한국측량학회지, 제 23권 제 4호, pp. 375~384(2005년 12월 31일)

CAD 도면을 이용한 건축물 내부 공간의 3차원 GIS 네트워크 모델링

3D GIS Network Modeling of Indoor Building Space Using CAD Plans

강정아[1] · 염재홍[2] · 이동천[3]

Kang, Jung A · Yom, Jae-Hong · Lee, Dong-Cheon

Abstract

Three dimensional urban models are being increasingly applied for various purposes such as city planning, telecommunication cell planning, traffic analysis, environmental monitoring and disaster management. In recent years, technologies from CAD and GIS are being merged to find optimal solutions in three dimensional modeling of urban buildings. These solutions include modeling of the interior building space as well as its exterior shape visualization. Research and development effort in this area has been performed by scientists and engineers from Computer Graphics, CAD and GIS. Computer Graphics and CAD focussed on precise and efficient visualization, where as GIS emphasized on topology and spatial analysis. Complementary research effort is required for an effective model to serve both visualization and spatial analysis purposes. This study presents an efficient way of using the CAD plans included in the building register documents to reconstruct the internal space of buildings. Topological information was built in the geospatial database and merged with the geometric information of CAD plans. as well as other attributal data from the building register. The GIS network modeling method introduced in this study is expected to enable an effective 3 dimensional spatial analysis of building interior which is developing with increasing complexity and size.

Keywords : Internal building, Spatial Modeling, 3D Visualization, GIS Network Model, CAD

요 지

도시계획, 이동통신계획, 교통계획, 환경조사, 재해·재난 관리 등의 다양한 분야에서 효율적인 시설물 관리를 위한 3차원 도시모델의 사용이 증가하고 있다. 특히 최근의 건물모델링은 CAD와 GIS의 기술로 통합되는 추세이다. 현재까지 연구되어 온 건물모델링은 주로 외부 시각화를 위한 것이었으나 보다 다양한 분야에서 활용하기 위해 건물 내부에 대한 모델링의 필요성과 중요성이 증가하고 있다. 3차원 건물모델링은 컴퓨터 그래픽스, CAD, GIS 분야에서 서로 다른 개념으로 발전되어 왔다. CAD와 컴퓨터 그래픽스 기반의 모델은 정밀한 시각화 표현 기능이 발전하였으나 객체에 대한 속성정보가 부족하며, GIS 기반의 모델은 속성정보와 위상기하학을 이용하는 공간 분석 및 연산 기능이 강력하므로 GIS와 CAD 통합된 모델링이 필요하다. 본 연구에서는 3차원 건물모델의 내부구조를 복원하기 위해서 건축물 관리대장에 포함되어 있는 CAD 설계도면을 이용하는 방법을 제시하고 있다. 기하학적 요소로 구성된 CAD 도면에 위상기하학적인 정보를 생성하고 내부 공간을 분할하여 3차원으로 복원한 뒤, 추가적인 속성정보를 건물 데이터베이스에 입력하였다. 오늘날 규모가 커지고 복잡해지는 건물 내부의 효과적이고 체계적인 3차원 공간분석 및 서비스 제공을 위한 GIS 네트워크 모델을 생성하였다.

핵심용어 : 건축물 내부, 공간 모델링, 3D 시각화, GIS 네트워크 모델, CAD

1) 연결저자 · 정회원 · 세종대학교 지구정보공학과, 석사과정(E-mail:landsat-tm@hanmail.net)
2) 정회원 · 세종대학교 지구정보공학과, 부교수(E-mail:jhyom@sejong.ac.kr)
3) 정회원 · 세종대학교 지구정보공학과, 조교수(E-mail:dclee@sejong.ac.kr)

1. 서 론

오늘날 도시계획, 통신계획, 교통계획, 환경조사 및 재해재난 관리 등의 다양한 분야에서 3차원 도시모델의 사용이 증가하고 있다(Heuel 등, 2001). 그러나 3차원 도시모델을 구성하기 위해 생성되는 건물모델을 비롯한 객체모델들이 적용되는 범위에는 한계가 있다. 예를 들어, 통신망의 설계 및 유지관리를 위해 도시모델을 활용하는 경우에는 건물의 높이와 위치 같은 비교적 간단한 지형정보 및 기하학 정보를 필요로 한다. 이러한 정보에 대한 요구는 GIS 기술로 해결되고 있는 추세이다.

그러나 규모가 큰 건축물에서 화재 발생 시 대피 및 화재진압을 위한 모델은 건물의 외적인 요소보다는 건물 내부의 상황을 파악하기 위한 비상대피로, 출입구 및 계단의 위치와 구조, 건물 내부의 이동경로 및 건물의 재질 등과 같은 건축물 내부에 대한 시각적 표현을 필요로 한다. 이러한 필요성은 CAD 기술에 의해 해결되고 있다.

CAD는 공간분석의 기능보다는 주로 시각화를 목적으로 가상현실(virtual reality) 구현을 위한 도구로 사용되어 왔으며(Kolbe 등, 2003), 건축시공을 위한 건물 내부나 외부의 조감도에도 널리 이용되고 있다. GIS 기반의 건물모델은 시각적인 효과보다 공간분석을 목적으로(Heuel 등, 2001, Zlatanova 등, 1996)과 같이 항공사진에서 선형 파라미터를 추출하여 건물을 복원하거나, 수치지도 및 항공레이저 센서(LiDAR)에 의해 획득된 point 집단을 분석하는 건물 복원 방법이 연구되어 왔다(Lee 등, 2002). 더 나아가 항공사진과 LiDAR point 데이터의 결합(McIntosh 등, 1999, Rottensteiner 등, 2002), LiDAR point 데이터와 수치지도의 결합(Halla 등, 1998, Vosselman 등, 2001) 등과 같은 다양한 데이터들의 결합으로 인하여 모델의 기하학적 정확도를 개선하는 방법들이 개발되어 왔다.

그러나 CAD 분야에서 생성되는 건물모델은 절대지구좌표계를 기준으로 하고 있지 않으며, 건물 내부의 위상구조화된 정보가 결여되어 있으므로 공간분석에는 한계가 있다. 반면에 GIS 분야의 모델은 효율적인 공간분석이 가능하며, 일정한 프로세싱 방법에 의해 건물 외부 모형은 빠르게 생성되지만 건물 내부를 표현하는 모델링에는 한계가 있다. 그러므로 건물모델링에 있어서 서로의 단점을 보완하기 위한 CAD와 GIS의 기술 통합에 대한 연구가 필요하다(Kolbe 등, 2003).

건물의 규모가 커지고 내부구조가 복잡해짐에 따라 건물 내부의 공간분석이 가능한 3차원 건물모델의 필요성이 높아지고 있다. 그 예로서, 건물 내부의 화재와 같은 긴급한 상황이 발생할 경우에 위치에 따른 최적의 대피경로를 찾는 건물 내부의 네트워크 모델 생성을 중심으로 하는 연구가 진행되었다(Pu 등, 2005).

본 연구에서는 앞에서 제시된 CAD와 GIS의 장점을 바탕으로 건물 내부의 효율적인 3차원 공간분석을 위한 모델을 제시하고자 한다. 건축물대장에 포함된 CAD 도면을 이용하여 GIS의 위상구조 형태의 데이터를 생성하고 건물 내부의 속성정보를 입력하여, 건물 내부구조의 시각화와 함께 데이터베이스를 구축하였다. 그리고 도로·교통 분야와 상하수도 관로분석 등의 분야에서 활용하는 2차원 네트워크 모델을 3차원 개념으로 확장하여 건물 내부에 적용한 뒤, 최적 및 최단 경로 탐색과 근접한 시설물 찾기와 같은 3차원 공간 분석을 가능하도록 모델링하였다.

2. 3차원 건물모델링과 네트워크 모델링

2.1 CAD 기반의 건물 모델링

CAD는 실제나 가상의 물체를 컴퓨터를 이용하여 설계할 때 사용되며, 도면의 작성과 같은 2차원 모델링에서부터 높이값을 사용하는 3차원적 모델링에까지 적용되고 있다. 건설 분야의 설계에 주로 이용되며 빛과 음향, 소음 등 환경적 요소와 화재 및 지진과 같은 재해재난 긴급대피 및 구조 등의 효과를 감안한 보다 현실에 가까운 시뮬레이션의 목적으로 3차원 CAD 모델의 사용이 증가하고 있다. 3차원 CAD 모델은 ArchiCAD, Architrion, Chief Architect 등의 상업용 3차원 CAD 제품에 의해 설계할 수 있다(Lewis 등, 1998).

CAD에 의한 3차원 모델링은 다면체로 모델을 표현하는 CSG(Constructive Surface Geometry)방법이나 외곽선으로 모델을 표현하는 B-Rep(Boundary Representation) 방법 등이 있다. 그러나(Lewis 등, 1998)에서는 건물 내부 시각화를 위한 WALKTHRU 시스템을 개발하면서 평면도를 분석하여 내부 공간을 정의하는 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 room과 같은 공간을 형성하기 위한 CAD 도면으로부터 폐쇄된 공간의 외곽선을 탐지하여 출구와 통로를 공간들의 연관관계로 나타내었다. 그림 1은 평면도 내의 공간에 대한 연관관계를 도표로 나타내고 있다.

다음으로 각 층의 높이값을 지정하여 벽면과 출구를 생

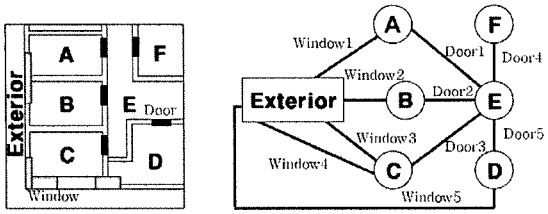

그림 1. 평면도의 공간구조에 따른 연관관계

성하고 완성된 층을 통합하여 하나의 건물모델을 생성하였다.

이와 같은 건물모델은 시각적인 표현에는 적합하지만 각 공간이 가지는 위상관계에 대한 내용보다는 건축설계 내용에 비중을 두어 공간 분석에는 어려움이 있다. 예를 들어, 그림 1의 D방에서 A방으로 갈 수 있는 경로, 거리, 경유지 등과 같은 정보를 추출하기에는 어려운 모델이다. 이와 같은 정보를 추출하기 위해서는 GIS 기반의 건물 모델링 개념이 필요하다.

2.2 GIS 기반의 건물 모델링

GIS에서의 공간정보 분석은 일반적으로 기하학적 정보(geometric information)와 의미적인 정보(semantic information) 및 위상정보(topological information)의 통합과 분석에 목적이 있다(Aronoff, 1995). GIS에서 3차원 건물모델은 주로 항공사진과 같이 특정한 센서(카메라, 다중분광센서, LiDAR 등)를 이용하여 지형지물에 대한 영상을 수집하고 이를 분석하여 대상물을 모델링한다. GIS에서 건물모델링의 주요 관심사는 이런 데이터를 자동으로 모델링을 하고 생성된 모델의 기하학적인 정확도를 향상시키는데 있다. 또한 최근에는 복잡한 지붕 형태를 자동으로 복원하는데 많은 노력을 기울이고 있다. 이를 위해 그림 2와 같이 지붕의 형태에 따른 기본적인 원형모델(primitive model)을 제시하는 방법(Heuel 등, 2001, Vosselman 등, 2001)과 선소(line element)를 추출하고 그룹화하는 방법(예철수, 2003)이 연구되었다. 최근에는 모델의 기하학적 정확도를 높이기 위해 LiDAR 데이터의 반사강도(intensity map)와 다중반사(multiple return)를 함께 사용하거나(권승준 등, 2003) 수치지도와의 융합(손홍규 등, 2003)과 같은 다중 데이터를 사용한 모델 생성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 3차원 복원 분야에서는 이와 같은 방법에 의해 건물의 외형요소에 대한 신속한 복원이 가능하나 건물의 내부구조에 대한 정보는 결여되어 있는 상태이다.

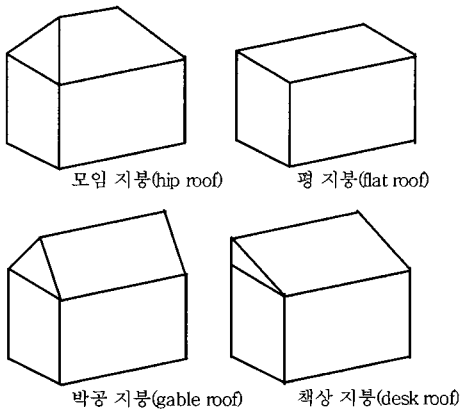

그림 2. 지붕모양에 의한 건물 원형모델

2.3 네트워크 모델

네트워크 모델은 하천이나 도로와 같은 선형의 객체(linear feature)를 표현하는 모델로서, 일반적으로 교통 또는 LBS(Location Based Services) 분야에서 이용되거나 상하수도와 가스공급 등과 같은 시설물 관리에 적용되고 있다. 국소적인 범위에서는 건물 내부의 화재와 같은 재난 시에 신속한 대피 및 구조를 위한 대피경로의 계산 등에 이용되고 있다. 네트워크 모델은 선형의 객체를 junction(point feature)과 edge(line feature)를 사용하여 위상기하학적 관계를 기반으로 하는 모델을 생성하며, 좌표 값의 포함여부에 의해 크게 기하학적(geometric) 네트워크와 논리적(logical) 네트워크로 구분된다(Zeiler, 199978).

네트워크 모델은 최단거리의 탐색이나 근접한 시설물 탐색, 거리 및 소요시간에 따른 영향범위를 설정할 수 있

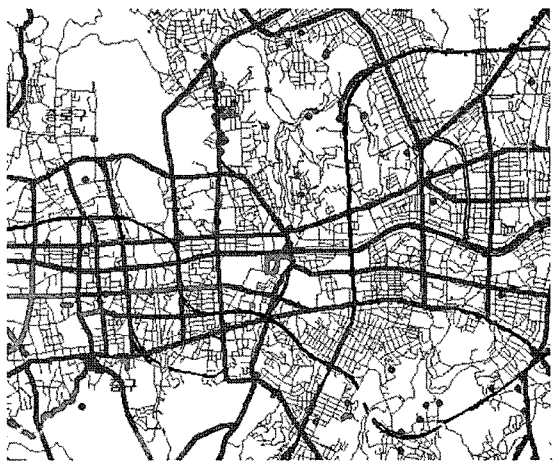

그림 3. 도로를 나타내는 네트워크 모델

다. 최근에는 PDA나 핸드폰을 통한 차량에 탑재된 네비게이션 시스템(CNS)이나 버스노선 및 지하철 환승안내 등에 이용되어 실생활에서의 활용성이 증가하고 있는 추세이다(그림 3 참조).

3. 건물 내부 공간의 분석을 위한 3차원 GIS 네트워크 건물 모델

3.1 연구대상과 방법

본 연구에서는 CAD 도면을 기반으로 건물 내부공간에 대한 속성정보의 데이터베이스 구축과 함께 3차원 시각화가 가능한 모델을 생성하였으며, 3차원 건물 내부의 이동경로를 3차원 개념의 네트워크 모델로 구성하였다. 연구 대상 건물은 세종대학교 공과대학 건물인 충무관(그림 4)으로 선정하였으며, CAD 데이터는 건축물 관리대장의 일부로 대학측으로부터 제공받았다. 내부 공간을 표현하기 위해 건물 내부를 polygon feature로 표현하고 속성 데이터를 구축하여 이를 3차원 환경에서 시각화하였다. 데이터 생성에 이용한 소프트웨어로 ArcMap과 Network Analyst를 이용하였으며, 3차원 시각화는 ArcScene을 이용하여 구현하였다.

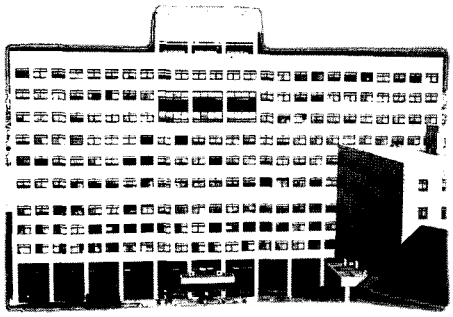

그림 4. 연구대상 건물

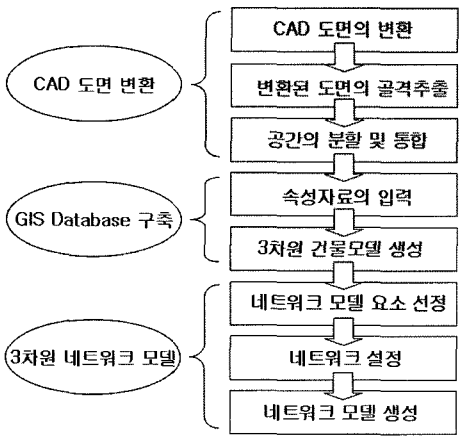

그림 5. CAD 데이터를 이용하는 3차원 건물모델과 네트워크 모델의 생성과정

건물 내부의 네트워크 모델은 시각화 모델에서 생성된 polygon feature 데이터의 위치를 기반으로 point feature와 line feature를 생성하여 구축하였다. 그림 5는 건물 내부의 3차원 시각화 모델링 및 3차원 네트워크 모델링 과정을 보여주고 있다.

3.2 3차원 시각화 모델링

3.2.1 CAD 도면의 변환

연구에 사용된 건축물 CAD 도면은 최종적으로 두 종류의 polygon feature 데이터로 변환시켰다. 하나는 건물의 바닥면을 표현하는 polygon feature이고 다른 하나는 건물의 벽면을 표현하는 polygon feature이다. 이와 같이 polygon들을 변환시키기 위해 CAD 시스템으로 제작된 건물의 평면도에 대한 편집과정을 거치게 된다. 원시 CAD 도면은 벽, 기둥, 문, 창문, 엘리베이터와 같은 객체와 보조선을 표현하는 50여개 이상의 도면층로 구성되어 있어, 건물 모델 생성에 불필요한 많은 레이어들을 포함하고 있다(그림 6). 그러므로 3차원 모델에서 건물의 골격(skeleton)을 나타낼 수 있는 기둥(column), 벽(wall), 보조선(center line) 레이어만을 선택하여 line feature 파일로 변환을 하였다(그림 7). line feature로 변환된 파일을 polygon feature로 변환시킨 다음에(그림 8), polygon feature 파일의 분할 및 융합을 통하여 원본 CAD 도면에 있는 room의 구조와 같이 수정한다(그림 9). 여기서 언급되는 room은 어떤 공간이 벽이나 문을 사이에 두고 분할되어 있는

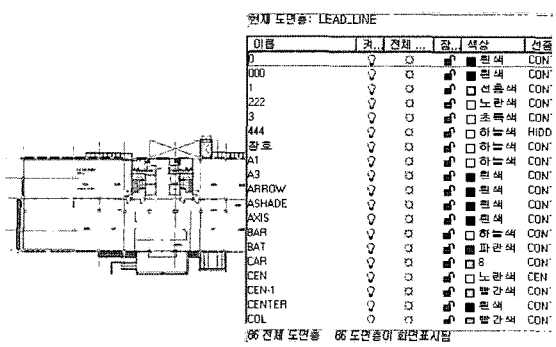

그림 6. AutoCAD에서 본 도면원본

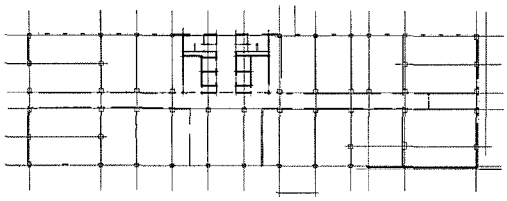

그림 7. 도면층 선택 후의 변환 파일

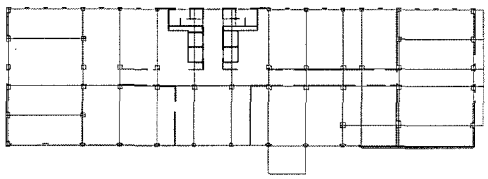

그림 8. Polygon 형태로 변환된 파일

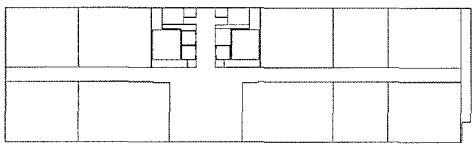

그림 9. 분할 및 융합된 후의 파일

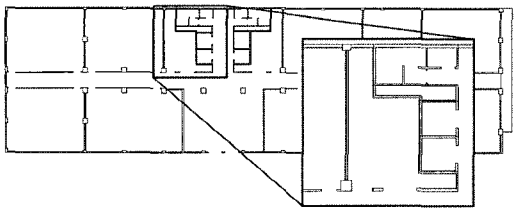

그림 10. 벽면 polygon feature 파일

모든 공간을 room이라고 한다. 그러므로 일반적인 방의 개념뿐만 아니라 엘리베이터나 계단구역까지도 하나의 room으로 포함시킨다.

바닥면 polygon feature를 생성한 뒤에, 분할 기능을 이용하여 원시 CAD 도면에 나타난 건물 벽의 너비와 동일하게 링(ring) 구조의 벽면 polygon feature를 생성한다(그림 10). 생성된 벽면 polygon feature는 실질적으로 3차원 건물모델을 표현하게 된다.

3.2.2 GIS 데이터베이스 구축

벽면 polygon feature를 생성한 후, 3차원 시각화와 함께 공간정보를 활용하기 위한 건물 내부에 대한 속성정보를 데이터베이스로 구축하게 된다. 본 연구에서는 건물 내부

표 1. Polygon feature에 추가되는 속성

Field 이름	속성	유형
Use	room의 용도	Text
Floor	층 수	Integer
Room Number	호수	Text
Department	소속	Text
Manager	관리자	Text
Phone Num.	전화번호	Text
Height	높이	Double
SpaceID	고유 ID	Text

의 개별적인 room을 나타내는 바닥면 polygon feature에 표 1과 같이 방 번호, 층 수, 관리자, 소속학과, 전화번호 등의 속성정보를 입력하였다. 그리고 각 room에 고유한 값을 입력하기 위한 SpaceID field를 추가하였다.

사용한 GIS tool에서는 polygon feature를 생성할 때마다 고유한 ID가 일정한 순서대로 데이터베이스에 자동 입력된다. 그러나 polygon feature를 융합하고 분할하는 편집과정에서 입력된 값의 규칙성이 사라지게 된다. 그러므로 polygon feature의 편집과정이 모두 끝난 이후에 SpaceID의 값을 입력하였다. SpaceID field를 이용하여 속성테이블 간의 관계설정에 의한 공간분석을 하게되므로, 정확한 값의 입력이 필요하다. 벽면 polygon에는 각 room을 구분하기 위한 SpaceID와 완성된 모델에서 건물의 벽면을 3차원으로 표현하기 위한 height 값을 속성으로 추가하였다.

3.3 3차원 네트워크 모델링

3.3.1 Line feature의 생성

시각화 모델링 과정에서 벽면 polygon feature로 표현하였던 room의 위치를 기반으로 건물 내부의 이동경로를 나타내는 새로운 line feature를 생성한다. 벽면 polygon feature에서 복도를 표현하는 공간의 중앙을 지나도록 복도 line feature를 생성하고(그림 11의 굵은 선), 복도 line feature에서 각 room의 입구가 있는 위치까지 수직 방향으로 line feature를 생성한다(그림 11의 얇은 선). 네트워크를 구성하는 모든 line feature들은 polygon feature에서 room으로 구분된 모든 공간의 입구와 복도공간의 중앙에 위치하도록 설정하였고, 각 line feature들이 직교하도록 연결하였으므로 실제적인 이동경로와는 차이가 있다.

네트워크 모델을 이용하는 분석은 각각의 line feature

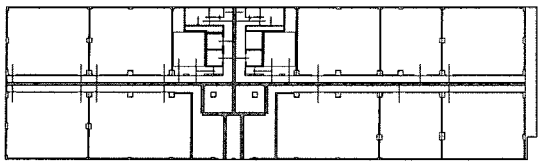

그림 11. 복도를 나타내는 line feature

표 2. Line feature에 추가되는 속성

Field 이름	속성	유형
Func_Class	복도의 center/branch	Integer
METER	line의 길이	Double
FT_MINUTE	line의 횡단시간	Double
TF_MINUTE	line의 횡단시간	Double
Oneway	line의 이름	Text
Floor Level	층 수	Integer

FUNC_CL	SHAPE_Length	METER	FT_MINUT
Center	920.485377	0.92	0.0184
Center	10867.841290	10.867	0.21734
Center	2504.222722	2.504	0.05008
Center	10721.964042	10.721	0.21442
Center	2309.720322	2.309	0.04618

그림 12. 복도 line feature에 대해 입력한 속성

에 포함되어 있는 거리, 이동 소요시간, 방향 등의 속성정보를 이용하므로, 이에 필요한 속성 field를 표 2와 같이 추가하고 값을 입력한다.

생성된 모델은 특정한 좌표계가 설정되어 있지 않은 임의 좌표계를 기준으로 화면에 나타난다. CAD 데이터를 GIS 데이터로 변환하는 과정에서 축척변환이 이루어지는데, 임의 좌표계에서 1000이란 단위는 1m 거리를 나타내었다. 그러므로 line을 생성할 경우 실제의 길이는 1000으로 나누어 m 단위로 변환하였다.

이동시간을 계산하기 위해서 사람의 평균 속도를 3km/h로 가정하여, 이를 분초당 미터 단위로 계산하면 0.02 min/m(1.2sec/m)이다.

그림 12는 표 2의 field를 생성한 뒤에 line feature의 길이와 길이에 따른 이동 소요시간, 이름 등의 속성을 입력한 테이블을 보여준다.

3.3.2 Point feature의 생성

(1) Room에 대한 point feature 생성

네트워크 모델에서 point feature는 입구나 출구, 또는 line이 교차하는 곳과 같이 일정한 지점을 나타내는데 사

표 3. 각 층의 room 이용 현황

용도/층	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
강의실	10	13	-	-	-	-	-	-	-	1	2
실습실	-	1				3		1	4	1	5
연구소	-	-	-	21	2	-	1	-	-	2	-
연구실	-	-	-	-	16	13	10	13	9	6	8
세미나실	-	-	2	-	1	1	2	1	1	1	1
자료실	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2	2
사무실	-	-	-	-	-	-	2	2	2	3	6
교수 연구실	-	-	-	-	11	6	17	18	18	14	15
벤처 기업	-	-	26	-	-	-	-	-	-	-	-
엘리 베이터	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
계단	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
청소실	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
화장실	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
전기실	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

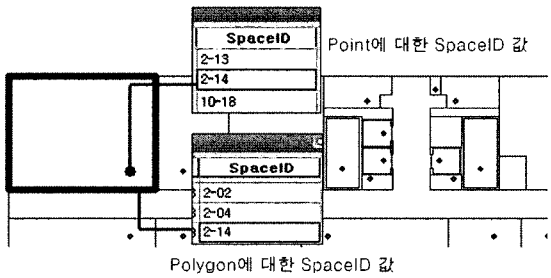

그림 13. 동일하게 입력되는 SpaceID

용된다. 시각화 모델에서 polygon feature로 표현되었던 room은 네트워크 모델의 대응하는 위치에 point feature로 표현한다. point feature를 생성하기 위한 건물 내부의 room의 이용도 현황은 표 3과 같다.

건물 내부의 네트워크 모델은 주로 공간의 용도(use)에 의한 분석에 많이 활용되므로 용도에 따른 각각의 point 레이어를 생성하였다.

표 3의 room의 이용도에 따르는 총 개수만큼의 point feature를 생성하고, 시각화 모델에서 polygon feature의 속성으로 추가하였던 SpaceID field를 point feature 레이어의 테이블에 추가하였다. 그리고 각 point feature의 SpaceID가 polygon feature로 표현한 room의 SpaceID와 일치하도록 입력하였다(그림 13).

(2) 편의시설에 대한 point feature 생성

네트워크는 point로 표현되는 모든 feature들에 대한 경로 분석이 가능하다. 그러므로 room 이외의 편의시설도 네트워크 모델에 추가시키려면 이들의 위치를 point feature로 나타내어야 한다. 이들 feature에 연계된 속성 정보로는 관리자, 서비스 전화번호와 점검일자 등으로 설정하였다. 정수기(Water_Purifier)와 자판기(Vending_Machine)를 나타낸 레이어를 생성하고 각 편의시설의 개수만큼의 point feature를 추가한다.

3.3.3 네트워크 설정 - 수직이동경로의 생성

3차원 건물 내부의 네트워크를 표현하기 위해서는 3차원 공간적 개념에서 네트워크 모델이 생성되어야 한다. 3차원 네트워크 개념의 모델은 그림 14와 같은 형태로 표현할 수 있다. 실선은 건물 내부의 복도와 room의 입구를 나타내는 이동경로이며, polygon으로 표현한 부분은 사용 용도에 따라 다른 모양으로 나타낸 room이다. 수직 점선은 수직 이동, 즉 여기서는 엘리베이터에 의한 이동경로를 나타내며, 대각 방향의 점선은 계단에 의한 이동경로를 나타낸다. 이와 같은 3차원 표현의 개념적 모델을 실제의 논리적 모델에 적용하기 위한 방법으로 그림 19과 같이 각 층에 대한 네트워크 모델을 평면에 수직적으로 정렬하였다.

이런 방법을 이용하는 이유는 현재 상용화 된 네트워크를 다룰 수 있는 프로그램이 아직까지는 2차원 개념에서만 적용되기 있기 때문이다. 앞으로 연구에서 네트워크의 3차원 적용을 위한 표현 및 공간연산이 개선되어야 한다. 그러므로 본 연구에서는 2차원에 나타낸 3차원 공간에 대한 네트워크 경로의 분석 결과를 처리하여 3차원 시각화 모델에 나타냈다. 3차원 네트워크 모델 구조의 기반이

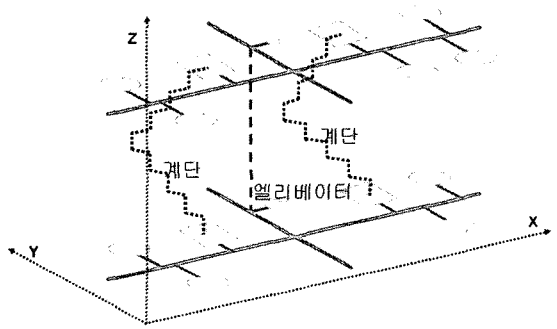

그림 14. 3차원 네트워크를 표현하는 개념적 모델

되는 벽면 polygon 레이어를 1층부터 11층까지 상향으로 일정한 간격을 가질 수 있도록 Y 좌표를 변경한 뒤, 변경된 층의 위치를 기반으로 네트워크 모델을 생성하였다.

각 층의 이동경로와 room에 대한 feature들이 하나의 네트워크를 구성할 수 있도록 수직의 line feature로 연결하였다. 한 층에는 모두 세 대의 엘리베이터가 설치되어 있으며, 각각 전층, 홀수층, 짝수층을 운행하는 엘리베이터의 특성에 의한 3개의 레이어를 생성하여 각 층들을 연결하였다(그림 15).

각 층을 연결하는 엘리베이터 line feature에 이동시간 및 거리를 계산하여 속성 테이블의 MINUTE field에 입력한다. 측정 결과, 엘리베이터로 한 층을 이동하는 시간은 평균 3초가 소비되어 엘리베이터를 나타내는 line feature는 length field 값에 상관없이 MINUTE field에 0.05(3초)를 입력하였다. 그 외의 문이 열리고 닫히는데 걸리는 시간은 대략 5초가 소요되었으며 층에 따른 엘리베이터 대기 시간은 표 4와 같다. 이런 부가적인 시간들

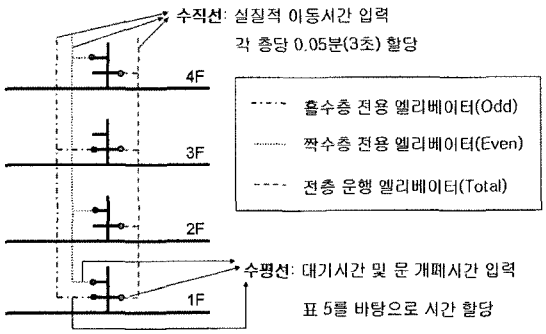

그림 15. 엘리베이터 line feature의 연결

표 4. 엘리베이터 평균 대기 시간

층수	waiting minute(second)
1층	0.416(25)
2층	0.33(20)
3층	0.283(17)
4층	0.23(14)
5층	0.183(11)
6층	0.13(8)
7층	0.13(8)
8층	0.183(11)
9층	0.23(14)
10층	0.283(17)
11층	0.33(20)

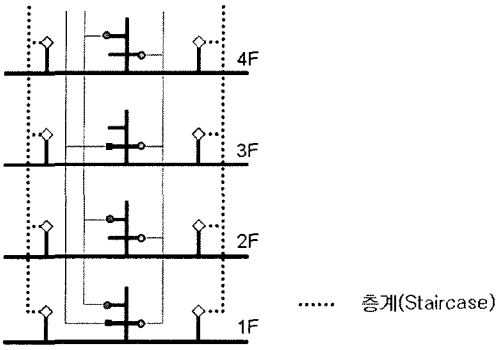

그림 16. 계단 line feature의 연결

의 총합을 그림 15에서와 같이 엘리베이터와 복도 사이의 수평선에 대한 MINUTE field에 입력하였다.

계단을 이용하는 수직방향 이동에 대한 line feature를 그림 16과 같이 생성하였다. 실제로 엘리베이터는 수직방향으로 이동을 하지만, 계단은 경사방향으로 이동하게 된다. 그러나 3차원 네트워크 모델에서 계단을 수직 line feature로 표현 하였으며, MINUTE 속성에 실제의 이동거리와 소요되는 시간을 입력하였다. 한 층을 이동하는 평균시간은 0.4분(24초)으로 조사되었다.

3.3.4 네트워크 모델의 생성

네트워크 모델은 연결된 line feature를 추적하여 탐색된 경로나 범위를 사용자에게 보여준다. 건물 내부의 네트워크에서 다른 층간의 경로를 탐색할 경우, 엘리베이터나 계단을 이용할 수 있지만 대부분의 경우 3층 이상을 이동하게 되면 엘리베이터를 사용하게 된다. 네트워크 모델에서 수직방향 이동의 우선순위를 엘리베이터에 부여하기 위해서 복도에서의 이동경로와 엘리베이터의 이동경로, 계단의 이동경로에 대한 계층(hierarchy)을 속성테이블에 추가하여 경로분석을 할 경우 계단보다 엘리베이터에 의한 경로가 우선적으로 고려될 수 있도록 설정하였다.

4. 결과 및 고찰

앞서 설명된 방법으로 수행한 건물 내부의 3차원 시각화 모델을 나타낸 결과는 그림 17과 같다. 벽면 polygon feature의 속성으로 입력한 높이값만큼 압출(extrusion)하고, 각 층에 맞는 기본적인 높이값을 설정하여 건물 내부와 외부의 벽면을 시각화하여 모델을 생성하였다. 시각화된 feature와 데이터베이스가 연계되어 있기 때문에, 질의(query)기능을 이용하여 3차원 공간의 하이라이트 표현과 함께 속성 테이블 검색 결과를 볼 수 있다. 그림 18은 3차원 시각화모델의 11층의 room 중에서 '소속학과=지구정보공학'인 조건을 예로 검색하여 결과를 나타낸 것이다.

건물 내부의 이동경로를 line feature로 연결하고 room의 위치에 point feature를 생성한 뒤 line feature와 연결하여 완성한 네트워크 모델은 그림 19와 같다. room의 이용용도에 따라 point를 나타내는 심볼을 다양하게 하여 공간 이용도의 식별을 쉽게 하였다.

그림 20은 완성된 네트워크 모델에서 최소 시간을 조건으로 8층과 11층의 선택한 point 사이의 경로를 최소시간을 조건으로 탐색한 결과이다. 개별적인 line feature에 입력된 길이와 소요시간을 계산하여 최단거리나 최소시간의 조건으로 적절한 경로를 탐색하게 되는데, 이 조건에서는 전층 운행 엘리베이터를 이용하여 이동하는 결과가 나왔다. 선택한 point 사이를 이동할 수 있는 모든 경로 중에서, 이동소요 시간이 최소인 경로를 굵은 line으로

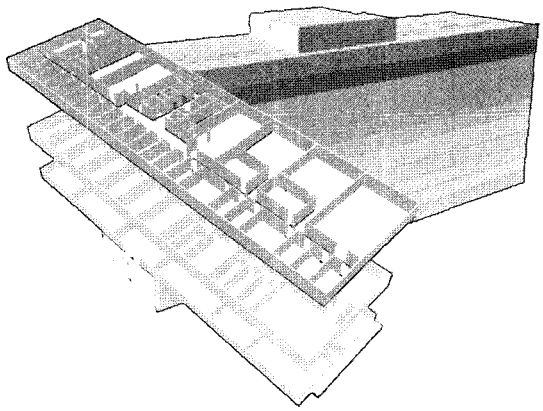

그림 17. 완성된 시각화 모델

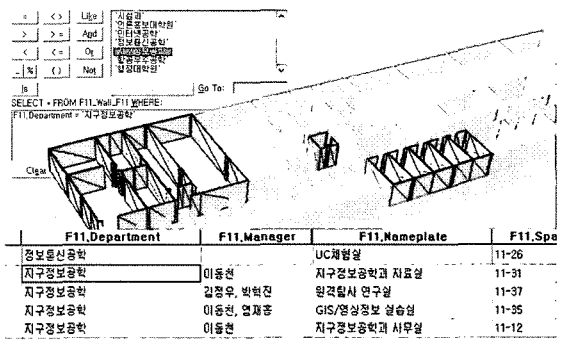

그림 18. 속성 검색으로 선택된 3차원 공간

표현하고 있다.

이와 같은 경로 탐색의 기능은 건물 내부에서의 이동뿐만 아니라, 복합적인 구조의 대규모 건물에서 화재와 같은 비상시에 빠른 대피를 위한 경로분석에 활용할 수 있다. 그리고 네트워크를 구성하는 모든 line feature에 거리와 소요시간에 대한 속성이 입력되어 있으므로, 영향 범위의 분석이나 근접한 시설물의 탐색이 가능하다.

앞의 과정과 같이 건물 내부구조에 대한 3차원 시각화 모델과 네트워크 모델을 생성하였지만 네트워크 모델은 실제적인 3차원 표현은 불가능하여 실제 필요한 3차원 모델을 생성하였다. 탐색된 경로는 그림 21과 그림 22에서 표현된 것과 같이 3차원 건물 내부모델에 표현할 수 있어야 한다.

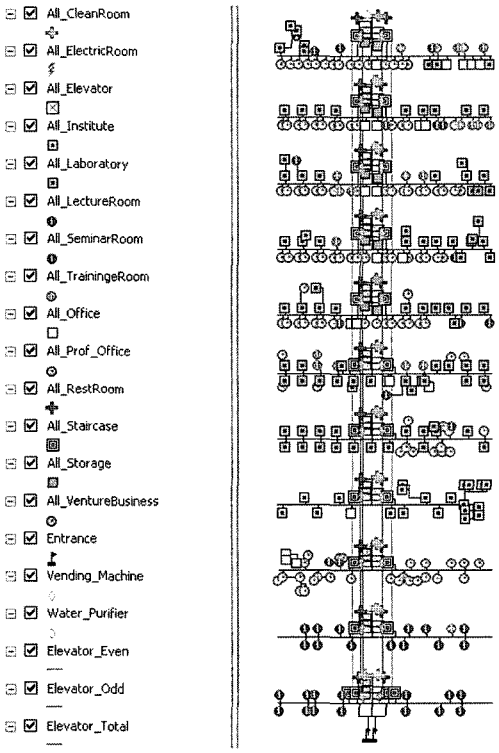

그림 19. 완성된 네트워크 모델

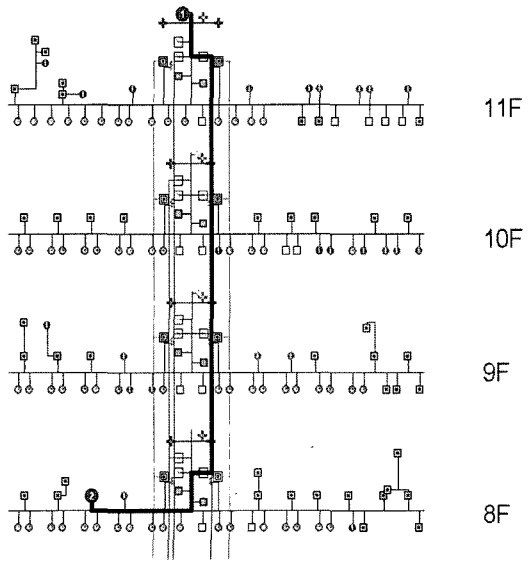

그림 20. 경로탐색의 결과

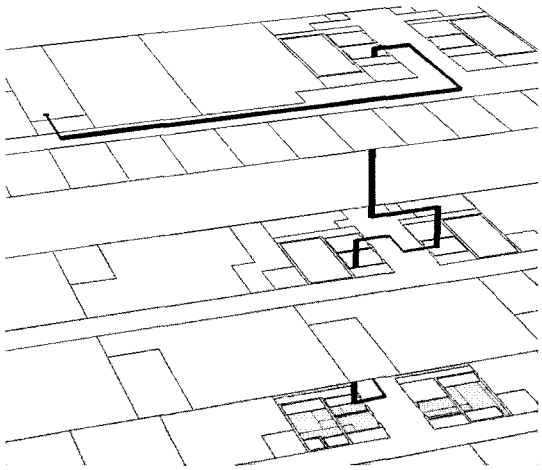

그림 21. 네트워크 모델에서 탐색한 경로의 3차원 시각화

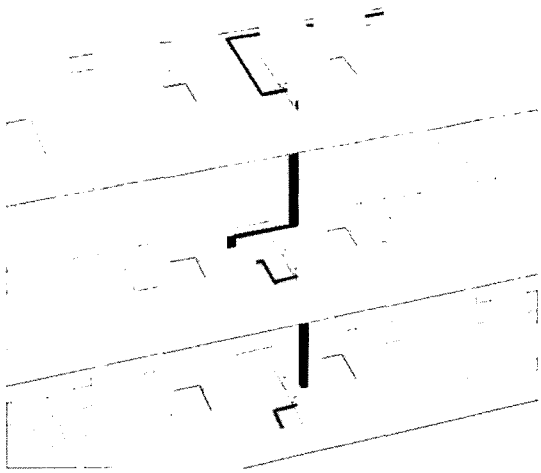

그림 22. 네트워크 모델에서 탐색한 경로를 3차원 건물 내부 모델에서 시각화

5. 결 론

CAD나 컴퓨터그래픽스에서는 주로 시각화를 목적으로 하여 건물을 모델링하므로 공간분석에 필요한 기능면에 있어서는 그 활용성이 적다. 이런 모델의 공간분석적인 기능을 개선하기 위해 CAD 도면을 이용하여 속성정보를 부여한 내부 공간에 대한 GIS 데이터베이스를 구축하였다. 구축된 데이터베이스는 3차원 GIS 공간분석기능을 적용하여 공간적인 질의, 분석이 효과적임을 입증하였다. 또한 구축된 건물의 3차원 GIS 시각화 데이터베이스와 GIS 네트워크 모델을 연계시켜 네트워크 기반의 경로분석과 탐지 기능을 가능케하여 건물 내부에 대한 공간정보의 활용성을 확대시킬 수 있었다.

향후 개선 사항으로는 3차원 건물 내부 모델을 생성하기 위한 CAD 도면 작성의 새로운 기준이 필요하며, 효율적인 모델 생성을 위하여 시각화 과정의 polygon 데이터 생성과정의 자동화가 개발되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부(과제번호 C105B100000105B01 0000120)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

권승준, 한수희, 김용일, 유기윤 (2003), LiDAR 자료를 이용한 도시지역 모델링에 관한 연구, **한국측량학회 03 추계학술발표회 논문집**, pp. 403-409.

손홍규, 최종현, 김의명 (2003), 수치지도와 항공사진을 이용한 시설물 3차원 모델링, **한국측량학회 03 추계학술발표회 논문집**, pp. 303-308.

예철수 (2003), 선소의 추출과 그룹화를 이용한 원격탐사영상에서 건물 지붕의 복원, **대한원격탐사학회**, 19권, 2호, pp. 159-169.

Aronoff, S. (1995), Geographic Information Systems: A Management Perspective, WDL, Ottawa, Canada.

Halla, N., Brenner, C. and Anders, K. (1998), 3D Urban GIS from Laser Altimeter and 2D Map Data, ISPRS Commission III Symposium on Object Recognition and Scene Classification from Multispectral and Multisensor Pixels, Columbus, Ohio, pp. 339-346.

Heuel, S. and Kolbe, T. H. (2001), Building Reconstruction: The Dilemma of Generic Versus Specific Models, Künstliche Intelligenz, No. 3, arenDTaP Verlag, Bremen.

Kolbe, T. H. and Groger, G. (2003), ISPRS Commission IV Joint Workshop on "Challenge in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II" September 8-9, Stuttgart, Germany.

Lee, D. C., Yom, J. H., Kwon, J. H., We, K. J. (2002), 3-Dimensional Building Reconstruction with Airborne LiDAR Data, Korean Journal of Geomatics, Vol. 2, No. 2, pp. 123-130.

Lewis, R. and Sequin, C. (1998), Generation of 3D Building Models from 2D Architectural Plans, Computer-Aided Design, Volume 30, Issue 10, pp. 765-779.

McIntosh, K., Krupnik, A. and Schenk, T. (1999), International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, Part 3W14, La Jolla, CA, 9-11 Nov., pp. 89-94.

Pu, S. and Zlatanova, S. (2005), Evacuation Route Calculation of Inner Buildings, PJM Van Oosterom, S Zlatanova & EM Fendal (Eds.), Geo-information for Diaster Management, Springer Verlag, Heidelberg, pp. 1143-1161.

Rottensteiner, F. and Jansa, J. (2002), Automatic Extraction of Buildings from LiDAR Data and Aerial Images, ISPRS Commission IV Symposium in Ottawa (CAN), International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIV / 4, July, pp. 569-574.

Vosselman, G. and Dijkman, S. (2001), 3D Building Model Reconstruction from Point Clouds and Ground Plans, Internatinal Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part 3/W4, October 22-24, Annapolis, MA, USA, pp. 37-44.

Zeiler M. (1999), Modeling Our World, ESRI PRESS, USA, pp. 128-146.

Zlatanova, M. and Tempfi, P. K. (1996), Building Reconstruction from Aerial Images and Creation of 3D Topologic Data Structure, IAPR TC-7, 2-3 September, Graz, Austria, pp. 259-257.

(접수일 2005. 11. 10, 심사일 2005. 11. 15, 심사완료일 2005. 12. 27)