 연구에서는 건물 벽면이 수치표고모델과 정확하게 접하기 위해 건물 지붕면을 구성하는 모서리를 수치표고모델에 투영함으로써 벽면의 하단부를 구성한다. 지붕면에서 모서리를 구성하는 일정한 간격의 좌표점을 생성한다. 그리고 DTM에 정확히 접하는 벽면을 생성하기 위해서는 각 점들을 지붕면의 모서리위에 일정한 간격으로 중간점을 생성한 후 이러한 점들을 DTM상에 투영하여 그림 13과 같이 교점을 찾아내야한다.

지붕면과 만나는 교차선과 DTM과 만나는 교차선을 구성하는 점들을 이용하여 벽면을 생성한다. 이 때 DTM과 만나는 교차선을 이루는 점의 개수가 불필요하게 많기 때문에 일반화 알고리즘을 통하여 점의 개수를 줄인다.

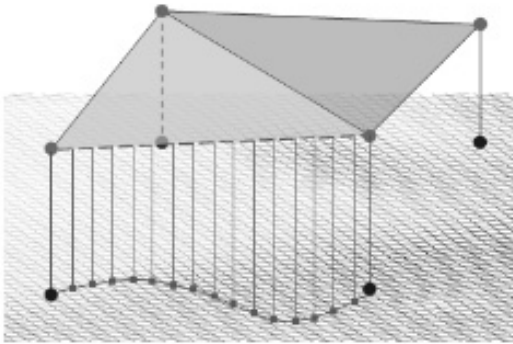


그림 13. 지면과 접하는 변면의 하단부 점

2) 지면점 일반화

점의 개수를 줄이는 일반화 알고리즘(Point-Reduction)에는 크게 두 가지 방법으로 나뉠 수 있다. 하나는 순차적(sequential) 알고리즘과 재귀적(iterative) 알고리즘이 있다. 순차적 알고리즘은 시작점으로부터 순차적으로 점들을 검색하여 일반화 조건에 적합한가에 대한 여부를 검사한다. 이 때 조건검사는 각 점의 개수, 점간 거리, 각, 검사점을 기준으로 전후의 점을 연결한 직선과의 거리를 계산하여 임계치와의 비교를 통하여 이루어진다. 순차적 알고리즘은 계산은 빠르나 점의 중요도를 무시한다는 단점이 있다. 재귀적 알고리즘은 순차적 알고리즘의 단점을 보완하고자 개발된 방법으로 전체적에서 세부적으로 검사를 수행함으로써 점의 분포상태를 고려하여 선객체의 형태를 이루는 중요한 점들을 고려한다. 그러나 재귀적 알고리즘을 사용하기 때문에 처리속도가 길어진다는 단점이 있다(Zhilin Li, 2007).

본 연구에서는 순차적 알고리즘을 사용하여 건물과 지면과의 교차선을 일반화 한다. 앞서서도 언급하였듯이 순차적 알고리즘은 본래의 곡률을 가지고 있는 교차선의 형태가 변형될 가능성이 있기 때문에 각 점간의 거리와 각 그리고 수직거리를 모두 고려하여 수행하였다. 그림 14는 일반화 결과의 예시이다.

4. 데이터적용 및 결과

4.1 실험 데이터

그림 15는 본 연구에서 제안하는 방법을 적용시킬 실험 데이터이다. 항공영상을 입체시 상태에서 도화를 통하여 제작된 도화원도이고, 축척은 1:5000, 높이값은 WGS84 타원체고이며, 수평좌표는 TM으로 이루어져 있다. 그림 15에서 보는바와 같이 건물이 밀집해있고 다양한 건물들이 존재하고 있어서 본 연구의 제안 방법을 적용시

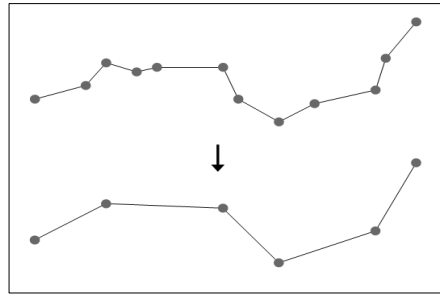


그림 14. 선형객체의 일반화 전(위)과 일반화 후(아래)의 모습

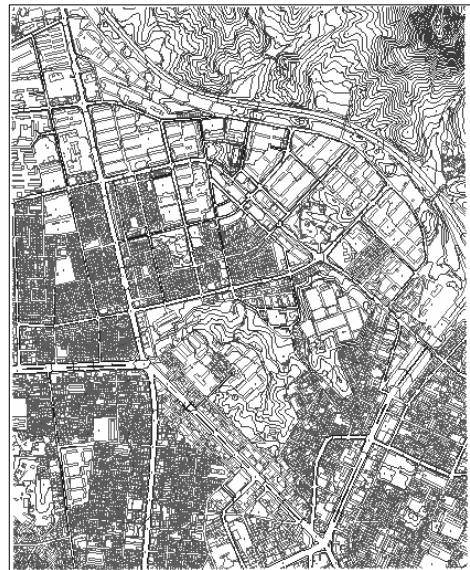


그림 15. 실험대상지역의 도화원도

키기에 적합한 지역으로 판단되어 대상지로 선정하였다.

4.2 지면모델

지면모델을 구축하기 위해서는 그림 16과 같이 지면의 높이 정보를 가지고 있는 레이어인 표고점(레이어: 7217)과 등고선(레이어: 7111-7114)을 추출하여 높이 값을 사용한다. 표고점은 그 자체로 x, y, z를 갖는 3차원 좌표점이다. 그러나 등고선은 3차원 좌표점들을 연결시킨 선(polyline)이므로 그림 17과 같이 각 개체를 구성하는 3차원 좌표들을 추출하여 DTM을 생성에 이용한다. DTM을 생성하기 위해서는 먼저 3차원 좌표점들에 대한 범위와 적절한 크기의 격자를 설정하여야 한다. 격자의 범위는 전체 도엽으로 설정하고, 격자의 간격은 등고점과 표고점의 밀도에 따라 평균적으로 하나의 격자에 하나의 좌표점이 포

함될 수 있도록 설정한다. 격자를 설정한 후에는 각각의 격자점의 높이값을 격자점 주변의 표고점과 등고점을 이

용하여 내삽을 통해 결정한다. 내삽에 관한 알고리즘은 여러 가지가 존재하지만 지표의 지형학적 형태를 최대한 유지할 수 있는 방법을 사용함이 바람직하다. 그림 18은 위와 같은 방법으로 생성된 DTM이다.

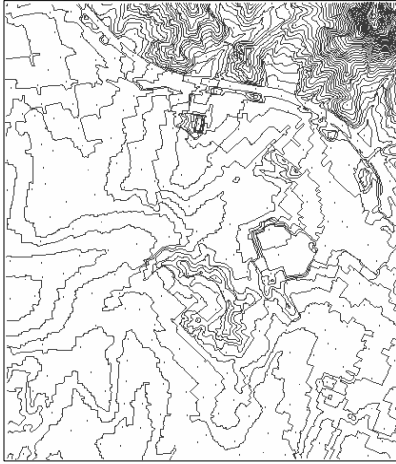


그림 16. 표고점과 등고선 레이어

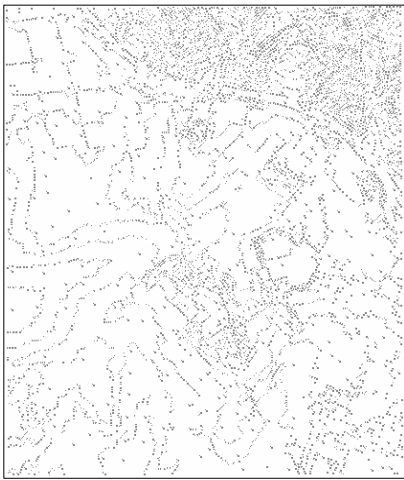


그림 17. 등고선을 구성하는 3차원 좌표점

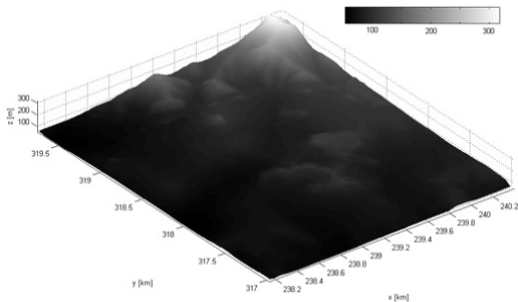


그림 18. 표고점과 등고선으로 생성된 지형 DTM

4.3 건물모델

건물레이어는 종류에 따라 점, 선, 면의 데이터 형태를 가지고 있다. 선이나 점으로 표현된 레이어의 대부분은 지도도식에 따라 건물을 기호로 표현하고 있는 것으로 이로부터 3차원 모델을 생성하는 것은 의미가 없다. 이에 건물의 3차원 모델을 생성하는 기초실험에서는 면 구조



그림 19. 도화원도의 건물 레이어

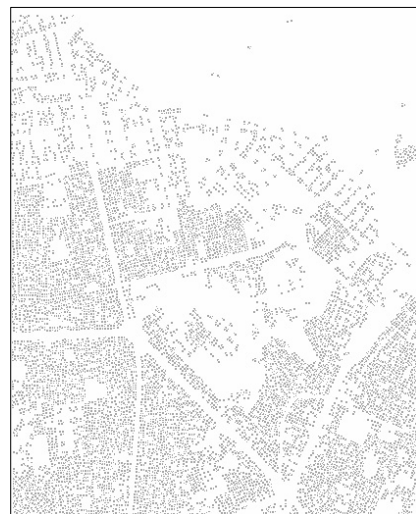


그림 20. 건물을 이루는 3차원 좌표점

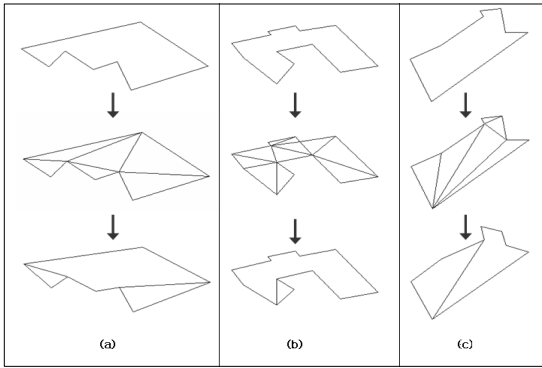


그림 21. 복합평면으로 이루어진 건물지붕면모델 생성과정

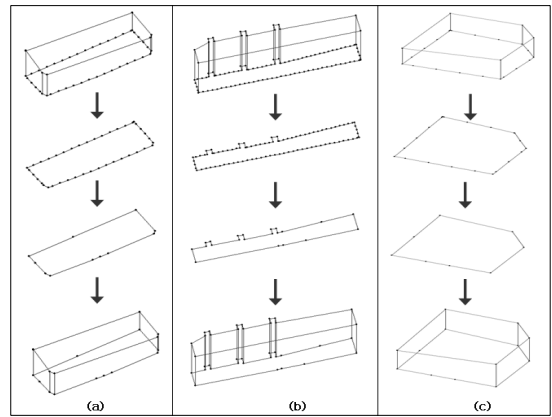


그림 22. 내삽과 일반화를 통한 건물벽면모델 생성과정

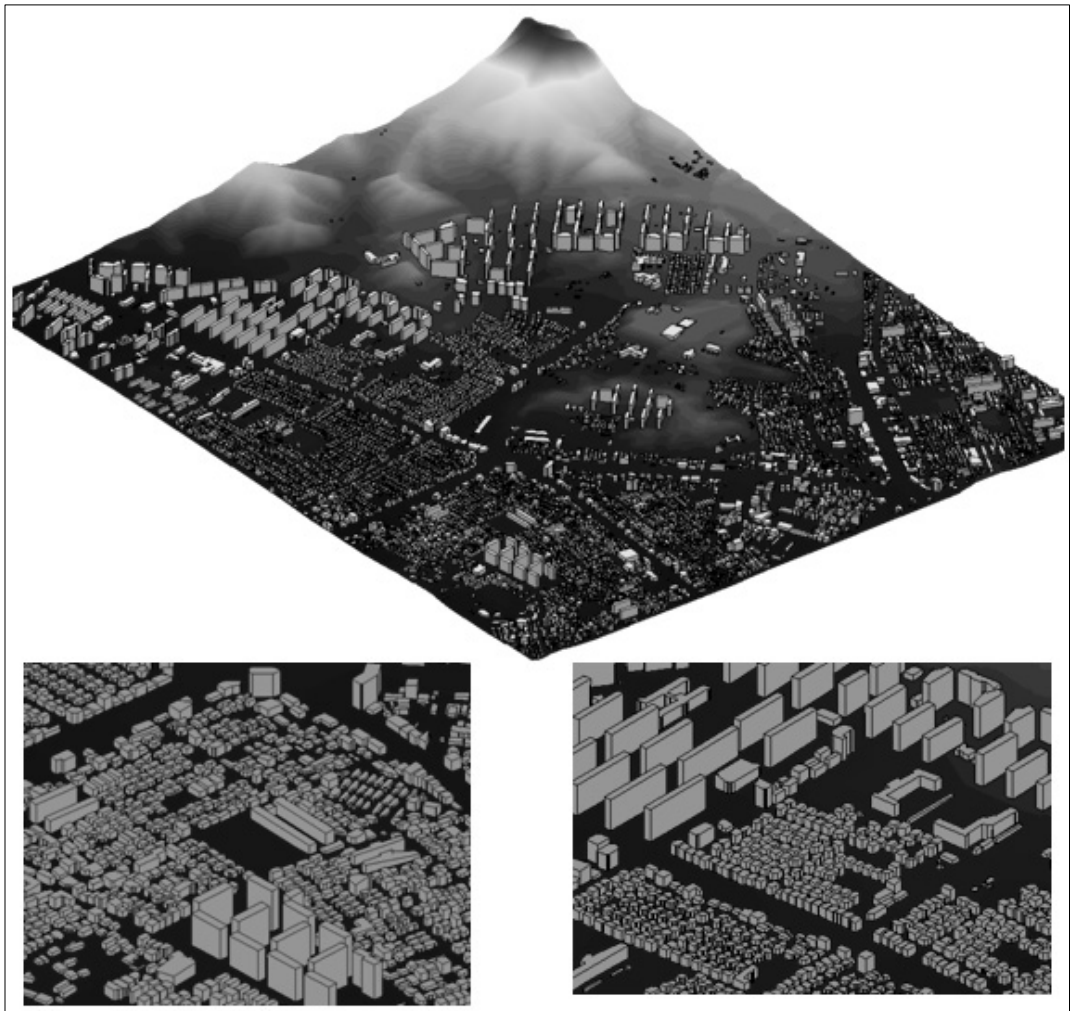


그림 23. 지형 DTM상에 표현된 건물의 3차원 다면체 모델

로 표현된 건물레이어만을 사용한다. 이러한 레이어들은 건물의 지붕면의 정보를 포함하고 있다. 그림 19와 같은 지붕면에서 그림 20과 같이 이를 구성하는 외곽점의 3차원 좌표값들을 추출할 수 있다.

도화원도에서 획득한 3차원 좌표점은 건물의 외곽점 - 즉 건물지붕의 모서리를 구성하기 때문에 좌표점들을 연결시켜주면 개략적인 건물의 지붕면을 생성할 수 있다. 이 때 생성된 지붕면점들은 실제 건물의 모습, 또는 도화상의 오류로 인하여 한 평면위에 존재하지 않으므로, 평면으로 근사하여 그 오차를 분석하여 지붕면모델을 단일평면으로 나타낼지 복합평면으로 나타낼지를 결정한다. 단일평면으로 표현하는 경우에는 근사된 평면을 기준으로 지붕면점들을 조정하고, 복합평면일 경우에는 그림 21과 같은 과정을 거쳐서 지붕면모델을 생성한다. 그림 21은 a, b, c의 건물에 대해서 각각 삼각망을 생성하고(중) 각 삼각 평면에 대한 법선벡터를 계산하고 이를 기준으로 각각의 평면들을 통합하는(하) 과정을 나타낸 그림이다.

지붕면모델이 생성된 후, 지붕면을 이루는 외곽점들을 지면까지 내림으로써 벽면모델을 생성한다. 벽면모델과 지면은 밀착되어 있어야 하므로 지붕면의 모서리 상에 수치표고모형(Digital Terrain Model)의 격자 간격으로 임시 점을 생성한 후, 이 점들을 지면에 내려 벽면모델의 하단부를 생성한다. 마지막으로 생성된 벽면하단부의 점들에 대해서 일반화를 수행하여 불필요한 점들을 제거함으로써 벽면모델을 완성한다. 그림 22는 벽면모델을 생성하는 과정을 보여주고 있다.

그림 23은 도화원도의 3차원 건물객체 정보를 본 연구의 제안방법에 적용시킨 후, 지형모델(DTM)과 건물모델을 함께 나타낸 그림이다. 생성된 건물모델에 대해 3차원적 가시화를 통해 다양한 각도에서 육안검사를 실시하였다. 이를 통해 그림에서 보는바와 같이 다양한 형태의 건물객체에 대해서도 3차원 건물모델이 성공적으로 생성되었음을 알 수 있었다.

5. 결 론

3차원 공간정보에 대한 수요와 관심이 증대되면서 건물의 3차원 모델을 추출하는 연구들이 많이 수행되고 있다. 기존의 많은 연구와 달리 본 연구는 신규 취득된 센서 데이터를 전혀 이용하지 않고, 기 구축된 도화원도를 이용하였다. 도화원도에 포함된 지면 및 건물에 대한 제한적인 3차원 정보를 이용하여 지면모델과 건물의 지붕면 모델 및 벽면 모델을 자동으로 생성하는 방법을 제시하였다. 제시된 방법을 실제 데이터에 적용하

여 검증한 결과로 넓은 지역에 포함된 다양한 형태를 갖는 건물들의 3차원 모델이 성공적으로 생성되었음을 알 수 있었다.

향 후 연구로 상세도, 정확도, 생성속도, 경제성 등의 다양한 검증을 통하여 본 연구에서 제안한 건물모델링 방법에 대한 보다 심도 깊은 정량적인 평가를 수행할 예정이다. 본 연구에서 제시한 도화원도에 기반한 건물모델생성방법은 국가 전체와 같은 대규모 지역의 비교적 단순한 건물모델을 신속하고 경제적으로 구축하는 것에 탁월한 성능을 보일 것이라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 건설기술기반구축사업인 “2차원에서 3차원로의 지도학적 차원의 변화모색” 연구과제의 일환으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이동천, 유근홍, 손은정, 김호성, 문용현, 2006, “도화원도 데이터를 이용한 3차원 수치지도 생성과 편집시스템 개발”, 06춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 359-369.
2. Baillard et. al, 1999, “Automatic reconstruction of poecewias planar models from multiple views”, *Proceeding of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 559-565.
3. Brenner, C. et. al, 1998, “Rapid acquisition of virtual reality city models from multiple data source”, In: Chikatsu, H., Shimizu, E. (Eds.), *Int. Arch. Photogramm. Remote sensing*, Vol. 32, Part 5, pp. 323-330.
4. Fischer, A., et. al, 1998, “Extracting Buildings from Aerial Images Using Hierarchical Aggregation in 2D and 3D”, *Computer Vision And Image Understanding*, Vol. 72, No. 2, Nov, pp.185-203.
5. Haala, N., 1996, “Gebäuderekonstruktion durch Kombination von Bild- und Höhendaten”, Ph.D. thesis, *Institut für Photogrammetrie, Deutsche Geodätische Kommission*, C460, Universität Stuttgart.
6. Rottensteiner et. al, 2003, “Automatic Generation of Building Models From LIDAR Data and the Integration of aerial image”, *Session VI: Building reconstruction.*, ISPRS, Vol. XXXIV, PART 3/W13.
7. Suveg et. al, 2004, “Reconstruction of 3D models from aerial images and maps”, *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, ISPRS, Vol. 58, Issues 3-4, pp. 202-224.
8. Thiemann, F. 2002, “Generalization of 3D BuildingData”, *Geospatial Theory, Processing and Applications*, ISPRS, Vol. 34, Part 4.
9. Vosselman, G., 1999, “Building reconstruction using planar

- faces in very high density height data”, *ISPRS Conference Automatic Extraction of GIS Objects from Digital Imagery*, Vol. 32/3-2W5, Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing, Munich, pp. 87-92.
10. Vosselman, G. et. al, 2001, “3D building model reconstruction from point clouds and ground plan”, In: Hofton, M.A.(Ed.), *Proceedings of the ISPRS Workshop on Land Surface Mapping and Characterization Using Laser Altimetry*, Vol. XXXIV, Part 3/W4, Commission III, Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing, Annapolis, MD, pp. 37-44.
11. Zhilin Li, 2007, *Algorithm Foundation of Multi-Scale Spatial Representation*, CRC Press, pp. 91-116.