

CAD 도면을 활용한 3차원 건축물 모델링의 Georeferencing 정확도 분석

Analysis of Georeferencing Accuracy in 3D Building Modeling Using CAD Plans

김지선¹⁾ · 염재홍²⁾ · 이동천³⁾

Kim, Ji Seon · Yom, Jae Hong · Lee, Dong Cheon

Abstract

Representation of building internal space is an active research area as the need for more geometrically accurate and visually realistic increases. 3 dimensional representation is common ground of research for disciplines such as computer graphics, architectural design and engineering and Geographic Information System (GIS). In many cases CAD plans are the starting point of reconstruction of 3D building models. The main objectives of building reconstruction in GIS applications are visualization and spatial analysis. Hence, CAD plans need to be preprocessed and edited to adapt to the data models of GIS S/W and then georeferenced to enable spatial analysis. This study automated the preprocessing of CAD data using AutoCAD VBA (Visual Basic Application), and the processed data was topologically restructured for further analysis in GIS environment. Accuracy of georeferencing CAD data was also examined by comparing the results of coordinate transformation by using digital maps and GPS measurements as the sources of ground control points. The reconstructed buildings were then applied to visualization and network modeling.

Keywords : CAD Plan, Topology, Georeferencing, 3D Visualization, Network Model

초 록

최근 지형공간정보의 활용분야가 증가하면서 건축물 내부 공간구축에 있어서 더욱 현실화된 다양한 정보의 필요성이 증대되고 있으며, 건축물 대장 및 설계도면은 효과적인 건축물의 공간 모델링에 활용되고 있다. 건축물의 실감적 3차원 시각화는 컴퓨터 그래픽 분야에 속하는 기술이지만, 시각화와 더불어 건축물의 외부 및 내부에 대한 정보생성과 공간분석을 위해서는 GIS의 다양한 기능이 요구된다. GIS에서 건축물 내부의 3차원 시각화 및 공간분석을 위해서 데이터베이스(database) 구축과정에 많은 작업이 요구되며, 건축물 설계 CAD 도면의 레이어(layer)를 편집하는 등의 전처리 과정과 CAD 도면의 좌표를 지상좌표로 변환하는 georeferencing 과정이 필요하다. 본 연구에서는 건축물 내부공간을 상세하게 구축하기 위하여 CAD 도면을 이용하였고, CAD 도면을 효율적으로 편집하기 위하여 AutoCAD VBA를 이용하여 자동화를 추구하였다. 또한, GIS의 주요기능인 공간분석을 위하여 topology를 생성하였으며, CAD 도면상의 건축물을 지상좌표로 변환하기 위하여 georeferencing을 수행하였다. 3차원 건축물 데이터베이스 구축공정을 제시하고, Georeferencing 결과의 정확도를 분석하기 위하여 수치지도와 GPS 측량 자료를 이용하였다. 이와 같이 구축된 건축물 모델을 이용하여 3차원 시각화 모델을 생성하였으며, 수치지도를 기준으로 georeferencing 결과를 이용하여 건축물 내부와 건축물 간의 이동경로 설정을 위한 네트워크 모델을 생성하였다.

핵심어 : CAD 도면, Topology, Georeferencing, 3차원 시각화, 네트워크 모델

1) 연결저자 · 정희원 · 세종대학교 지구정보공학과, 석사과정(E-mail:peanutsky@hanmail.net)

2) 정희원 · 세종대학교 지구정보공학과, 부교수(E-mail:jhyom@sejong.ac.kr)

3) 정희원 · 세종대학교 지구정보공학과, 조교수(E-mail:dclee@sejong.ac.kr)

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 지형 공간 정보의 수요가 증가하면서 2차원 공간 정보보다 3차원 공간정보에 관심이 집중되고 있으며 3차원 공간 표현만이 아닌 실제와 유사한 모델을 생성하기 위한 연구가 활발해지고 있다. 그러나 현재 3차원 시각화 표현은 컴퓨터 그래픽 분야에서 중점적으로 연구되고 있으나 GIS는 공간정보와 속성정보의 활용이 가능하기 때문에 3차원 시각화를 통한 공간분석이 가능하다.

3차원 시각화 모델을 현실과 유사하게 표현하기 위하여 준공도면을 이용하여 내부표현을 가능하게 하고, 지상 좌표로 표현함으로써 외부뿐만 아니라 내부도 실제와 유사한 3차원 시각화 모델의 생성이 가능하다. 이를 이용하여 네트워크 모델을 생성함으로써 실제 생활에서 사용할 수 있는 네트워크 모델이 생성되게 된다.

수치지도를 이용하여 건축물과 등고선 레이어를 추출하고, GPS 측량과 항공사진을 통하여 건축물의 높이를 결정하여 3차원 시각화 모델을 생성하였다(손홍규 등, 2003). 또한 기본도를 이용하여 대학 캠퍼스 부지와 캠퍼스 내의 구조물 및 시설물의 3차원 모델을 생성하였다(이진덕 등, 2005). CAD 도면을 이용하여 건축물 내부 표현 방안을 제시하고 각 층 별로 바닥과 벽을 생성하여 3차원 내부공간을 표현하고, 이를 이용하여 네트워크 모델을 생성함으로써 실제와 유사한 이동경로의 탐색을 가능하게 하였으며(강정아, 2006), 이와 같은 방법을 이용하여 2차원 네트워크 모델을 생성하여 상용 S/W를 이용하여 3차원 네트워크 모델을 표현하였다(류근원 외, 2006)

국외에서는 화재와 비상상황에 대한 3차원 시각화와 네트워크 모델 연구가 활발히 진행 중이며, 특히 2001년 9월 11일 미국 중심의 테러리스트에 의한 공격과 같은 응급 상황에 대처하고자 GIS를 기반으로 3차원 네트워크 모델을 생성하여 실시간 대피경로를 제공하고자하며(Kwan 등, 2004), 실내 대피 경로를 용이하게 계산하기 위하여 문과 창문의 출구 가능성을 고려하여 3차원 시각화 모델과 네트워크 경로를 설정하였으며(Meijers 등, 2005), 건물 내에서 발생하는 사고의 피해를 줄이고자 3차원 모델을 이용하여 건축물 내부 대피 경로를 제시하였다(Pu 등, 2005). 그리고 3차원 지도를 생성하기 위하여 3차원 좌표를 입력하고, DTM으로 재전한 후 3차원 지도에 포함할 자료를 디자인하고, 시각화하여 실제와 유사한 3차원 모델을 생성하였다(Bandrova, 2005).

현재까지의 연구는 3차원 시각화 모델의 외부 표현을 중심으로 하였으며, 건축물 내부를 표현하기 위해서는 CAD 도면을 이용하여야 하고, 이를 GIS 자료로 변환하기 위한 과정과 CAD 도면을 편집하는 과정에서 발생하는 여러 가지 문제점, 지상좌표로 변환하는 과정에서의 문제점 그리고 3차원 시각화 모델 생성시 높이값 적용의 문제점이 있다.

본 연구에서는 CAD 도면을 이용한 3차원 시각화 모델과 네트워크 모델을 생성하기 위하여 CAD 도면 처리 과정에서 자동화를 추구하고, CAD 도면을 GIS 자료로 변환시 topology를 생성하고, CAD 도면의 임의의 좌표를 지상좌표로 변환하기 위하여 georeferencing을 수행한다. 또한, 본 연구에서는 이를 이용하여 3차원 시각화 모델과 네트워크 모델을 생성한다.

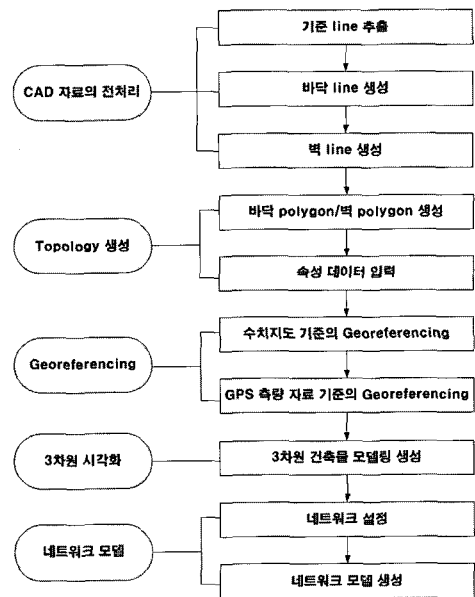


그림 1. 연구방법

1.2 연구 방법 및 연구 범위

본 연구는 그림 1의 연구 방법을 통하여 CAD 도면을 편집하는 과정에서 AutoCAD VBA를 이용하여 자동화를 추구하고, CAD 도면을 GIS 자료로 변환하는 과정에서 clean/build를 이용하여 topology를 생성한다. 이를 지상좌표로 변환하기 위하여 georeferencing을 수행하고, 정확도를 분석하기 위하여 수치지도와 GPS 측량 자료의 결과를 비교·분석한다. 또한, georeferencing된 자료에 입/단면도에서 획득한 높이를 적용하여 3차원 시각화 모델

을 생성하고, 건축물 내부와 건축물 간의 이동경로를 나타내는 네트워크 모델을 생성한다.

연구 대상 건축물로 세종대학교 캠퍼스 내에 있는 건축물들을 선택하였으며, 건축물 중 세종초등학교와 사이버대학 그리고 가 건축물 형태의 건축물과 건축물이 밀집되어 있다고 판단되는 8개의 건축물을 제외하고 그림 2와 같이 시각형으로 되어 있는 16개의 건축물을 대상 건축물로 선정하였다.

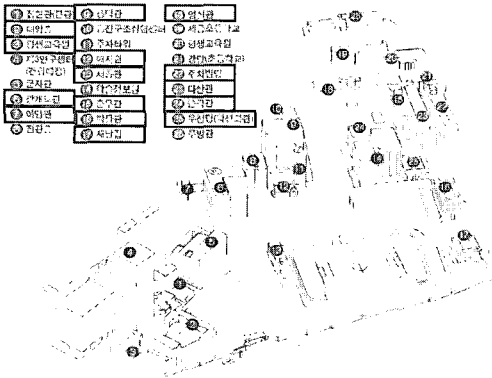


그림 2. 연구 대상 건축물

표 1. 자료 처리 현황

건물명	CAD 자료의 전처리	Topology 생성		Georeferencing 및 3차원 시각화		네트워크 모델
		폴리곤 생성	속성	수치지도	GPS	
집현관	○	○	○	X	○	X
대양홀	○	○	○	○		X
평생교육원 (모짜르트홀)	○	○	○	○		X
광개토태관	○	○	○	X	○	X
이당관	○	○	○	○		X
용덕관	○	○	○	○	○	X
애지현	○	○	○	○		X
세종관	○	○	○	○	○	X
충무관	○	○	○	○	○	○
박물관	○	○	○	○		X
새날집	○	○	○	○		X
영실관	○	○	○	○	○	○
주차빌딩	○	○	○	○		X
다산관	○	○	○	○		X
울곡관	○	○	○	○	○	○
우정당	○	○	○	○		X

위와 같은 연구 대상 건축물에서 CAD 자료의 전처리, topology 생성, georeferencing 및 3차원 시각화, 네트워크 모델을 생성하기 위하여 표 1과 같이 자료를 처리하였다.

표 1에서 georeferencing 및 3차원 시각화에서 GPS에 검정색으로 표시된 부분은 GPS 측량을 실시하지 않은 건축물이며, 네트워크 모델은 건축물의 내부 모델을 생성하는 과정에서 많은 시간이 소요되어 건축물 내부와 건축물 간의 이동 경로를 나타낼 대상 건축물로 충무관, 영실관, 울곡관을 선정하여 수행하였다.

2. CAD 자료의 전처리 및 Topology 생성

2.1 CAD 자료의 전처리

CAD 도면을 처리하는 과정에서 수동 처리 과정에서 소요되는 시간과 레이어를 간소화하기 위하여 AutoCAD VBA를 이용하여 자동화하였으며, AutoCAD VBA를 이용하여 설계한 프로그램은 그림 3과 같다.

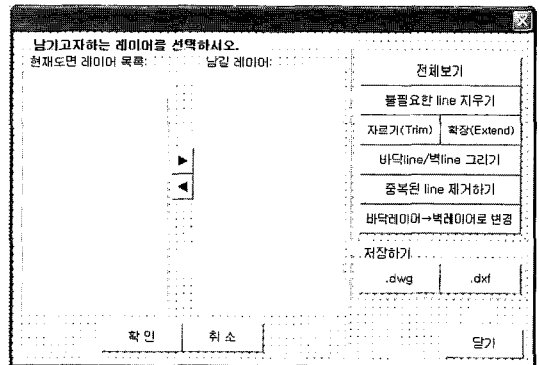


그림 3. AutoCAD VBA를 이용하여 설계한 프로그램

AutoCAD VBA를 이용하여 설계한 프로그램을 이용하여 그림 4와 같은 과정을 거쳐 CAD 도면을 편집하고, 3차원 건축물을 생성하기 위한 데이터베이스를 구축한다.

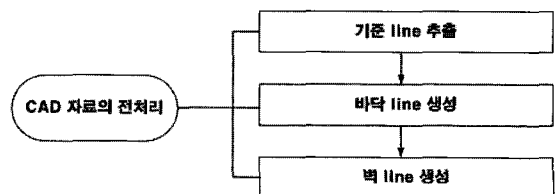


그림 4. CAD 자료의 전처리 과정

3차원 건축물의 내부를 표현하기 위하여 CAD 도면에서 바닥과 벽을 구성하는 기준 선(line)으로 구성된 파일을 생성하고, 이를 이용하여 바닥과 벽을 구성할 선을 생성하며, 기준 선 추출 과정은 그림 5와 같다.

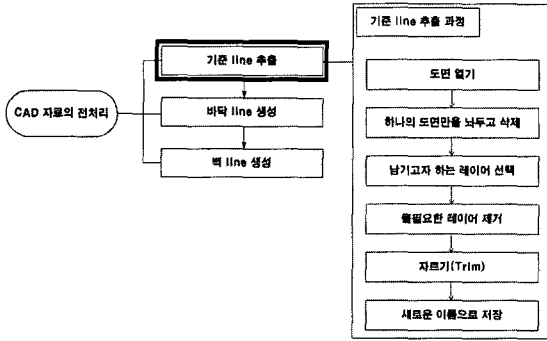


그림 5. 기준 선 추출 과정

CAD 도면에서 원하는 레이어를 추출하기 위해서 AutoCAD VBA에서 왼쪽 listbox에서 남기고자하는 레이어를 화살표를 이용하여 오른쪽 listbox로 옮긴 후 확인을 클릭하면, 그림 6과 같이 원하는 레이어만이 도면상에 남게 되며, 선택되지 않은 레이어는 도면상에서 삭제되게 된다.

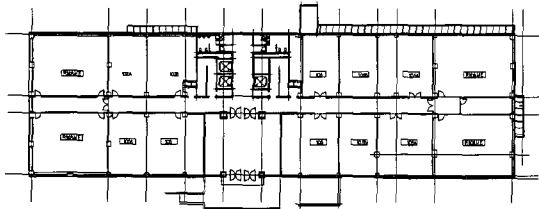


그림 6. 기준 선 추출

원하는 레이어를 추출하고, 레이어에서 불필요하거나 선 밖에 존재한다고 생각되는 선은 불필요한 선 제거하기와 자르기(Trim) 기능을 이용하여 편집하고, 새로운 이름으로 저장하여 기준 선을 생성한다. 이와 같이 생성한 기준 선 파일을 이용하여 바닥선을 생성하며, 생성 과정은 그림 7과 같다.

바닥선은 기준 선 추출한 파일을 이용하여 생성한다. 이때, 레이어를 간소화하기 위하여 바닥선은 'cen-1' 레이어로만 구성한다. 기준 선 추출 파일을 불필요한 레이어 지우기, 자르기, 바닥선/벽선 그리기를 이용하여 도면을 전체적으로 수정한 결과는 그림 8과 같다.

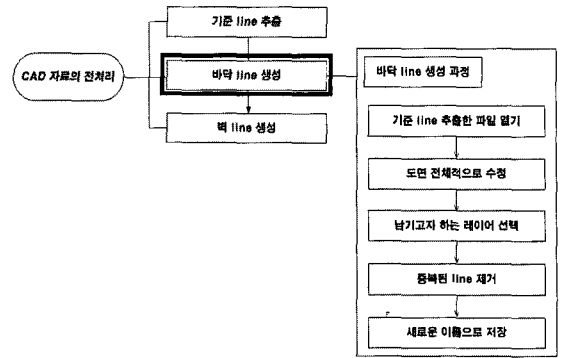


그림 7. 바닥선 생성 과정

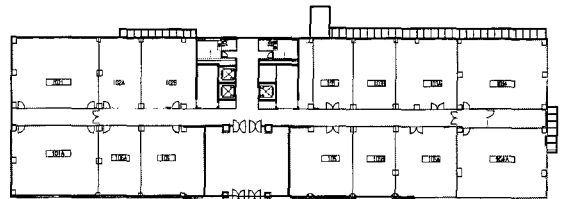


그림 8. 바닥선 생성을 위한 도면 편집

그림 8과 같이 편집된 파일에서 바닥선으로 생성하기 위한 레이어만을 도면상에 남긴다. 바닥선으로 생성한 레이어는 'cen-1' 레이어이며, 도면 편집 과정에서 중복된 선을 제거하기 위하여 중복된 선 제거하기를 실행한 후 새로운 이름으로 저장한다.

벽선은 생성된 바닥선과 기준 선을 이용하여 생성한다. 벽선은 레이어를 간소화하기 위하여 'wal-1' 레이어로 구성되게 하며, 벽선의 생성 과정은 그림 9와 같다.

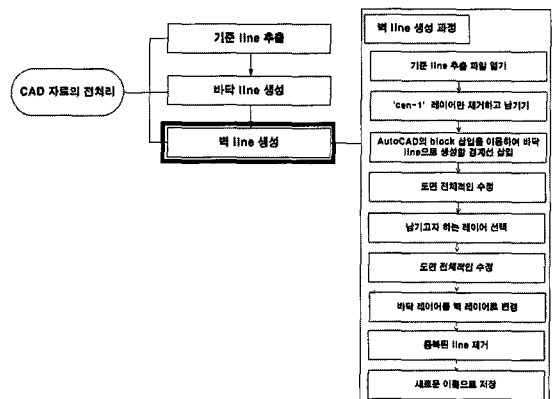


그림 9. 벽선 생성 과정

벽선은 기준 선 추출 파일에서 바닥선 레이어를 제외한 레이어를 남긴다. 이때, 바닥선 레이어를 제거한 것은 바닥선 레이어는 벽 중앙선과 중첩되기 때문에 편집 과정을 간소화하기 위하여 편집이 완료된 바닥선을 사용한다. 바닥선을 도면에 삽입하고, 벽선을 생성하기 위하여 불필요한 레이어 제거하기, 자르기, 바닥선/벽선 그리기를 이용하여 도면을 전체적으로 수정하고, 벽선으로 사용할 레이어와 벽선의 중앙선으로 사용할 바닥선 레이어만을 남긴다. 남겨진 레이어를 다시 한 번 편집하고, 바닥선 레이어를 벽선 레이어인 'wal-1' 레이어로 변경하고, 편집과정에서 중복된 선을 제거하기 위하여 중복된 선 제거하기한 후 새로운 이름으로 저장하여 벽선을 생성한다.

2.2 Topology 생성

CAD 도면에서 생성한 바닥선과 벽선을 GIS 자료로 변환하기 위한 topology 생성 과정은 그림 10과 같다.

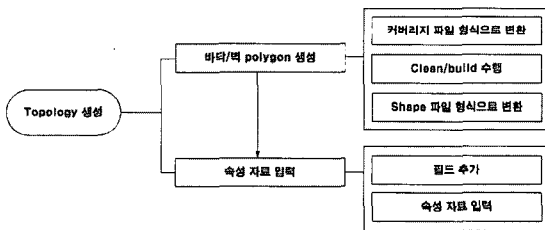


그림 10. Topology 생성 과정

GIS 자료로 변환하기 위하여 CAD 파일 형식을 clean/build를 이용하여 topology 생성을 가능하게 하기 위하여 커버리지(coverage) 파일 형식으로 변환한다. 변환된 커버리지 파일을 clean/build를 이용하여 바닥선과 벽선을 바닥 폴리곤(polygon)과 벽 폴리곤으로 생성한다.

커버리지 형식의 파일을 편집이 가능한 shape 파일 형식으로 변환하고, 그림 11과 같이 CAD 도면의 오른쪽에 위치한 정보를 기준으로 속성정보를 입력하기 위하여 표 2와 같이 필드(field)를 추가한다.

표 2에서 Number는 호실(room)의 호수, Use는 각 호실의 용도, User는 각 호실의 사용자를 나타내는데, 이때 사용자는 교수연구실의 교수명을 나타낸다. Floor는 각 건축물의 층, Telephone는 각 호실의 전화번호를 나타내고, Nameplate는 그림 12에서 실명을 입력하였고, Acreage는 각 호실의 면적을 나타낸다. 여기서 Use는 그림 13과 같

호수	실명	면적(평)
101	강의실	41.9
101A	강의실	41.9
102A	AFM, SEM, X-RAY 측정실	20.9
102B	강의실	27.3
103	강의실	27.3
103B	강의실	20.9
103A	강의실	31.4
104	일반물리실험실	95.8
105A	강의실	31.4
105B	강의실	20.9
105C	강의실	31.4
106	강의실	31.4
106A	수업연구자료도판제작실	20.9

그림 11. 바닥 폴리곤에 입력한 속성 정보

표 2. 바닥 폴리곤에 필드 추가

필드명	구분	Type
Number	호수	Text
Use	용도	Text
User	사용자	Text
Floor	층	Text
Telephone	전화번호	Text
Nameplate	명칭	Text
Acreage	면적	Float

이 구분하였으며, 바닥 폴리곤을 통로와 호실로 구분하였고, 통로는 복도, 계단, 엘리베이터로 구분하였으며, 호실은 연구실, 강의실, 실험실 등을 모두 호실에 포함시켰다.

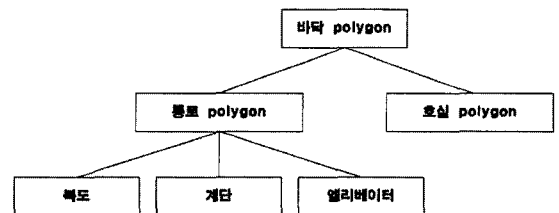


그림 13. 바닥 폴리곤의 용도 구분

생성된 바닥 폴리곤에 표 2와 같이 필드를 추가하고, 그림 13과 같이 용도를 구분하여 CAD 도면을 기준으로 속성정보를 입력하였다.

3. 건축물의 georeferencing 정확도 분석

Georeferencing은 CAD 자료의 전처리와 topology 생성에 의해 생성된 폴리곤을 이용하였고, 수치지도와 GPS 측량 자료를 기준으로 각각 Affine 좌표변환과 Similarity 좌표변환을 수행하여 RMS Error를 비교하였고, ArcGIS의 Spatial Adjustment를 이용하여 수행하였다.

3.1 수치지도 기준의 Georeferencing

세종대학교 부근의 수치지도를 이용하였으며, 수치지도의 건축물의 모서리와 같은 건축물의 모서리를 선택하였으며, 모서리가 다르거나 찾기가 힘든 경우에는 건축물 모서리와 가장 인접하다고 판단되는 위치를 편집하여 사용하였으며, 그림 14는 세종대학교 부근의 수치지도이며, 수치지도의 축척은 1:1000이다.

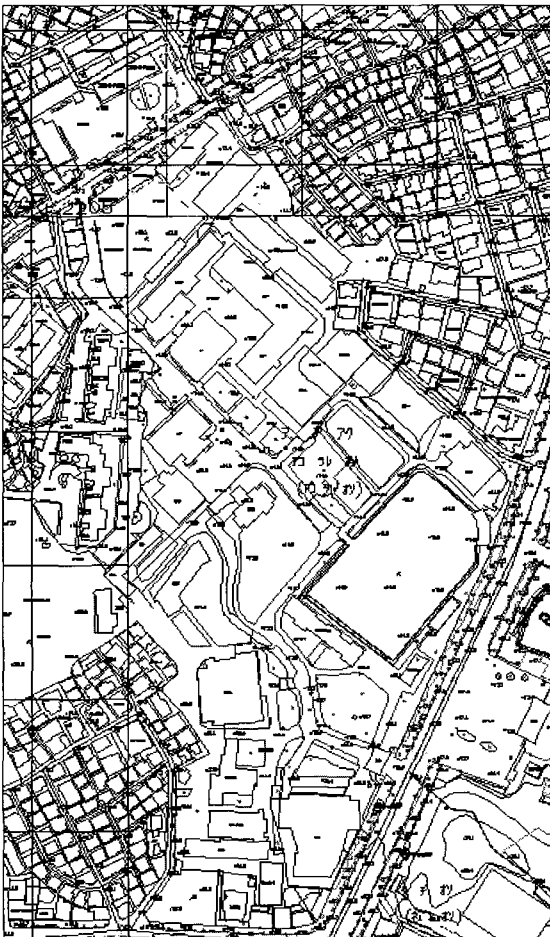
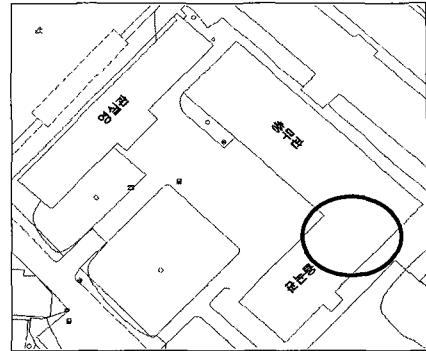
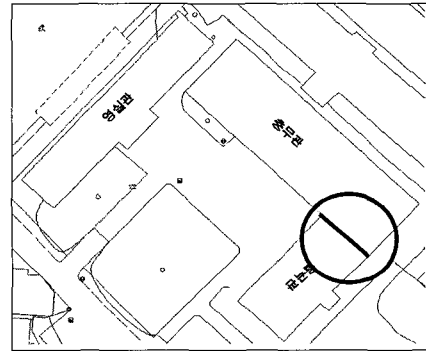


그림 14. 세종대학교 부근의 수치지도

그림 15와 같이 수치지도 상의 건축물의 형태와 실제 건축물의 형태가 다른 경우 실제 건축물의 형태와 유사한 형태로 수치지도를 편집하였다.



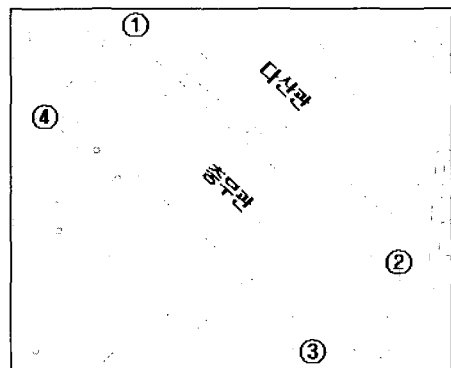
(a) 수치지도 편집 전



(b) 수치지도 편집 후

그림 15. 수치지도 편집

그림 15와 같이 수치지도를 편집하고 그림 16과 같이 수치지도와 폴리곤의 같은 모서리점을 선택하여 수치지도를 기준으로 georeferencing한다. 이때, 모서리점을 선



(a) 수치지도 기준 건축물

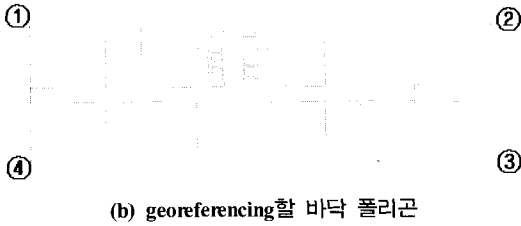


그림 16. 수치지도와 폴리곤 기준점 위치선정

택하기 위하여 Vertex와 End에 대한 snapping을 설정하고 사이즈는 3 pixel로 한다. 그림 16 (a), (b)에서 수치지도와 폴리곤에 같은 모서리점을 선택한 후 표 3과 같이 RMS Error와 그림 17과 같이 georeferencing한 결과를 확인할 수 있다.

표 3. RMS Error (단위 : m)

수치지도 좌표		폴리곤 좌표		Residual Error
X 좌표	Y 좌표	X 좌표	Y 좌표	
18078.22	32550.47	206433.28	450023.16	0.029501
101158.22	32485.47	206494.21	449965.82	0.029423
101158.22	56940.42	206511.35	449983.93	0.029423
18078.22	56940.42	206450.45	450041.31	0.029501

RMS Error : 0.029462

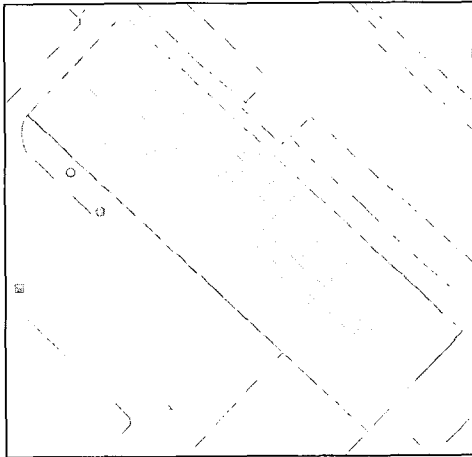
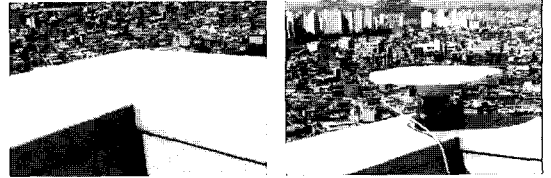


그림 17. CAD 자료의 georeferencing 결과

3.2 GPS 측량 자료 기준의 georeferencing

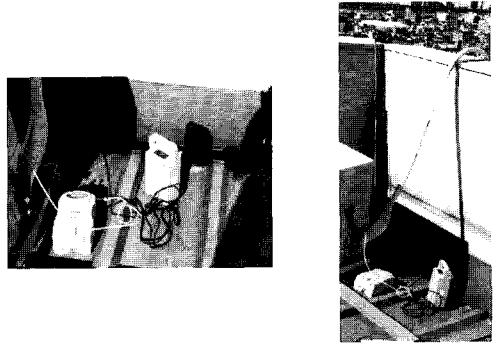
GPS 측량은 건축물 옥상의 사용여부와 안정성을 고려하여 대상 건축물을 선정하였고, Trimble 5700을 이용하였다. GPS 측량은 각 건축물 옥상에서 수행하였으며, 그림 18과 같이 GPS 장비를 설치하였다. 삼각대를 사용하지

않고 옥상 난간에 GPS 장비를 직접 설치하여 획득한 자료를 이용하였다.



(a) 안테나 중심 설정

(b) 안테나 설정



(c) 리시버와 컨트롤러 연결

(d) GPS 장비 설치

그림 18. GPS 장비 설치

위와 같이 GPS 측량을 통하여 획득한 자료를 이용한 GPS 측량 자료 기준의 georeferencing은 수치지도와 같은 방법을 이용하였다.

4. 3차원 시각화 및 네트워크 모델링

4.1 3차원 시각화

3차원 시각화 모델은 ArcScene을 이용하여 표현하였고, 각 층의 높이는 그림 19와 같이 입/단면도에서 실제

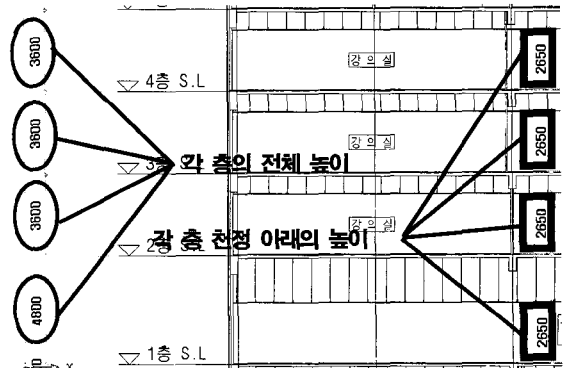
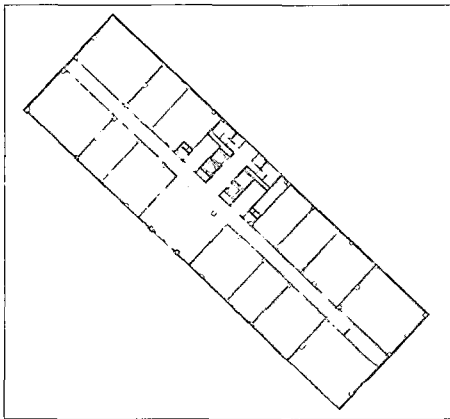


그림 19. 입/단면도

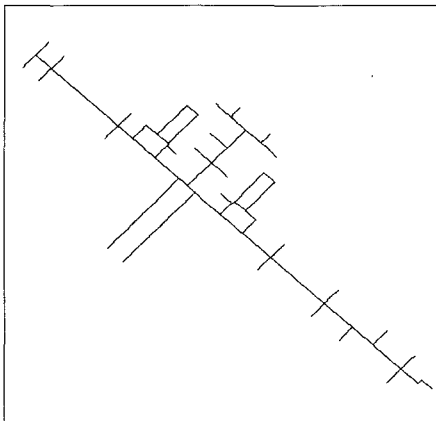
높이를 추출하여 적용하였다. 또한 천정을 기준으로 바닥 아래와 위의 높이를 각각 적용하였고, 입/단면도를 통하여 획득하지 못한 건축물은 세종대학교 캠퍼스 내에서 기준이 된다고 판단되는 건축물 높이의 평균 높이를 적용하였다.

4.2 네트워크 모델

네트워크 모델은 그림 20과 같이 topology 생성을 통하여 생성된 바닥 폴리곤과 벽 폴리곤을 중첩하고 중첩된 폴리곤을 기준으로 복도에서 호실로 연결되는 선을 생성하였다.



(a) 바닥 폴리곤과 벽 폴리곤 중첩



(b) 각 호실과 연결되는 선

그림 20. 선 생성

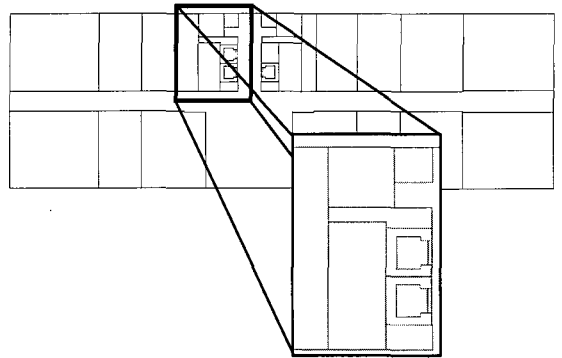
거리를 추출하기 위하여 clean/build를 이용하였고, clean/build 생성시 생성된 거리를 사용하였다. 필드는 거리와

시간을 나타낼 필드와 각 건축물의 층 수를 나타낼 필드를 추가한다.

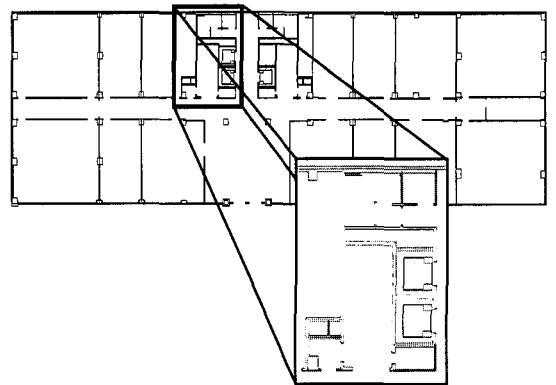
5. 결과분석

5.1 CAD 자료의 전처리 및 Topology 생성

AutoCAD VBA를 이용하여 CAD 도면에서 추출한 기준선을 이용하여 생성한 바닥선과 벽선은 그림 21과 같다.



(a) 바닥선

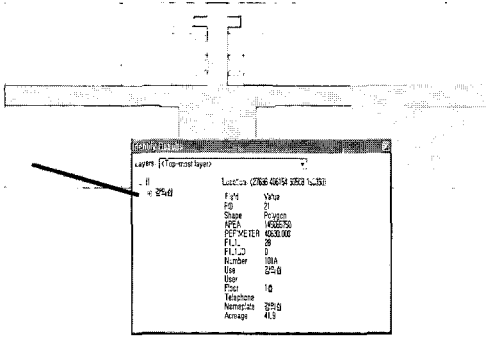


(b) 벽선

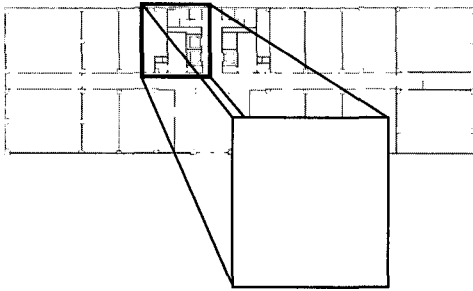
그림 21. 바닥선과 벽선

그림 21과 같이 생성된 선을 이용하여 topology 생성을 하는데, 이때 clean/build를 이용한다. 바닥선과 벽선을 이용하여 topology 생성에 의하여 생성된 폴리곤은 그림 22와 같다.

그림 21은 CAD 파일 형식의 선의 형태이고, 그림 22는 GIS 파일 형식의 폴리곤의 형태이다. 바닥 폴리곤은 각각의 피쳐(feature)로 구성되었다.



(a) 바닥 폴리곤



(b) 벽 폴리곤

그림 22. 바닥 폴리곤과 벽 폴리곤

5.2 건축물 Georeferencing 정확도 분석

CAD 자료의 전처리와 Topology 생성에 의하여 생성된 폴리곤을 이용하여 각 건축물의 1층 바닥 폴리곤을 기준으로 georeferencing한 결과를 비교하였으며, CAD 자료의 전처리 과정에서 모두 같은 조건하에 편집되었다고 가정하고 수행한 결과이다.

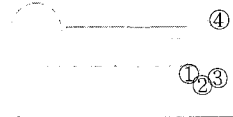


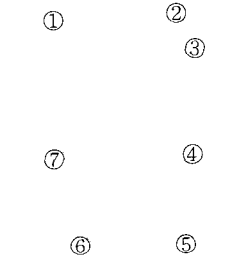

5.2.1 수치지도 기준의 Georeferencing

표 4. 수치지도 기준의 georeferencing 결과 (단위 : m)

건축물명	RMS Error		기준점 분포
	Affine 좌표변환	Similarity 좌표변환	
대양홀	1(1,2,5,6)		② ③
	1.172	1.504	
	2(1,2,4,7)		
	0.575	0.599	
	3(1,2,3,8)		
	0.685	1.350	④
	4(4,5,6,7)		⑧ ⑤
	0.281	1.447	
	5(3,4,5,6)		
	0.813	2.214	
		⑦ ⑥	

평생교육원 (모짜르트홀)	0.140	0.180	④	①
			③	②
이당관	0.258	1.055	①	④
			②	③
용덕관	1(1,2,3,6)		①	②
	0.043	0.111		
	2(1,2,4,5)		⑥	③
	0.062	0.084	⑤	④
애지현	1(1,4,5,8)		①	② ③ ④
	0.402	0.881		
	2(1,2,7,8)			
	0.464	0.658		
	3(1,3,6,8)		⑧	⑦ ⑥ ⑤
	0.466	0.545		
	4(2,4,5,7)			
	0.036	0.559		
5(3,4,5,6)				
0.088	1.047			
세종관	0.075	0.152	①	②
			④	③
충무관	0.029	0.180	①	②
			④	③
박물관	0.369	1.045	①	②
			④	③
새날집	0.262	0.467	①	
			④	
			③	②
영실관	1(1,2,3,6)		① ⑤	② ③ ④
	0.095	0.098		
	2(1,2,4,5)			
	0.081	0.217		
	3(1,2,3,5)			
	0.108	0.157		
	4(1,2,4,6)			
	0.053	0.153		
	5(1,2,3,4)			
	0.197	0.209		
6(1,2,5,6)				
0.122	0.166			

표 4. 수치지도 기준의 georeferencing 결과 (단위 : m) (계속)

건축물명	RMS Error		기준점 분포
	Affine 좌표변환	Similarity 좌표변환	
주차빌딩	0.038	0.106	
다산관	1(1,2,4,5)		
	0.047	0.455	
	2(1,3,4,5)		
울곡관	1(1,2,5,6)		
	0.067	0.400	
	2(1,3,4,5)		
우정당	1(1,2,4,7)		
	0.559	0.834	
	2(1,3,4,7)		
	0.905	1.268	
	3(1,2,5,6)		
	0.509	0.769	
4(1,3,5,6)			
0.576	1.085		

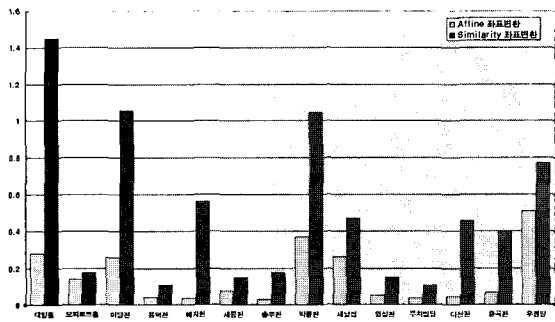


그림 23. 수치지도 기준의 georeferencing 정확도 분석

그림 23에서 수치지도 기준의 georeferencing 결과를 그래프로 나타낸 것으로 기준점이 4개인 경우가 여러 개인 건축물은 Affine 좌표변환의 RMS Error가 가장 작은 경우를 선택하였다. 그림 23의 그래프를 기준으로 14개 건축물에 대한 수치지도 기준의 Affine 좌표변환의 RMS Error의 정확도는 16cm이고, Similarity 좌표변환의 RMS Error의 정확도는 51cm이다.

5.2.2 GPS 측량 자료 기준의 Georeferencing

포인트(point)로 나타난 GPS 측량 자료를 각 건축물의 모서리를 선택하기 위하여 포인트를 연결하여 사각형 형태의 건축물로 표현하여 georeferencing을 수행하였다.

표 5에서 집현관은 10층의 건축물로 1층부터 10층까지 건축물의 형태가 동일하지 않기 때문에 1층과 GPS 측량을 실시한 옥상의 아래층인 10층을 비교하였다. 그림 24에서는 10층의 RMS Error를 이용하였으며, 이는 다른 건축물은 1층부터 꼭대기 층까지의 형태가 같기 때문에 동일한

표 5. GPS 측량 자료 기준의 georeferencing 결과 (단위 : m)

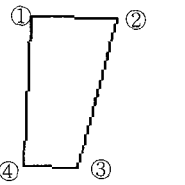
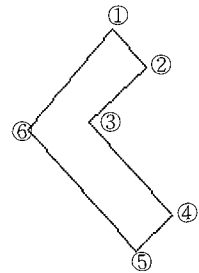
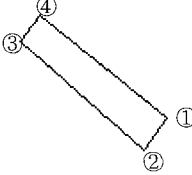
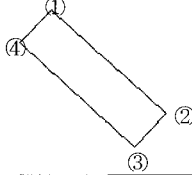
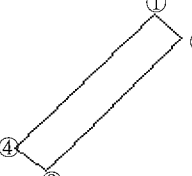
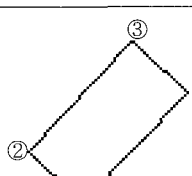
건축물명	RMS Error		기준점 분포
	Affine 좌표변환	Similarity 좌표변환	
집현관	1층		
	0.070	0.090	
	10층		
광개토관	1(1,2,3,4)		
	0.174	0.240	
	2(1,2,3,6)		
	1.966	2.858	
	3(3,4,5,6)		
	1.887	2.535	
	4(1,2,3,4)		
	0.711	2.174	
	5(1,4,5,6)		
	0.443	1.242	
6(1,3,4,6)			
2.582	2.782		
7(1,2,4,6)			
0.392	1.081		
8(1,2,5,6)			
0.494	1.265		

표 5. GPS 측량 자료 기준의 georeferencing 결과 (단위 : m) (계속)

건축물명	RMS Error		기준점 분포
	Affine 좌표변환	Similarity 좌표변환	
세종관	0.037	0.046	
충무관	0.010	0.093	
영실관	0.143	0.146	
울곡관	0.002	0.350	

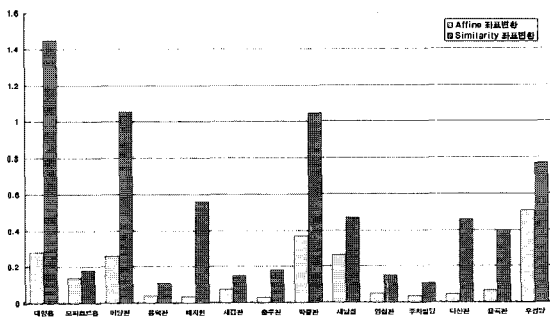


그림 24. GPS 측량 자료 기준의 georeferencing 정확도 분석

조건하에 건축물 간의 RMS Error를 비교하기 위해서이다. GPS 측량 자료 기준의 georeferencing 결과 7개 건축물의 Affine 좌표변환은 2mm~17cm 범위에서 나타났으며 정확도는 6cm이고, Similarity 좌표변환은 4cm~35cm 범위

에서 나타났으며 정확도는 15cm이다.

5.2.3 수치지도와 GPS 측량 자료 결과 비교

수치지도와 GPS 측량 자료의 좌표는 표 6과 같으며, 집현관과 광개토관을 수치지도의 정확한 좌표를 알 수 없었기 때문에 비교하지 않았다. 표 7은 수치지도와 GPS 측량 자료의 georeferencing RMS Error의 결과를 비교한 것으로, 수치지도의 georeferencing한 건축물이 많기 때문에 GPS 측량 자료를 기준으로 같은 기준점을 사용한 경우의 건축물의 결과만을 비교하였다. 또한, 수치지도와 GPS 측량 자료를 기준으로 각각 비교한 결과 Affine 좌표변환의 정확도가 더 좋았으므로, Affine 좌표변환만을 비교하였다.

그림 25에서 볼 수 있듯이 수치지도를 기준으로 georeferencing을 한 RMS Error보다 GPS를 기준으로 geo-

표 6. 수치지도와 GPS 측량 자료의 좌표

건축물명	수치지도		GPS		차이(단위 : m)	
	X좌표	Y좌표	X좌표	Y좌표	X좌표	Y좌표
집현관	X	X	206432.4	449619.37	X	X
	X	X	206416.46	449619.97	X	X
	X	X	206418.35	449670.92	X	X
	X	X	206444.17	449669.95	X	X
용덕관	206415.72	449922.93	206416.82	449923.28	-1.105	-0.350
	206433.39	449904.56	206434.43	449905	-1.037	-0.437
	206402.8	449875.42	206403.87	449875.59	-1.074	-0.170
	206385.24	449893.66	206386.27	449893.91	-1.034	-0.246
광개토관	X	X	206414.53	449821.82	X	X
	X	X	206429.17	449806.49	X	X
	X	X	206414.52	449821.83	X	X
	X	X	206404.1	449783.92	X	X
세종관	X	X	206377.25	449781.58	X	X
	X	X	206439.55	449746.83	X	X
충무관	206493.83	449776.71	206495.24	449776.73	-1.414	-0.017
	206545.92	449735.95	206547.13	449736.29	-1.209	-0.343
영실관	206536.5	449724.1	206537.65	449724.21	-1.147	-0.108
	206485.4	449766.42	206487.08	449766.4	-1.680	0.018
	206450.45	450041.31	206451.59	450041.25	-1.138	0.060
	206511.35	449983.93	206512.33	449984.17	-0.978	-0.237
울곡관	206378.86	449992.63	206380.03	449992.93	-1.17	-0.3
	206432.24	450050	206433.54	450050.34	-1.3	-0.34
	206442.73	450039.52	206443.55	450040.19	-0.82	-0.67
울곡관	206390.09	449982.93	206391.13	449983.34	-1.04	-0.41
	206442.73	450039.52	206443.55	450040.19	-0.820	-0.672
	206390.09	449982.93	206391.13	449983.34	-1.036	-0.41
	206466.06	449935.91	206452.16	449950.37	13.903	-14.461
206450.97	449950.14	206467.31	449936.12	-16.345	14.024	

표 7. 수치지도와 GPS 측량 자료 기준의 georeferencing 결과 비교 (단위 : m)

건축물명	수치지도 Affine 좌표변환	GPS Affine 좌표변환	기준점 분포
용덕관	0.043	0.008	
세종관	0.075	0.037	
충무관	0.029	0.010	
영실관	0.081	0.143	
율곡관	0.067	0.002	

referencing한 결과가 영실관을 제외한 경우에 RMS Error 가 적었으며, 영실관은 GPS 측량시의 pointing error 존재한다고 판단되며, 5개의 건축물을 기준으로 Affine 좌표변환을 이용한 RMS Error는 수치지도 기준은 6cm, GPS 측량 자료 기준은 4cm이다.

5.3 3차원 시각화 및 네트워크 모델

3차원 시각화는 CAD 도면을 편집하고 topology를 생성하고, 수치지도와 GPS 측량 자료를 기준으로 georeferencing한 결과를 각각 수치지도와 중첩시켜 표현하였다.

표 8과 같이 한 층의 천정을 기준으로 천정 위와 아래

표 8. 입/단면도에서 획득한 건축물 높이 (단위 : mm)

건축물명	층수	전체 높이	천정 까지	천정위	건축물명	층수	전체 높이	천정 까지	천정위	
집현관	1층	3600	2780	820	광개토관	1층	5000	3300	1700	
	2층	3600	2780	820		2층	3950	2700	1250	
	3층	3600	2780	820		3층	3950	2700	1250	
	4층	3600	2780	820		4층	3950	2700	1250	
	5층	3600	2780	820		5층	3950	2700	1250	
	6층	3600	2780	820		6층	3950	2700	1250	
	7층	3900	2780	1120		7층	3950	2700	1250	
	8층	3900	2780	1120		8층	3950	2700	1250	
	9층	3900	2780	1120		9층	3950	2700	1250	
	10층	3900	2780	1120		10층	3950	2700	1250	
이당관	1층	2950	2500	450	애지현	11층	3950	2700	1250	
	2층	3050	2600	450		12층	3950	2700	1250	
	3층	3050	2600	450		13층	3950	2700	1250	
충무관	1층	4800	2650	2150	영실관	14층	3950	2700	1250	
	2층	3600	2650	950		15층	10000	7000	3000	
	3층	3600	2650	950		1층	6000	4800	1200	
	4층	3600	2650	950		2층	7900	6700	1200	
	5층	5100	2950	2150		주차빌딩	1층	3400	2400	1000
	6층	4200	2950	1250			2층	3400	2400	1000
	7층	4200	2950	1250			3층	3400	2400	1000
	8층	4200	2950	1250			4층	3400	2400	1000
	9층	4200	2950	1250			5층	3400	2400	1000
	10층	4200	2950	1250			6층	3600	2700	900
	다산관	11층	4200	2950		1250	1층	3000	X	X
1층		3400	2620	780	2층	2900	X	X		
2층		3400	2620	780	3층	2900	X	X		
3층		3400	2620	780	4층	3000	X	X		
4층		3400	2700	700	5층	2900	X	X		

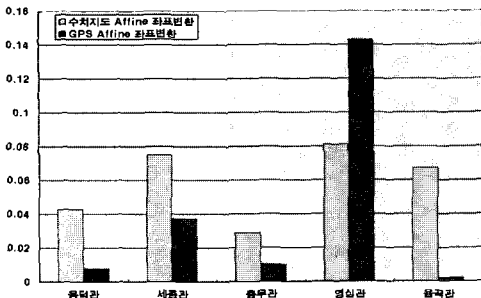


그림 25. 수치지도와 GPS 측량 자료의 georeferencing 결과 분석

로 구분하였으며, 천정 위는 바닥 폴리곤의 피처를 중첩하여 사용하였고, 벽 폴리곤은 가장 외곽의 피처를 사용하였다. 수치지도 기준으로 georeferencing한 결과를 수치지도에 중첩한 것은 그림 26 (a)와 같고, (b)는 GPS 측량 자료를 기준으로 georeferencing한 결과를 수치지도에 중첩한 결과이다.

그림 27은 건축물 내부를 나타낸 것으로 CAD 도면을 편집을 바닥과 벽으로 구분하였고, 이를 이용하여 topology를 생성한 모델을 이용하여 georeferencing한 자료를 이용하였기 때문에 내부도 실제 건축물의 내부와 유사하게 표현되었다.



(a) 수치지도 기준



(b) GPS 측량 자료 기준
그림 26. 3차원 시각화 모델

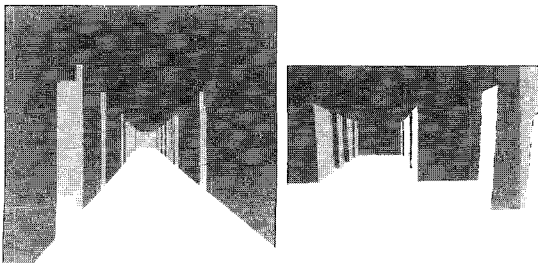


그림 27. 3차원 시각화 모델의 건축물 내부

네트워크 모델은 수치지도를 기준으로 georeferencing한 결과를 이용하였다. 그림 28과 같이 바닥 폴리곤과 벽 폴리곤을 중첩하고, 중첩한 폴리곤에 복도에서 각각 호실을 연결하는 선을 생성하였다.

위와 같이 생성된 선을 clean/build를 통하여 topology를 생성하고, clean/build 과정에서 생성된 길이를 이용하여 그림 29와 같은 속성 정보를 입력하였다.

그림 29와 같이 속성정보를 입력한 선을 이용하여 네트워크 모델을 만들기 위하여 각 층의 선을 열면 중첩되어 나타나기 때문에 3차원의 형태로 표현하기 위하여 그림 30과 같이 y의 좌표를 이동시켜 2.5차원으로 표현하였다. y좌표를 이동시켜 각 층을 중첩한 결과는 그림 31 (a)와 같으며, 그림 31 (b)는 네트워크 모델의 대상 건축물은 층무관, 울곡관, 영실관의 각 층에 생성된 선이다. 이때 각 층은 y 좌표를 이동시킨 후 엘리베이터와 계단을

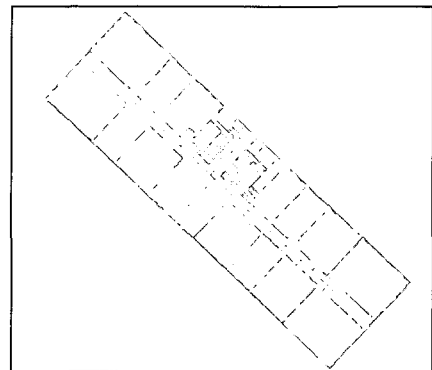


그림 28. 네트워크 모델 생성

Shape_Length	Meters	FT_Minutes	TF_Minutes	Floor
2.376280	2.376280	0.035841	0.035841	1
1.404255	1.404250	0.021564	0.021564	1
2.385343	2.395250	0.035480	0.035480	1
2.520618	2.520620	0.037808	0.037808	1
0.984614	0.994614	0.014913	0.014913	1
2.409518	2.409520	0.035143	0.035143	1
1.691478	1.691480	0.025372	0.025372	1
2.553391	2.553390	0.038301	0.038301	1
2.365345	2.365350	0.035490	0.035490	1
10.266285	10.266400	0.161496	0.161496	1
2.497851	2.497850	0.037468	0.037468	1
0.804989	0.804988	0.013275	0.013275	1
3.217006	3.217010	0.048255	0.048255	1
2.353969	2.353990	0.035310	0.035310	1
2.459526	2.459530	0.036143	0.036143	1
1.600760	1.600760	0.025361	0.025361	1
2.420967	2.420970	0.036313	0.036313	1
1.724139	1.724140	0.025882	0.025882	1
0.332192	0.332192	0.004963	0.004963	1
3.183203	3.183210	0.047748	0.047748	1
2.818461	2.818460	0.042277	0.042277	1
1.623894	1.623900	0.027358	0.027358	1
2.588218	2.588220	0.039783	0.039783	1
2.037251	2.037250	0.032555	0.032555	1
3.582153	3.582150	0.053882	0.053882	1
2.619647	2.619650	0.038225	0.038225	1
2.829810	2.829810	0.042447	0.042447	1
2.785837	2.785840	0.041785	0.041785	1

그림 29. 네트워크 모델의 속성정보

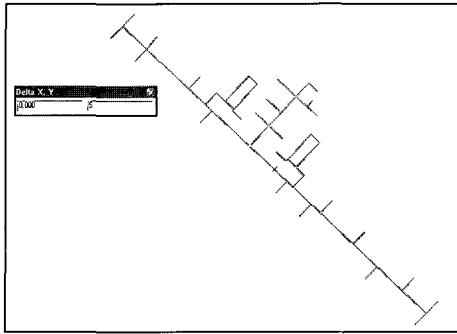
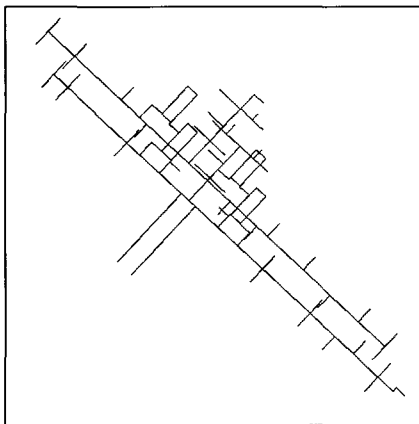
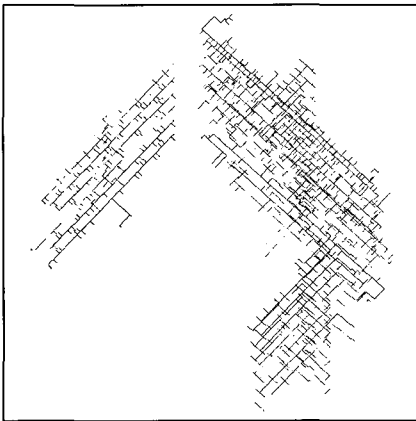


그림 30. y 좌표 이동



(a) y 좌표 이동결과



(b) 2.5차원으로 표현

그림 31. y 좌표 이동결과와 2.5차원으로 표현

위 층에서 아래 층 혹은 아래 층에서 위 층으로 모두 이동이 가능하게 연결하였으며, 엘리베이터는 직선으로 연결되게 하였고, 계단은 실제 계단의 모양과 유사한 형태로 연결하였다.

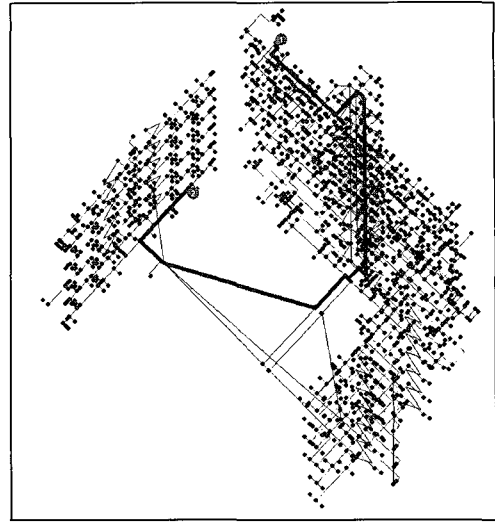


그림 32. 네트워크 모델

생성된 정보를 이용하여 건축물 내부와 건축물과 건축물의 이동경로를 나타내었다. 3차원 네트워크 분석 및 시각화를 위해서는 이에 적합한 자료구조를 갖고 있는 S/W에서 가능하다(EON Studio, buildingEXODUS, Smartfire-김영엔지니어링). ArcGIS에서는 이러한 기능이 직접 구현되지 않으므로 3차원 네트워크 모델을 위하여 그림 32과 같이 높이의 차이를 수평 이동시켜 구현하여 2.5차원의 시각적인 효과를 보였다.

6. 결 론

본 연구는 CAD 도면을 이용하여 3차원 시각화 모델을 생성하기 위한 데이터베이스 구축 공정을 제시하고, georeferencing의 정확도를 분석하기 위하여 수치지도와 GPS 측량 자료를 기준으로 georeferencing하여 결과를 비교·분석하였으며, 이와 같이 구축된 모델을 이용하여 3차원 시각화 모델과 네트워크 모델을 생성하였다.

- CAD 자료의 전처리에서는 AutoCAD VBA를 이용하여 CAD 도면을 편집함으로써 자동화를 추구하고, 기능이나 명령어를 입력하거나 찾는 수고를 줄일 수 있으며, 레이어를 간소화하고, topology 생성에서의 에러(error)를 최소화하고, 시간의 효율성을 증대하였으며, 자료 용량을 최소화하였다.
- Topology 생성에서 clean/build를 이용하여 폴리곤을 생성함으로써 수동으로 변환하는 과정에 비하여 시간

을 단축하였다.

- 건축물의 georeferencing 기준 자료로 GPS 측량 자료는 원하는 시간에 원하는 위치의 자료를 획득할 수 있으나 넓은 범위를 측량하기에는 많은 시간과 비용이 필요하고, 수치지도를 사용하기 위해서는 도화기준을 알아야한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 수치지도를 이용하고, 수치지도 상에 존재하지 않는 건축물에 대해서 GPS 측량 자료를 이용하거나 다른 자료를 이용하는 것이 좋을 것이다.
- 3차원 시각화 모델은 georeferencing을 통하여 생성된 모델을 이용하여 생성함으로써 실제 지상좌표에 존재하는 모델에 입/단면도의 높이를 적용함으로써 실제 건축물과 유사한 형태의 모델을 생성하였다.
- 네트워크 모델은 수치지도를 기준으로 georeferencing된 결과에 거리와 시간을 나타낼 edge를 생성함으로써 실제와 유사한 형태의 모델을 생성하였으나 3차원으로 표현에 어려움이 있었다. 3차원으로 표현하기 위해서는 상용 S/W를 사용하거나 ArcScene에서 각 건축물의 층을 연결하는 방법에 관한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(10540)의 지원으로 수행되었다.

참고문헌

강정아 (2006), CAD 도면을 이용한 건축물 내부공간의 3차원 GIS 네트워크 모델링, 석사학위논문, 세종대학교.
김영엔지니어링, <http://www.epcmart.co.kr>
류근원, 전철민, 박인혜, 김혜영 (2006), 내부공간에서의 경로탐색을 위한 3차원-GIS 모델링, 2006 GIS/RS 공동추계학술대회.
손홍규, 최종현, 김의명 (2003), 수치지도와 항공사진을 이용한 시설물 3차원 모델링, 한국측량학회 2003 추계학술발표회 논문집, pp. 303-308.
이진덕, 소재경, 박진표, 김동수 (2005), 대학캠퍼스의 관리효율화를 위한 3차원 공간모델링, 2005 GIS/RS 공동 추계학술대회.
Bandrova, T. (2005), Innovative Technology for The Creation of 3D Maps, *data Science Journal*, Vol. 4, pp. 53-58.
Kwan, M.P. and Lee, J. Y. (2005), Emergency response after 9/11: the Potential of Real-Time 3D GIS for Quick Emergency Response in Micro-Spatial Environments, *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, pp. 93-113.
Meijers, M., Zlatanova, S. and Preifer, M. (2005), 3D Geo-Information Indoors: Structuring For Evacuation, *Proceedings of Next generation 3D city models*, 21-22 June, Bonn, Germany, 6 p.
Pu, S. and Zlatanova, S. (2005), Evacuation Route Calculation of Inner Buildings Geo-Information for Disaster Management, Springer Verlag, Heidelberg, pp. 1143-1161.

(접수일 2006. 12. 6, 심사일 2007. 4. 2, 심사완료일 2007. 4. 16)