

연구논문

건물 내부공간의 최적경로 탐색을 위한 3차원 GIS 네트워크 모델링 3D-GIS Network Modeling for Optimal Path Finding in Indoor Spaces

박인혜* · 전철민** · 최윤수***

Park, In Hye · Jun, Chul Min · Choi, Yoon Soo

要 旨

도시의 3차원적인 성장 및 건물의 대형화, 복잡화에 따라 3차원 정보에 대한 요구가 증가하고 있다. 이와 더불어 위치기반안내, 경로탐색 또는 비상탈출 등과 같은 유비쿼터스 컴퓨팅의 기초데이터로서 3차원 GIS의 활용에 대한 관심 또한 증가하고 있다. 반면에 대부분의 3차원 모델링 기술은 건물이나 지형의 시각적인 표현에 초점을 맞추고 있으며 공간분석에서 요구되는 위상구조는 갖고 있지 않다. 본 연구에서는 3차원 모델에 위상구조를 적용하는 방법으로 2차원 GIS와 3차원 모델의 연동을 제시하고자 한다. 3차원 모델의 공간별로 분리된 객체를 상응하는 2차원 GIS 레이어의 피쳐와 데이터베이스의 레코드를 통해 연계하고 이로써 3차원 객체간의 관계를 정의하였다. 또한 2차원과 3차원이 연동된 건물모델의 복도네트워크를 구축하였다. 마지막으로 연동된 3D 모델을 이용하여 건물내부에서 최적 경로분석을 몇 가지 시나리오를 통해 실시하였다.

핵심용어 : 3차원 GIS, 위상구조, 경로탐색, GIS, 3차원 모델, 네트워크

Abstract

3D based information is demanded increasingly as cities grow three dimensionally and buildings become large and complex. The use of 3D GIS is also getting attention as fundamental data for ubiquitous computing applications such as location-based guidance, path finding and emergency escaping. However, most 3D modeling techniques are focused on the visualization of buildings or terrains and do not have topological structures required in spatial analyses. In this paper, we introduce a method to incorporate topological relationship into 3D models by combining 2D GIS layers and 3D model. We divide indoor spaces of a 3D model into discrete objects and then define the relationship with corresponding features in 2D GIS layers through database records. We also show how to construct hallways network in the 2D-3D integrated building model. Finally, we test different cases of route finding situations inside a building such as normal origin-destination path finding and emergency evacuation.

Keywords : 3D GIS, Topology, Path finding, GIS, 3D model, Network

1. 서 론

3차원 GIS 모델은 건축을 비롯하여 도시계획, 환경, 재해관리 등 다양한 분야에서의 활용이 증가하고 있다. 도시의 과밀화로 인해 시간이 지날수록 건물들은 고층화, 대형화되고 복잡한 형태를 이루고 있어 건물 사용자의 평면적인 정보뿐만 아니라 3차원 공간정보에 대한 요구가 증가하고 있다. 그러나 현재까지 연구되어 온 3차원 모델은 주로 건물 외부 시각화를 위한 것으로 단순한 도시모델링에 머물고 있어 3차원 공간분석에 한계가 존재해 왔다.

본 연구에서는 3차원 GIS를 구현하는 방법론을 제시

하고 이를 이용하여 GIS 공간분석 중 하나인 네트워크 분석을 3차원 모델에 적용하는 방법을 제시하고자 한다. 3차원과 2차원 네트워크 모델을 구축하고 두 모델을 연동함으로써 3차원 GIS 네트워크 분석을 가능하도록 하였다.

지하철이나 대형쇼핑몰 등 대규모의 실내공간에서 건물이용자가 현재 위치를 파악하고 원하는 위치까지의 최적의 이동경로를 찾는다면 화재와 같은 재난상황이 발생했을 때 대피경로를 탐색하는 데에 3차원 모델이 적용된다면 보다 현실적인 정보제공이 이루어 질 것이며 정량적인 분석 또한 가능할 것이고 본 연구에 사용된 방법론을 이용m 여러 가지 공간분석에 활용이 가능할 것이다.

2007년 7월 6일 접수, 2007년 8월 16일 채택

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

** 교신저자·정회원·서울시립대학교 공간정보공학과 교수 (cmjun@uos.ac.kr)

*** 정회원·서울시립대학교 공간정보공학과 교수 (choiys@uos.ac.kr)

2. 관련연구

2.1 3차원 GIS관련 연구

최근 3차원 GIS관련 연구를 살펴보면, 몇몇 연구에서는 2차원 상의 분석 내용을 3D-Max와 같은 모델링 도구들을 이용하여 3차원으로 모델링하고 이를 이용하여 시물레이션을 실시하였다(Wang, 2005, Brooks, 2005). 그러나 외형적인 형상에 대한 3차원 시물레이션 기능에 중점을 두고 있기 때문에 기존 GIS에서 제공하는 분석은 어렵다. 또한, 3차원 데이터의 필요성이 점차 증가하고 있지만, 대부분 3차원 관련 소프트웨어들은 단순 3차원 모델링만을 제공하고 있거나 GIS관련 소프트웨어들도 추가 기능 정도를 포함하고 있고 다른 3차원 응용프로그램과의 연계가 미약한 실정이다.

3차원 지적과 관련하여 Stoter는 3차원 지적의 구현방안에 대해 세 가지 개념적 모델로 분류하고 각각의 대안을 제시하고 있다(Stoter, 2006). 3차원 모델과 2차원 지적의 연결방법에 따라 분류한 세 모델을 비교 분석하고 프로토타입을 구현하고 있는데 그림 1은 Full 3D Cadastre 모델의 UML 클래스 다이어그램이다. 점선으로 묶여있는 부분은 지적의 권리관계를 나타낸 것으로 필지와 소유자간 다대다(N:M)관계가 표현되어 있다. 이러한 구조는 2차원 지적에도 표현되어 있는데 3차원 지적으로 확대하기 위해 3차원 공간객체들을 필지에 상속하고 각 객체와 관련된 속성을 데이터베이스에 저장하는 방법을 사용하였다. 이는 속성정보를 이용할 수 있지만 객체 간에 위상관계의 정의가 없기 때문에 공간질이나 분석에 있어서 제한적이다.

이와 같이 기존 3차원 GIS의 대부분은 단순 모델링에 그치거나 분석에 제한적인 결과만을 보이고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 이러한 한계점을 극복하고자 2차원 GIS와 3차원 모델의 연동방법을 제시하고 이에 기반한 3차원 GIS의 구축방법을 제안한다.

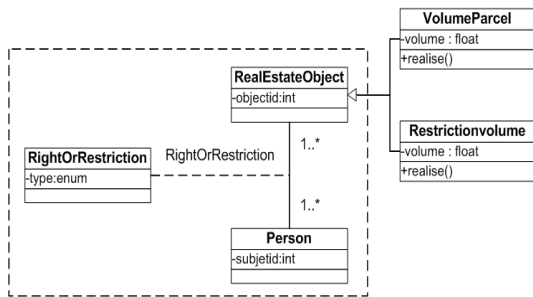


그림 1. 3차원 지적의 UML 클래스 다이어그램

2.2 네트워크 모델링관련 연구

3차원 네트워크 모델링에 관한 연구 중 몇몇 연구는 CAD도면을 이용하여 3차원 모델을 생성하고 수평, 수직적인 요소를 고려한 네트워크 모델링을 제시하고 있다(강정아, 2005). 그러나 CAD기반 데이터를 이용한 3차원 모델은 속성 값의 이용이 어렵거나 네트워크 분석으로 탐색된 이동경로를 실시간으로 3차원 모델에 표현하지 못한다는 한계를 가지고 있다.

최단거리 분석에 관한 연구를 살펴보면 김병화는 래스터 기반의 데이터로 최적경로를 탐색하는 방안을 제시하고 있다(김병화, 2005). 래스터 기반의 분석은 내부공간을 연속적인 면형요소로 변환하여 분석을 실시하기 때문에 자료의 저장과 처리에 효과적이지만 선형기반의 네트워크 분석에 비해 상대적으로 경로탐색이 오래 걸려 시간적인 효율성이 떨어진다.

이에 본 연구에서는 CAD를 이용한 3차원 공간모델링과 더불어 2차원 GIS의 벡터기반의 네트워크 모델과의 연동을 통해 GIS의 기능을 이용하는 방안을 제시하고, 또한 네트워크 분석으로 탐색된 이동경로를 실시간으로 3차원 모델에 표현하는 방안을 제시한다.

3. 2차원 GIS와 3차원 모델의 연동

3.1 2차원 GIS, 3차원 모델, 3차원 GIS

2차원 GIS는 지형요소들이 벡터형태의 점, 선, 면으로 분리되어 있고 각 요소들은 각각 데이터베이스로 연결되어 각 요소들의 속성이 저장되어 있다(그림 2). 또한, 각

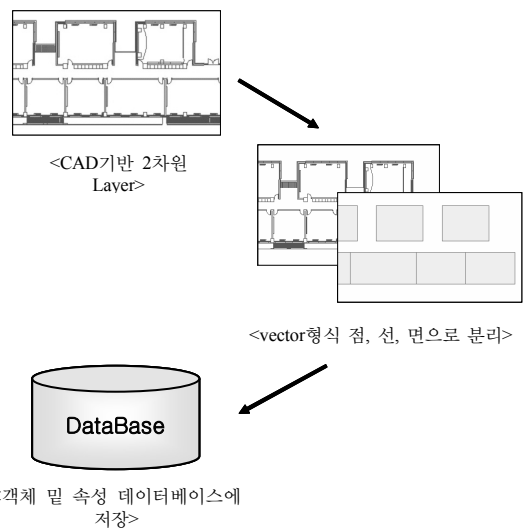


그림 2. 2차원 GIS

요소들은 위상구조기반으로 연결되어 있어 공간질의 및 분석이 가능하다(Zeiler, 1999). 그러나 일반적으로 GIS는 2차원 레이어를 기반으로 하기 때문에 3차원 형상을 표현하기에 부적절하다. 예를 들어 여러 층을 갖는 건물을 나타낼 경우, 2차원 레이어로 표현하면 높이 값을 주어서 2.5차원 형태로 나타낼 수 있지만, 층간 관계 등 공간객체의 구조적 특성을 나타내는 데에는 한계가 있다.

대부분의 3차원 GIS에 사용되어 온 3차원 모델은 주로 3차원의 형상을 나타내는 데에 초점을 맞추고 있기 때문에 공간별 객체화가 이루어져 있지 않다. 객체화가 이루어진 모델이라든가 속성을 저장하는 데이터베이스가 존재하지 않고 공간간의 연계가 정의되어 있지 않다. 따라서 3차원 모델만을 가지고는 공간간의 관계에 기반 한 분석이 어렵다.

본 연구에서는 3차원 GIS를 다음과 같이 정의하고자 한다. 3차원 GIS는 2차원 GIS의 공간질의 및 분석 기능과 3차원 모델의 시각적 기능을 포함하고 있는 GIS모델 즉, 공간별로 객체화 되어있는 3차원(그림 3) 상에서 각 객체간의 연관관계와 속성정보를 이용하여 공간질의 및 분석이 가능한 GIS모델이다.

3.2 연동방법

3차원 GIS를 구현하기 위해서는 전술한 2차원 GIS와 3차원 모델의 특성을 결합하여 각 모델의 한계점을 극복할 수 있는 방법이 필요하다. 그 방법으로 이 둘을 연동하는

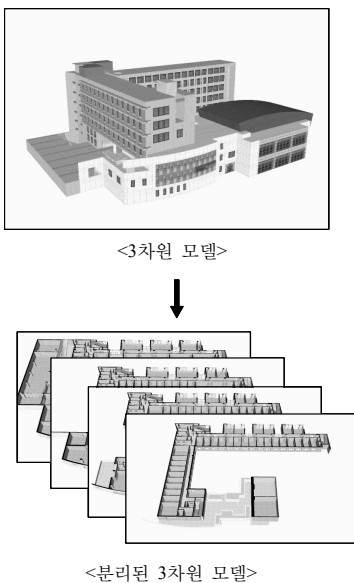


그림 3. 3차원 모델

방법을 생각할 수 있다(그림 4).

2차원 GIS데이터는 2차원 공간의 형상을 보여주는 파일과 공간객체의 속성정보를 저장하고 있는 데이터 테이블을 갖고 있다. 방, 복도 등과 같은 공간별로 객체를 선택 할 수 있고 객체의 속성에 해당하는 데이터테이블의 레코드와 해당 객체가 연결되어 있기 때문에 객체나 속성정보를 이용한 공간적인 분석이 가능하다.

이러한 2차원 GIS데이터와 실제 공간의 형상과 유사하게 모델링되고 공간별로 분리되어있는 3차원 모델을 연동하면 GIS에서의 공간분석기능을 3차원에 적용할 수 있게 되고 시각적으로 현실적인 서비스제공이 가능해 진다. 즉, 3차원 GIS 모델이 되는 것이다. 연동매체로 데이터베이스를 사용하게 되는데 데이터베이스는 좀 더 다양한 정보를 제공하고 관리할 수 있게 해준다.

연동과정을 자세히 살펴보면, 우선 CAD 도면으로부터 2차원 GIS 데이터를 생성하고 같은 공간에 대해 3차원 모델링을 실시한다. 이 때, 3차원 모델은 방, 복도 등 공간별로 분리가 되어 있어야 하고 데이터베이스에 저장되어있는 ID와 동일한 값이 GIS 데이터 상의 공간에 할당된 ID와 3차원 모델의 공간객체에 할당된 ID에도 부여되어 있어야 한다. 이렇게 부여된 ID를 통해 두 모델이 연동된다.

예를 들어 2차원 상에서 공간객체를 선택하면 그 객체에 해당하는 피쳐뿐만 아니라 그 속성도 같이 선택되고 GIS 데이터와 데이터베이스가 연결되어 있기 때문에 해당 레코드도 선택된다. 그리고 데이터베이스와 3차원 모델이 연결되어 있기 때문에 3차원 모델 상에서도 같은 공간에 해당하는 객체가 선택된다. 이렇게 동기화가 되기 때문에 3차원 상에서도 분석이 가능해 진다.

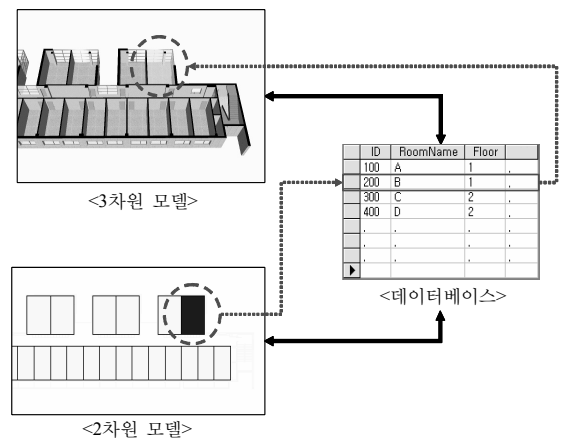


그림 4. 2차원 GIS와 3차원 모델의 연동

4. 적용사례 : 3차원 GIS 네트워크 모델을 이용한 건물 내부공간의 최적경로탐색

본 연구에서는 3차원 GIS 모델의 공간분석에의 응용 가능성을 판단하기 위해 3차원 GIS 모델을 이용한 건물 내부공간의 최적경로 탐색을 실시하였다.

실험대상 건물로 캠퍼스 건물 중 규모가 크고 내부구조가 비교적 복잡하여 본 실험에 적합하다고 판단되는 건물을 선정하였으며 건물의 CAD 도면과 각 실별 현황을 GIS 데이터와 3차원 모델을 생성하는데 이용하였다. 2차원 네트워크 모델과 3차원 모델과의 연동을 통한 3차원 모델에서 최단경로를 분석하는 과정은 그림 5와 같이 요약된다.

4.1 GIS 데이터와 GIS 네트워크 모델 구축

본 연구에서는 건물내부공간의 GIS 데이터를 생성하기 위해 CAD 도면을 이용하였다. CAD는 실제나 가상의 물체를 컴퓨터를 이용하여 설계할 때 사용되며, 도면의 작성과 같은 2차원 모델링에서부터 높이 값을 사용하는 3차원적 모델링까지 적용되고 있다. 건설 분야의 설계에 주로 이용되며 빛과 음향, 소음 등 환경적 요소와 화재 및 지진과 같은 재해·재난 긴급대피 및 구조 등의 효과를 감안한 보다 현실에 가까운 시뮬레이션의 목적으로 3차원 CAD 모델의 사용이 증가하고 있다(강정아 2005). 원시

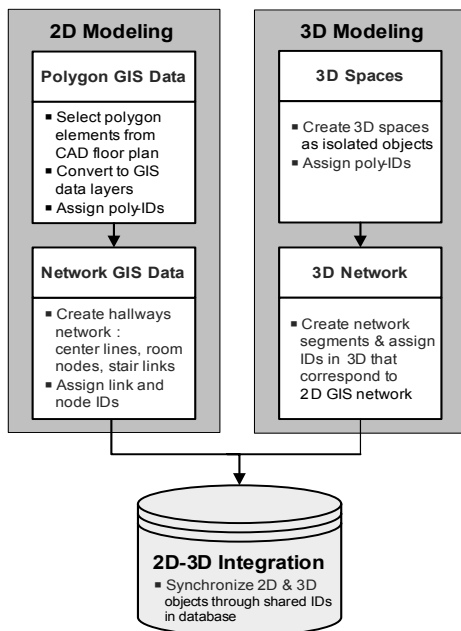


그림 5. 3차원 GIS 네트워크 모델링

CAD 도면은 벽, 기둥, 창호, 엘리베이터, 치수선 등을 표현하는 많은 레이어들로 구성되어 있는데 그 중에서 건물의 골격을 나타내는 기둥과 벽 등의 레이어만을 선택하여 GIS 데이터 포맷으로 변환을 하였다. 건물 내부공간에서의 이동경로는 건물 외부공간과는 달리 일정하게 정해져 있다. 즉 건물 내부공간에서 이용자들은 건축당시 일정하게 구획된 복도나 홀 또는 계단과 엘리베이터 등을 통해서 이동하게 된다. 따라서 건물 내부공간의 네트워크 모델을 구축하는데 있어 이러한 특성을 반영하기 위해 그림 6과 같이 복도의 중심선을 연결하고 복도중심에서 각 실의 입구까지의 이동경로를 생성했으며, 층간이동경로까지 포함하는 2차원 GIS 네트워크 모델을 생성함으로써 내부공간의 모든 이동경로가 연결될 수 있도록 하였다. 2차원 GIS 네트워크 모델은 노드와 링크(로 이루어진 위상관계를 갖게 되는데 최단경로 탐색 시에 거리, 이동시간 등의 속성정보를 이용하여 경로를 탐색하게 된다. 따라서 경로탐색에 필요한 속성필드를 추가하고 값을 입력하였으며 3차원 모델과의 연동을 위해 필드를 생성하고 각 3차원 객체와 상응하는 ID값을 입력하였다.

일반적으로 건물 내부공간에서 현재 자신의 위치를 파악하거나 다른 위치로 이동하고자 할 때에는 자신이 위치한 곳에서 근접한 주요공간의 명칭을 이용하거나 이동할 공간의 속성정보를 근거로 해서 이동하게 된다. 따라서 최단경로 탐색 시에 각 공간들의 명칭이나 고유의 속성 값으로 시·중점을 선택하기 위해 각 공간들을 폴리곤으로 분할하였으며 폴리곤으로 분할된 공간의 정보를 담고 있는 데이터베이스를 구축하였다.

4.2 3차원 모델과 3차원 네트워크 모델 구축

지하철, 대형쇼핑몰 등 대규모의 실내공간에서 건물이용자가 현재 위치를 파악하고 원하는 위치까지의 최적의 이동경로 찾는거나 화재와 같은 재난상황이 발생했을 때 대피경로를 탐색하는데 있어 3차원 모델을 적용하기 위해서 건물의 외형보다는 건물 내부구조의 표현에 중점을 둔 모델링이 필요하다. 이에 본 연구에서는 내부공간의 구조뿐만 아니라 내부의 상황을 파악하기 위한 비상대피

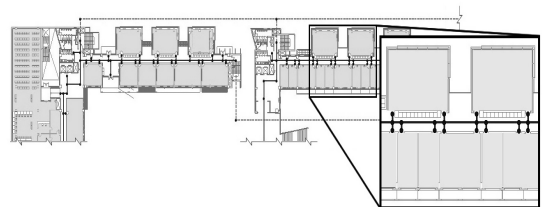


그림 6. 내부공간의 2차원 GIS 네트워크 모델링

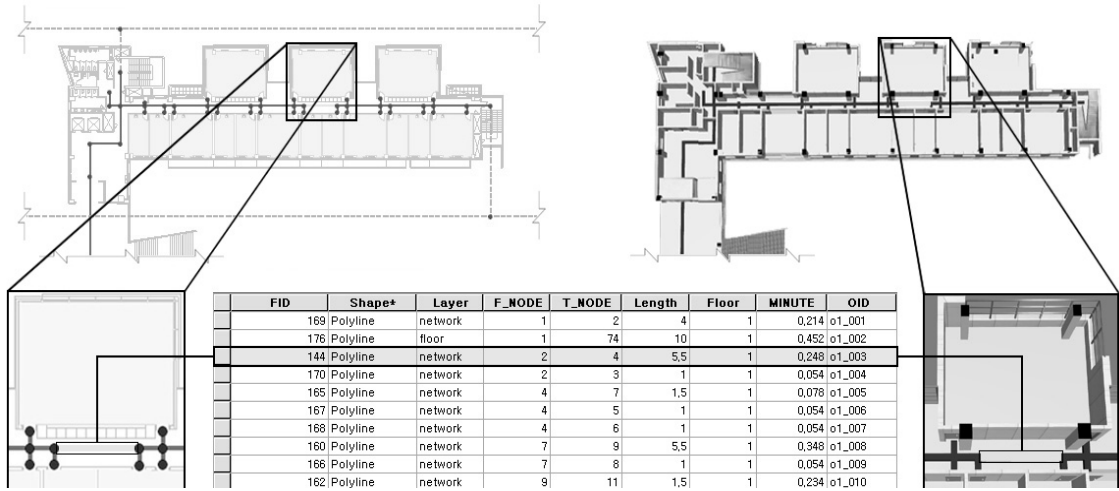


그림 7. 2차원 GIS와 3차원 네트워크모델의 연동

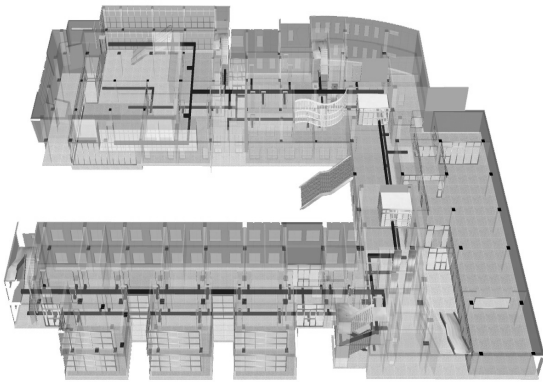


그림 8. 3차원 GIS 네트워크 모델링

로, 건물 내부의 이동 경로 등과 같은 건축물 내부에 대한 시각적 표현을 중점으로 모델링을 실시하였다. 건물의 내부공간은 눈에 보이지 않는 직육면체로 분할하고 그 각각의 공간들을 객체화 하였으며 각 객체가 갖고 있는 개별적인 ID값을 통해 데이터베이스의 속성 값을 표현하여 공간분석이 가능하도록 하였다.

건물 내부공간의 3차원 모델링과 2차원 GIS 네트워크 모델링이 구축된 후 그림 8과 같이 3차원 모델에서의 네트워크 모델링을 실시하였다. 우선 2차원 GIS 네트워크 모델의 링크객체를 각각의 오브젝트로 생성하여 2차원 GIS 네트워크 모델과 동일한 위치 값을 갖도록 3차원 모델에 위치시키고 두 모델간의 연동을 위해 2차원 네트워크 모델을 구성하는 라인레이어의 속성테이블에 필드를 추가하고 각 피쳐에 상응하는 3차원 객체의 ID값을 입력

하였다.

3차원 모델링이 이루어진 후 화면상에 3차원 모델의 원하는 부분을 원하는 위치에 표현하고 네트워크 분석결과를 실시간으로 표현하고 시뮬레이션 하기 위해서는 3차원 모델의 시뮬레이션 도구가 필요한데 본 연구에서는 EON Studio를 사용하였다. EON Studio는 여러 상용 소프트웨어들과 호환이 가능하고 실시간 렌더링 기능을 갖고 있으며 대용량의 3차원 정보를 처리하는데 유리하다.

4.3 2차원 GIS 모델과 3차원 모델의 연동

두 네트워크 모델의 연동을 통해 3차원 모델에서도 네트워크 분석이 가능하도록 하였는데 네트워크 모델에서 경로분석이 이루어지면 네트워크 모델의 특정한 라인피쳐가 분석 결과 값으로 추출된다. 추출된 피쳐와 상응하는 3차원 모델의 오브젝트가 동일한 ID값을 갖는 속성 데이터베이스를 통해 연동이 이루어지게 하고 3차원 모델에서도 추출된 결과 값을 표현할 수 있도록 하였다.

2차원 GIS 네트워크 모델은 피쳐와 속성테이블의 레코드가 일대일의 관계로 연결되어 있지만 3차원 GIS 네트워크 모델은 경로를 나타내는 각각의 오브젝트들을 데이터베이스와 연결하기 위한 별도의 도구가 필요하다. 본 연구에서는 3차원 모델과 데이터베이스를 연결하기 위해 EON Studio를 사용하여 3차원 오브젝트에 상응하는 2차원 오브젝트와 동일한 ID를 부여하였다.

4.4 3차원 Model에서의 최적경로탐색

본 실험에서는 연동된 3차원 모델에서의 최적 경로분석을 몇 가지 시나리오를 통해 실시하였다. 첫 번째 시나

리오는 일반적인 두 지점간의 최단경로를 추출하는 것이고, 두 번째는 화재발생시 가장 가까운 출구까지의 경로를 추출하는 것이다. 이는 화재가 일어났다는 가정 하에 현재의 위치에서 가장 가까운 출구를 찾되 화재지점을 피하는 경로를 산출하도록 하였다.

그림 9는 첫 번째 시나리오의 분석결과를 나타내는 것으로 1층의 한 지점을 출발점으로 입력받고 2층의 한 지점을 도착점으로 입력받아 최단경로탐색을 실시한 결과이다. 출발점과 도착점은 2차원 GIS 또는 3차원 모델 상에서 선택되거나 연동에 사용된 데이터베이스에서 공간질의를 통해 선택된다. 경로계산에는 네트워크 데이터가 사용되었고, Dijkstra 알고리즘을 사용하였다(Dijkstra, 1959). 그림 10은 두 번째 시나리오로서, 2층의 한 지점에서 화재가 발생했다고 가정하였을 때 현재 사람의 위치, 화재발생지점 그리고 건물 내 모든 출구의 위치를 입력받아 화재지점을 피하면서 가장 가까운 출구까지의 경로를 산출한 결과이다.

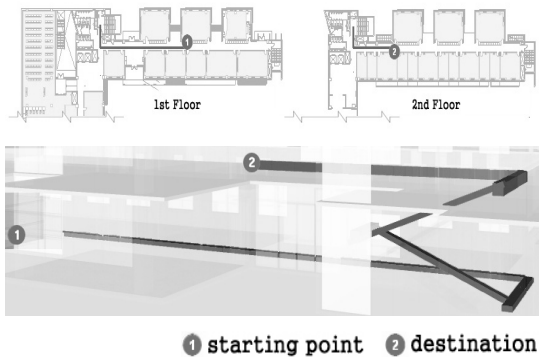


그림 9. 시·종점 입력 시 최단경로

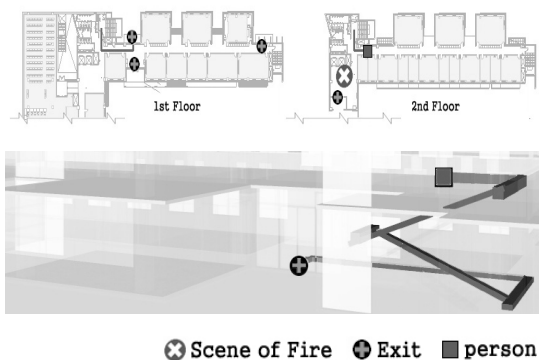


그림 10. 화재발생시 최근접 출구까지의 최단경로

5. 결 론

본 연구에서는 3차원 GIS의 개념을 정립하고 그 활용도를 높이는 차원에서 2차원 GIS와 3차원 모델을 연동하는 방법을 제시하였다. 그리고 연동방법을 기반으로 실제 건물을 이용하여 최적경로탐색시스템을 구현하여 보았다.

2차원 GIS 데이터와 공간별로 개체화 되어있는 3차원 모델을 연동하는 것은 상호 공통적으로 사용이 가능한 데이터베이스를 매개체로 하여 이루어진다. 이 때, 2차원 GIS의 공간질의 및 분석기능을 적용하고, 3차원 모델은 2차원 객체와 같은 ID값을 적용하고 시뮬레이션 시나리오를 작성하여 두 모델을 연동하였다. 이와 같은 방법으로 2차원 네트워크 모델을 3차원 모델로 확장하여 3차원 모델에서 네트워크 기반의 경로분석과 탐지기능을 가능하도록 하였다. 이를 이용하면 건물 내부에 대한 공간정보의 활용성을 확대시킬 수 있을 것이며 3차원 모델에서 공간분석이 가능해 지면 유비쿼터스 기술과 접목되어 위치시반서비스를 통해 대형화되고 복잡해지는 대규모 실내공간에서 보다 현실적인 최적경로안내기능을 할 것이다. 또한 향후 VGIS(Virtual GIS)를 이용하여 관광정보제공, 다양한 3차원 가상도시의 구축, 각종 생활 지리정보서비스, 건설 분야에의 활용을 기대할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 강정아, 염재홍, 이동천, 2005, "CAD도면을 이용한 건축물 내부 공간의 3차원 GIS 네트워크 모델링", *한국측량학회*, 제23권, 4호, pp. 375-384.
2. 김병화, 2005, *건물 내부공간에서의 Raster GIS기반 최적경로 탐색에 관한 연구*, 석사학위논문, 서울시립대학교.
3. Brooks, S. and J. Whalley, 2005, "A 2D/3D hybrid geographical information system", *Proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics and interactive techniques, Australasia and SouthEastAsia*, pp. 323-330.
4. Dijkstra, E. W., 1959, "A note on two problems in connection with graphs, *Numerical Mathematics I*", pp. 269-271.
5. J. Stoter, 2005, "3D Cadastre in an International Context-Legal, Organizational, and Technological Aspects", Taylor & Francis, pp. 215-296.
6. X. Wang, 2005, "Integrating GIS, simulation models, and visualization in traffic impact analysis, *Computers*", *Environment and Urban Systems Volume 29*, pp. 471-496.
7. Zeiler, M., 1999, *Modeling Our World*, ESRI Press.