

수송장비의 실시간 가상 시뮬레이션을 위한 3차원 데이터베이스의 체계적인 구축 프로세스

김보현*

한국생산기술원 지능형생산시스템팀

A Systematic Construction Process of 3D Database for Realtime Virtual Simulation of Transportation Equipments

Bo Hyun Kim

Manufacturing and Information Technology Laboratory, KITECH, Cheonan, 330-825

Recently, virtual reality technologies have been rapidly developed and realtime virtual simulation methods have been extensively employed for several application areas such as game, sports, manufacturing, military, and so on. A 3D database in realtime virtual simulation plays a key role because it makes users feel reality in virtual space. In a application view of 3D database, a systematic construction approach is required to reduce its construction time and increase its quality. However, many researches have been mostly focused on realtime graphic issues and its key technologies. In virtual simulation of transportation equipments, this paper proposes a systematic construction process of 3D database consisting of four stages as follows: 1) determine the activity space of a equipment, 2) collect data related to 3D database construction, 3) make a 3-dimensional modeling strategy, and 4) generate and evaluate a 3D model. This paper also introduces a new procedure of 3D environment modeling, which summarizes and expands our modeling experiences, to be used as a modeling guide.

Keywords: virtual simulation, 3D environment database, modeling strategy, LOD

1. 서론

최근 들어 급속하게 발전하고 있는 가상현실(virtual reality) 기술을 기반으로 하는 가상 시뮬레이션 방법이 게임, 교육, 스포츠, 군사 및 제조업 등의 다양한 분야에서 활발하게 사용되고 있다. 예를 들면, 가상공장(virtual factory) 환경하에서 설비를 배치하면서 생산능력을 평가하거나(최병규, 2002), 디지털 모형(digital mockup)을 이용하여 양산 전에 제품의 설계품질 및 제조가능성을 평가하고 있다(Lin, 1995). 또한 이러한 방법은 각종 장비의 성능시험, 조작 및 숙달훈련 목적으로 활용되고 있는

데, CNC 기계 시뮬레이터나 용접용 로봇 시뮬레이터 등을 이용한 기술교육이 좋은 예라 할 수 있다. 우리 주변에서도 이러한 방법을 쉽게 접할 수 있는데, 시뮬레이터를 이용한 실내 운전교육이나 3차원 게임 등이 가장 대표적인 예인 것 같다.

수송장비 시뮬레이터의 개발에 있어서 중요한 요소 중의 하나는 장비의 활동공간을 3차원으로 디지털화하여 현실감 있게 표현하는 것이다. 대표적인 수송장비인 자동차 운전 시뮬레이션의 경우, 운전석 전면에 위치한 화면에 나타나는 주변 경관의 품질에 따라 운전자가 느끼는 현실감의 정도는 달라진다(<그림 1-a>). <그림 1-b,c>에 나타나 있는 항공기 및 선박 운

*연락처 : 김보현 박사, 330-825 충남 천안시 입장면 홍천리 35-3 한국생산기술연구원 생산정보기술팀, Fax : 041-5898-290, e-mail : bhkim@kitech.re.kr

를 되풀이 하고 있는 실정이다. 신입 인력의 효과적인 활용, 지식의 축적, 생산성 향상 등의 장기적인 측면에서 볼 때, 데이터베이스 구축 업무의 정리 및 프로세스의 체계화는 반드시 필요하다.

지형 모델은 현재 다양한 분야에서 활발하게 사용되고 있으며, 지형 모델링과 관련해서 많은 연구가 수행되었다. 기존 연구의 첫 번째 분야는 지형 모델의 표현에 관한 것으로 센서나 위성으로부터 입수한 데이터로부터 지형 모델을 생성하거나 기하학적인 특성을 고려하여 모델을 매핑하거나 근사화하는 내용(Prakash, 1997; Huber, 1999)으로, 주로 지리학 분야에서 활발하게 연구가 수행되었다. 두 번째 분야는 다해상도 모델 생성과 관련된 모델 단순화(Hebert, 1997; Garland, 2002)에 대한 내용으로, 컴퓨터 그래픽 분야나 CAD/CAM 분야에서 활발하게 연구가 수행되었다. 세 번째 분야는 3차원 모델의 생성에 관한 것으로 디지털 캠퍼스 등과 같은 비교적 좁은 영역의 모델 생성 방법(Mezera, 1997)이나 헬리콥터, 비행기 등과 같은 특정 장비에 적합한 3차원 모델을 생성하는 방법(Miller, 2000; Ryu, 2002)에 관련된 내용이다. 가상현실 및 시뮬레이션 분야에서 이러한 연구가 활발하게 수행되었지만, 대부분이 특정 장비에 적합한 지형 모델을 생성하는 방법을 다루고 있다. 마지막 연구분야는 기존의 기술을 활용해서 3차원 모델을 생성하는 프로세스를 체계화하는 것으로 실제 현업에 적용할 수 있는 응용 분야이다. 전통적인 모델링 방법을 분석하고 디지털 데이터를 이용할 경우의 모델링 프로세스에 대해서 개괄적으로 제안한 연구(Graham, 2001)가 조금 있지만, 활발하게 연구가 진행되지는 않았다. 본 연구는 마지막 연구분야에 해당되는 것으로 3차원 데이터베이스 구축에서 고려할 기술적인 사항을 정리하고, 일반적으로 적용할 수 있는 3차원 데이터베이스 구축 프로세스를 제안한다.

2. 3차원 데이터베이스

<그림 3>에는 수송장비의 가상 활동공간인 3차원 데이터베이스의 구조가 나타나 있는데, 데이터베이스는 N개의 게임영역 모델들로 구성된다. 개별 게임영역의 3차원 모델은 지형 모델과 인공지물 모델로 구성되는데, 자세한 내용은 2.3절에서 다루도록 한다.

<그림 4>에는 거시적인 관점에서 3차원 데이터베이스를 구축하는 절차가 나타나 있는데, 데이터베이스는 네 단계의 프로세스를 거쳐서 완성된다. 첫째 프로세스는 수송장비의 활동

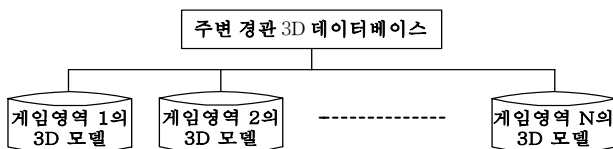


그림 3. 주변 경관 3차원 데이터베이스의 구조.

공간을 설정하는 것으로, 가상 시뮬레이션의 목적에 따라 게임 영역의 개수와 개별 게임영역의 범위를 설정한다. 둘째 프로세스에서는 설정된 게임영역의 3차원 모델링 작업을 수행하는데 필요한 각종 데이터를 수집한다. 셋째 프로세스에서는 3차원 모델링 작업을 수행하는 데 필요한 중요 사항을 결정하는 모델링 전략을 수립한다. 그리고 마지막 프로세스에서는 수립된 전략에 따라 지형 및 인공지물 모델을 생성하고, 생성된 모델을 평가하여 잘못된 부분을 수정 및 보완한다. <그림 4>에 나타나 있듯이, 두 번째에서 네 번째의 프로세스를 반복적으로 수행하면서 N개 게임영역의 3차원 모델을 완성한다.

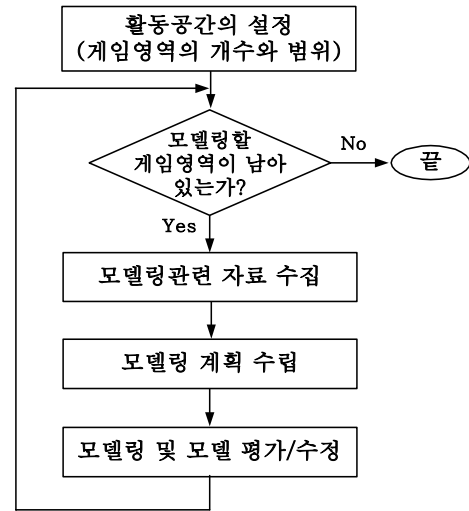


그림 4. 3차원 데이터베이스 구축 프로세스.

2.1 활동공간의 설정

수송장비의 특성에 따라 게임영역의 범위가 결정되고 모델링 작업시 주의할 사항이 달라진다. 자동차 운전 시뮬레이션의 경우에는 도로를 기준으로 게임영역의 범위가 설정되지만, 선박운항 시뮬레이션의 경우에는 대상 항구와 해역을 중심으로 게임영역의 범위가 설정된다. 또한 항공기 운항 시뮬레이션에서는 장비의 가시거리가 비교적 크기 때문에 게임영역이 넓게 설정된다.

게임영역이 설정되면, 다음 사항은 게임영역 내에서 세부적으로 표현되어야 할 지형이나 인공지물을 식별하는 것이다. 여기서 세부적인 표현이 필요한 지형지물이나 인공지물은 수송장비의 특성이나 장비의 이동경로에 따라 달라지는데, 이를 요약하면 다음과 같다.

- 자동차: 도로의 위치, 도로 표지판, 도로 주변의 대형 건물 등
- 선박: 대상 항구의 해안선, 산봉우리의 위치 및 높이, 섬의 위치, 부표 및 등대와 같은 항해 참조 인공지물 등
- 항공기: 산봉우리나 바위 등과 같은 특별한 지형지물, 대형 인공지물 등

2.2 모델링 관련 자료수집

고품질의 3차원 모델을 생성하기 위해서는 좋은 품질의 입력 데이터를 많이 수집해야 한다. 지형 모델과 인공지물 모델로 구성된 3차원 모델의 생성을 위한 입력 데이터로는 지도, 디지털 이미지, 위성 데이터, 사진 등이 있다.

지형 모델을 생성하는 데 사용되는 지도는 지형도와 해도이다. 지형도는 일반적으로 1:25,000, 1:50,000 축척이 많이 사용되지만, 특정 영역을 세밀하게 표현할 경우에는 1:5,000 축척도 이용한다. 육도와 마찬가지로 해도에도 대·중·소 축척이 있으며, 세부적인 표현정도에 따라 적절한 축척의 지도가 사용된다. 지형 모델에서는 위치정보가 매우 중요하기 때문에 사용할 지도의 지리좌표계 정보(원점 및 투영법)는 반드시 확보해야 한다.

디지털 지도는 위치정보가 매우 정확하기 때문에, 이것을 이용하면 지형 모델의 품질을 향상시키고 모델의 생성시간도 단축시킬 수 있게 된다. 디지털 지도는 국토개발이나 GPS (Global Position System) 구축 등의 목적으로 활용되는데, 현재 대부분의 국가에서 집중 투자하여 구축하고 있다. 국내의 경우, 디지털 지형도는 국립지리원(NGI, 2002)에서 구축하고 있으며 전자해도는 국립해양조사원(NORI, 2002)에서 이미 구축하여 제공하고 있다. 특히 소축척의 디지털 지형도는 아직까지 완성되지 않는 지역이 있기 때문에, 모델링에 이용할 경우에는 사전에 미리 존재 여부를 파악해야 한다.

지형 모델링 작업에서 텍스처 이미지를 추출하기 위해서는 대상 지형에 대한 고품질의 이미지 자료의 확보가 필요하다. 전체 지형의 텍스처 이미지를 추출하는 데는 일반적으로 항공촬영 사진을 가장 많이 사용한다. 그렇지만 항공촬영 사진의 수집이 어려운 경우에는 직접 사진 촬영해서 사용하거나, 주변 관공서에서 제작한 소개 책자에 수록된 이미지를 사용하도록 한다.

가상 시뮬레이션이 수행되는 동안에 사용자는 중요 지형지물이나 인공지물은 이정표로 삼아서 장비를 조작한다. 따라서 중요 지물은 좀더 세밀하게 모델링되고 정확한 위치를 유지해야 한다. 이를 위해서는 인공지물의 형상이나 위치가 잘 나타나 있는 조감도나 배치도를 수집하도록 한다. 특히 CAD 데이

터 형태의 배치도나 조감도가 존재하는 경우에는 곧바로 인공지물 모델링 작업에 이용할 수 있다. 지형 모델링과 마찬가지로 인공지물 모델링에서도 텍스처 이미지의 추출을 위해서 사진이나 이미지 관련 자료를 수집하도록 한다.

지금까지 언급한 모델링 관련 자료 이외에도 추가적으로 위성사진, 동영상 자료, 소개 책자 등의 자료를 수집하도록 한다. 위성사진이나 동영상 자료는 지형지물이나 인공지물의 위치를 파악하는 데 이용되거나 텍스처 이미지를 추출하는 데 사용된다.

2.3 모델링 전략수립

여기서는 3차원 모델링 작업에 영향을 미치는 주요 변수를 결정한다. 주요 변수는 기준 원점, 지형 모델의 표현 방식, 모델 관리 방안 및 기타 사항의 네 가지 항목으로 다음과 같이 정리할 수 있다.

(1) 게임영역의 기준 원점

3차원 모델링 작업에서 기준 원점은 게임영역 내의 지형지물이나 인공지물의 위치를 설정하는 기준이다. 기준 원점은 게임영역의 지형적인 특성 및 장비의 이동경로를 고려하여 설정하는데, 일반적으로 세밀한 모델링이 필요한 인공지물이 많은 지점 주변을 기준 원점으로 설정한다.

(2) 지형 모델의 표현 형식

지형 모델의 표현 형식은 게임영역의 지형적인 특성을 고려하여 결정되는데, 모델의 표현 형식에 따라 모델의 생성 절차가 약간 달라진다. 지형 모델을 표현하는 데는 일반적인 곡면 표현 모델이 사용될 수 있지만, 가장 널리 사용되는 표현 형식은 다각형 기반의 TIN (triangle irregular network) 모델과 그리드 기반의 DEM(digital elevation model), DTED(digital terrain elevation model)이 있다. 다각형 기반 모델은 지형의 변화가 심하거나 급경사가 많은 산악지형의 표현에 적합한데 반해 그리드 기반 모델은 비교적 완만한 지형을 전체적으로 표현하는 데 적합하다. 게임영역이 넓은 경우에는 지형의 전체적인 특성을 고려하여 게임영역을 분할한다. 분할된 개별영역은 지형의 특

표 1. 지형표현 모델의 장·단점

| 모델 형식 | 장 점 | 단 점 |
|----------------------|---|---|
| 다각형 기반 모델(TIN) | <ul style="list-style-type: none"> · 변화가 심한 산악지형을 비교적 정확하게 표현할 수 있음. · 경사가 완만한 영역을 표현할 때에는 데이터 량을 감소시킬 수 있음. · 지형의 세밀한 표현에 사용. | <ul style="list-style-type: none"> · 변화가 심한 지형을 표현하는 경우 모델이 커지는 현상. · LOD 적용을 위해서는 모델 단순화 작업을 거침. |
| 그리드 기반 모델(DEM, DTED) | <ul style="list-style-type: none"> · 대략적인 지형형상 표현에 사용. · 모델생성을 정의 방법이 간단함. · 지형크기와 그리드 간격에 의해 데이터 량의 추정치가 가능 | <ul style="list-style-type: none"> · 그리드 사이에 산봉우리 및 절벽이 위치하는 경우 표현이 불가능함. · 정밀한 표현을 위해서는 많은 데이터 량이 필요함. |

성에 따라 두 가지 모델 표현 형식 중에서 선택하여 사용한다 (Mezera, 1997; Graham, 2001). 지금까지 언급한 두 가지 모델 표현 형식의 장·단점에 대한 설명은 <표 1>에 잘 나타나 있다.

(3) 모델 관리 방안

대부분의 실시간 영상 시스템에서는 부드러운 동영상을 제공하기 위해서 컬링(culling), 분할(partitioning), LOD(level of detail), 텍스처 매핑(texture mapping), 은면 제거(hidden surface removal) 등의 여러 가지 그래픽 기법을 사용한다(EON Reality Inc., 2001). 영상 시스템에서 이러한 기법들이 효과적으로 사용되기 위해서 완성된 3차원 모델은 체계적인 구조를 갖추고 있어야 한다.

<그림 5>에 나타난 것처럼, 3차원 모델은 지형 모델과 인공지물 모델로 구분된다. 게임영역이 넓은 경우에는 여러 개의 그룹으로 분할하고, 각 그룹을 다시 여러 개의 작은 범위의 지형으로 분할한다. 분할된 개별 지형은 수송장비의 이동경로를 고려해서 LOD 수준을 결정하고 적합한 다 해상도 모델(multi-resolution model)을 생성한다. 대상 지형의 LOD 수준이 많아질수록 동영상은 더욱 부드럽게 처리될 수 있지만, 그만큼 모델의 생성시간이 길어지게 된다. 경험에 의하면 3~4 수준 이내에서 LOD 수준을 설정하는 것이 별 무리가 없어 보인다. 다해상도 모델에서의 각 단계의 LOD 모델은 여러 개의 객체들로 구성되며, 각 객체는 위상학적인 관계가 고려된 면들의 그룹이다. 지형과 마찬가지로 인공지물도 동일한 형태의 계층적인 구조를 갖도록 한다.

(4) 기타 사항

지형도와 해도를 동시에 사용하는 경우에는 먼저 기준지도를 설정하고, 나머지 지도를 기준지도의 도법과 지리좌표계에 일치시키는 방법을 파악한다. 또한 기준에 구축된 라이브러리를 사용해서 인공지물을 모델링할 수 있는가를 파악한다. 그리고 새로운 인공지물을 모델링하는 경우에 생성된 모델을 라이

브리리화하는 방안도 미리 결정해야 한다.

2.4 3차원 모델링 및 모델의 평가/수정

3차원 모델링 작업에서 디지털 지도가 가용하지 않는 경우에는 우선 종이지도를 스캐닝하고, 상용 소프트웨어를 사용하여 스캐닝된 이미지로부터 디지털라이징 작업을 수행하여 디지털 데이터를 생성한다. 그런데 디지털라이징 작업은 전적으로 작업자의 경험이나 숙련도에 의존하기 때문에 디지털 데이터의 생산성이나 품질이 일관적이지 않다. 따라서 3차원 모델의 생성시간 단축과 품질 향상을 위해서는 디지털 지도를 활용하는 것이 바람직하다.

일차적으로 완성된 3차원 모델은 가상 시뮬레이션 환경에서 로딩하여 이미지의 이상 여부를 점검하고 문제가 있는 부분은 수정한다. 이러한 시험 평가과정에서는 재현되는 영상의 번쩍거림, 영상의 끊김 현상, 지형 이미지의 이상 여부, 지형/인공지물의 형태나 위치, 다해상도 모델의 적용상의 문제 등을 점검한다.

3. 3차원 모델 생성

<그림 6>에는 3차원 모델을 생성하는 절차가 잘 나타나 있다. 앞에서 언급했듯이, 디지털 지도가 가용하지 않는 경우에는 종이지도로부터 디지털라이징 작업을 통하여 벡터 그래픽 형식의 디지털 데이터를 생성한다. 디지털 데이터에는 등고선, 산봉우리, 중요 지형/인공지물의 위치 등의 정보가 저장된다.

디지털 지형도가 가용한 경우에는 지형도에서 3차원 모델링 작업에서 필요하지 않은 정보들은 제거한다. 전자해도는 특별한 데이터 형식을 사용하기 때문에 우선 범용 데이터 형식으로 변환한 다음, 모델링에 불필요한 정보들을 제거한다. 그리고 게임영역을 구성하는 여러 개의 디지털 지도들을 통합하는 일

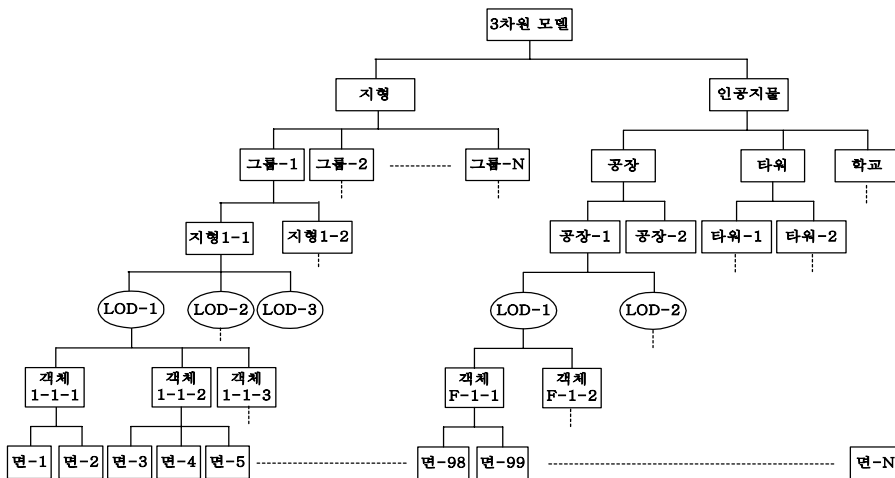


그림 5. 3차원 모델의 구조.

반화(generalization) 과정을 수행한다.

디지털라이징 작업이나 일반화 과정을 거친 디지털 데이터에는 아직도 3차원 모델 생성시 요구되는 것 이상의 복잡하고 정밀한 정보가 포함되어 있다. 따라서 허용오차 범위 내에서 디지털 데이터를 단순화하는 후처리 과정을 거친다. 또한 지형도와 해도가 동시에 사용되는 경우에는 수송장비의 특성에 따라 한 개의 지도를 기준으로 설정하고, 나머지 지도는 변환 및 투영과정을 거쳐서 기준지도의 도법과 지리좌표계에 일치시킨다.

게임영역의 지형적인 특성과 모델링 도구를 고려하여 3차원 모델의 표현 형식을 결정하고, 게임영역이 큰 경우에는 영역을 분할한다. 개개의 분할된 세부영역에 대해서는 서로 다른 LOD 수준의 다해상도 모델을 생성한다. 중요 지형지물이나 인공지물의 형상이 복잡한 경우에는 지형 모델처럼 다해상도 모델을 생성한다. 마지막으로 생성된 3차원 모델은 가상 시뮬레이션 환경에서 재현하면서 모델을 평가하고, 문제점이 발견되면 수정한다.

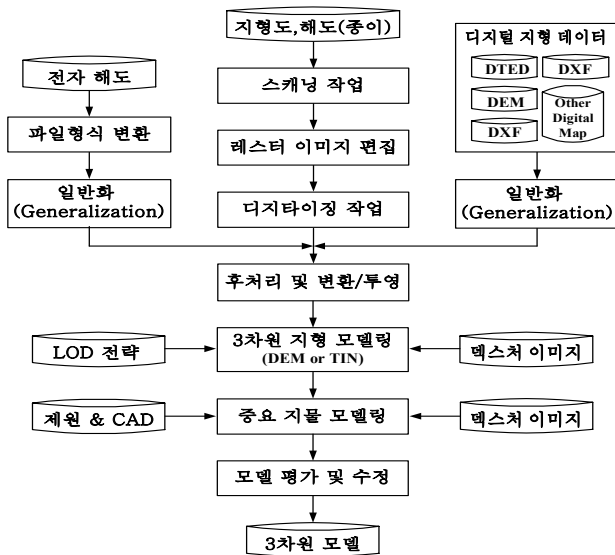


그림 6. 3차원 모델링 절차.

3.1 디지털라이징 작업

디지털 지도가 없는 경우에는 전통적인 방법인 종이지도로부터 디지털 데이터를 생성한다. 우선 스캐너를 사용하여 종이 지도로부터 래스터 이미지(raster image)를 얻는다. 다음은 디지털라이징을 위한 준비작업으로 이동, 회전, 축척변환을 통하여 래스터 이미지를 2차원 상의 xy축에 정렬시키고 일부 잘못된 이미지 부분을 수정한다. 그리고 래스터 이미지의 지도를 게임영역의 지리좌표계에 일치시키기 위해서 변환 및 투영과정을 수행한다.

디지털라이징 작업에서는 래스터 이미지로부터 해안선이나 등고선을 탐색하고, 추가적으로 중요한 산봉우리나 인공지물

의 위치정보를 추출한다. 래스터 이미지로부터 에지를 탐색하는 방법에는 많은 기술적인 이슈들이 있지만, 본 연구에서는 에지를 탐색하는 것이 목적이기 때문에 이러한 기능이 구현된 상용 소프트웨어를 사용하여 에지를 탐색한다. <그림 7>에 나타나 있는 것처럼, 상용 소프트웨어를 사용한다고 할지라도 래스터 이미지는 복잡하고 탐색할 등고선이나 해안선의 패턴이 불규칙하기 때문에 자동으로 에지를 탐색하는 것은 아직까지는 불가능하다. 따라서 사용자는 에지 탐색기능에 사용되는 주요 파라미터 값을 결정하고, 직접 에지를 탐색해야 한다. 즉, 에지를 탐색하는 동안 계속해서 나타나는 분지(branch) 상황에서 에지 탐색의 진행방향을 결정해야 한다. 이러한 이유 때문에 작업자의 경험이나 숙련도가 디지털라이징 작업시간과 탐색된 에지의 품질에 중요한 영향을 미치는 것이다.

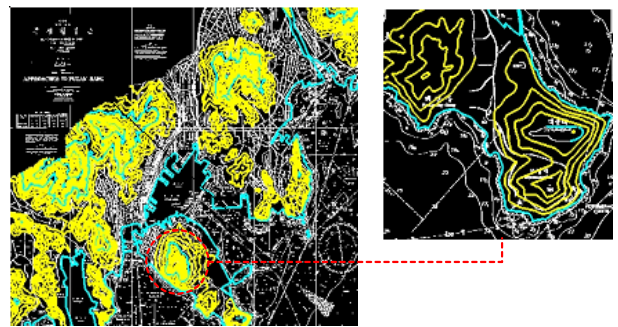


그림 7. 디지털라이징 작업의 예.

3.2 디지털 지도의 일반화

<표 2>에 나타난 것처럼, 국립지리원에서 발간하는 디지털 지도는 여러 개의 레이어 정보로 이루어져 있다. 지형 모델의 생성에는 7번 레이어 정보가 사용되는데, 여기에 대한 자세한 세부 코드는 <표 3>에 잘 나타나 있다. 만약 <표 3>에 나타난 모든 지형 요소를 사용하여 지형 모델을 생성하면 많은 양의 컴퓨터 메모리가 필요하게 되고 후행 프로세스의 수행시간이 길어지게 된다. 또한 지형 모델이 필요 이상으로 커지게 되고, 결과적으로 실시간 영상재현 속도가 떨어지게 된다. 따라서 지형형상에 큰 영향을 미치지 않는 지형요소들은 사전에 제거하도록 한다. 그렇지만 이러한 작업은 등고선정보로부터 대략적으로 3차원 지형을 상상할 수 있는 작업자만이 수행할 수 있다.

중요 인공지물의 정확한 위치정보는 조감도, 배치도나 위성사진으로부터 얻을 수 있다. 그렇지만 이러한 정보가 가용하지 않는 부득이한 경우에는 디지털 지도의 4번 및 6번 레이어 정보를 이용하여 건물, 시설물 등의 대략적인 배치정보를 추출하여 사용한다.

전자해도는 특별한 데이터 저장방식을 가지고 있기 때문에 일반적인 디지털 지형도 데이터 형식과 호환되도록 데이터를 변환해야 한다. 해도에서는 해안선 정보만을 추출하여 사용하는데, 이것은 비교적 방향이 정확하다는 해도의 특성 때문이다.

표 2. 디지털 지도의 레이어 코드

| 레이어 코드 | 내 용 |
|--------|--------------|
| 1 | 철 도 |
| 2 | 하 천 |
| 3 | 도 로 |
| 4 | 건 물 |
| 5 | 지 류 |
| 6 | 시설물 |
| 7 | 지 형 |
| 8 | 행정 및 지역경계 주기 |

표 3. 지형 레이어의 코드

| 코 드 | 내 용 |
|------|-----|
| 7 | 지 형 |
| 71 | 등고선 |
| 711 | 불록지 |
| 7110 | 미분류 |
| 7111 | 주곡선 |
| 7112 | 간곡선 |
| 7113 | 조곡선 |
| 7114 | 계곡선 |
| 712 | 오목지 |
| 7120 | 미분류 |
| 7121 | 주곡선 |
| 7122 | 간곡선 |
| 7123 | 조곡선 |
| 7124 | 계곡선 |

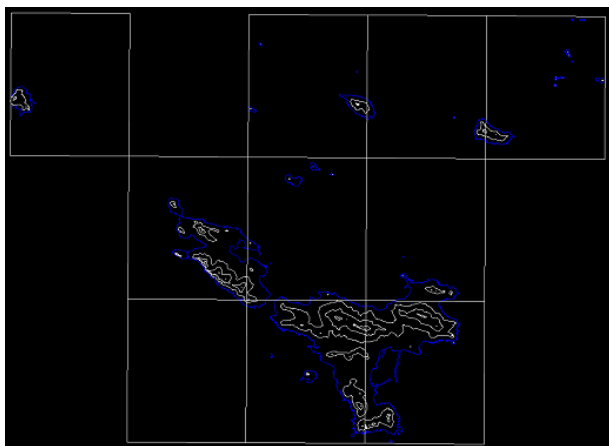


그림 8. 동일한 축척지도의 일반화 예제.

<그림 8>에 나타나 있듯이, 전체 게임영역을 생성하기 위해서는 개개의 디지털이징된 디지털 데이터나 필터링된 지도를 통합하는 일반화 작업이 필요하다. 동일한 축척의 디지털

지도는 경계에서 등고선들이 일치하기 때문에 통합화 작업이 매우 쉽지만, 상이한 축척이나 디지털이징된 디지털 데이터는 경계에서 대부분의 등고선이 어긋나기 때문에 수작업으로 일치시켜야 한다.

3.3 후처리 및 투영/변환

디지털이징 작업이나 일반화 과정을 거친 통합 데이터는 아직 3차원 모델에서 요구하는 것 이상으로 복잡하고 정밀하다. 이러한 통합 데이터를 곧바로 이용하면 필요 이상의 정밀한 지형 모델이 생성되고, 이에 따라 모델의 크기가 커지고 모델의 생성시간도 길어지게 된다. 또한 지형 모델이 크고 복잡하면 실시간의 동영상 재현이 어렵게 된다. 따라서 전체적인 지형적 특성을 유지하면서 지형 모델의 크기를 최소화할 필요가 있으며, 이를 위해서 허용오차 범위 내에서 통합 데이터의 등고선을 단순화 한다.

지구가 완전한 구 형상이 아니기 때문에 지도를 제작할 경우에는 특정 도법을 사용한다. 우리나라의 경우, 지형도는 비교적 면적이 정확한 횡 메카토르(TM: Traverse Mercator) 도법을 사용하고 해도에는 비교적 방향이 정확한 메카토르(M: Mercator) 도법을 사용한다. 지형도와 해도를 같이 사용하여 3차원 모델을 생성하는 경우에는 시물레이션의 특성에 따라 두 개의 지도 중에서 하나를 기준으로 설정하고, 나머지 지도는 변환 및 투영과정을 거쳐서 기준지도의 도법과 지리좌표계에 일치시켜야 한다. 예를 들어, 선박이나 비행기 운항 시물레이션과 같이 위치와 방향이 중요한 경우에는 해도를 기준지도로 사용하고, 지형도를 투영 및 변환하여 해도에 일치시킨다.

3.4 3차원 지형 모델링

여기서는 2.3절의 모델링 전략 수립과정에서 결정된 지형 모델의 표현형식, 게임영역의 분할, LOD 적용에 대한 정보를 바탕으로 3차원 지형 모델을 생성한다. 지형 범위가 큰 경우에는 영역을 분할하고, 각 분할된 영역별로 다각형 기반의 TIN 모델을 생성한다. 모델의 표현형식이 그리드 기반 모델(<그림 9>)인 경우에는 이미 생성된 TIN 모델을 이용하여 생성한다. 즉, 그리드 기반 모델은 2차원 격자 범위, 격자 원점, 격자 간격, 격자 크기를 정의한 다음, TIN 모델로부터 각 격자점에 해당되는 z값의 높이를 계산하면 얻을 수 있다(USGS, 1998).

LOD 수준에 따른 다해상도 모델을 적용하기 위해서는 고해상도의 TIN 모델을 단순화하여 저해상도의 모델을 생성해야 한다. 이러한 모델 단순화(model simplification)의 주안점은 지형의 전체적인 형태를 유지하면서 모델의 크기를 줄이는 것이다. 일반적으로 사용하는 방법은 모델에서 지형의 전체적인 모양에 중요하게 영향을 미치지 않는 꼭지점이나 예지를 제거함으로써 삼각형의 개수를 줄이는 것이다(Heckbert, 1997). 모델 표현형식이 그리드 기반 모델인 경우에는 그리드 격자 간격을 크

게 설정함으로써 저해상도 모델을 생성할 수 있다.

대부분의 영상 시스템은 다각형을 효과적으로 처리할 수 있는 그래픽 하드웨어가 장착되어 있다. 모델 표현형식이 그리드 기반 모델일지라도 실시간 영상재현을 위해서는 다각형 기반의 TIN 모델로 변환한다. 그리드 기반 모델에서 삼각형 생성 규칙만 정의하면 비교적 쉽게 TIN 모델을 얻을 수 있다.

3.5 중요 지형 및 인공지물 모델링

지형지물(바위, 나무 등) 모델링에서는 형상의 특징을 잘 표현할 수 있는 특정한 참조 모델(Muhar, 2001)을 이용하는 데 비해, 인공지물(건물, 다리 등) 모델링에서는 정확한 인공지물의 제원과 위치정보가 요구되기 때문에 가능하면 CAD 데이터나 도면자료를 활용하도록 한다. 일반적으로 중요 지물 모델링에서는 조작성이 쉽고 그래픽 처리가 용이한 다각형 기반 모델이 사용된다. 또한 인공지물이 복잡한 경우에는 지형 모델처럼 LOD 수준에 따른 다해상도 모델을 생성하여 그래픽 부하를 줄이기도 한다.

특정 수송장비의 게임영역들은 대부분 비슷한 형태의 인공지물을 포함하고 있기 때문에 모델 생성의 생산성 향상을 위해서 인공지물 모델을 라이브러리화할 필요가 있다. 기타의 인공지물은 단순한 다각형으로 표현하고 현실감을 갖도록 텍스처 이미지를 사용한다.

3.6 모델 평가 및 수정

3차원 모델링의 마지막 단계는 생성된 모델을 평가하고 문제점이 발견된 부분을 수정하는 것이다. 즉, 가상 시뮬레이션 환경에서 생성된 모델을 로딩한 다음, 카메라의 위치를 자유롭게 변화시키면서 재현되는 실시간 동영상의 품질을 평가한다. 여기서 3차원 모델을 평가하는 주요 항목은 다음과 같이 크게 두 가지로 요약할 수 있다.

○ 3차원 모델의 로딩 시간: 가상 시뮬레이션의 영상 초기화 과정에서 3차원 모델의 로딩 시간이 적절함을 검사한다. 모델의 로딩 시간이 크다는 것은 모델이 크고 복잡하다는 것을 의미하며, 동영상의 실시간 재현을 힘들게 한다.

○ 부드러운 영상 재현: 가상 시뮬레이션에서는 카메라의 위치에 따라 화면에 가시화되는 지형의 범위가 계속해서 변하게 된다. 그렇지만 카메라의 위치에 상관없이 초당 영상 프레임 수가 일정하게 유지되면서 동영상은 부드럽게 재현되어야 한다. 동영상이 끊기거나 번쩍거리는 현상이 발생하면, 현재 재현되고 있는 모델 영역에 문제가 있는 것이다. 대부분의 문제는 해당 부분의 모델이 복잡하거나 LOD 적용 파라미터가 잘못 설정된 경우에서 기인된다.

지금까지 제안한 프로세스를 거쳐서 완성된 최종적인 3차원 모델의 영상이 <그림 10>에 나타나 있다.

4. 결론 및 추후 연구과제

수송장비의 가상 시뮬레이션 시스템을 개발하는 데 있어서 중요한 요소 중의 하나는 주변 경관을 나타내는 3차원 데이터베이스의 구축이다. 즉, 이것은 가상공간에서 사용자가 느끼는 현실감의 정도가 3차원 데이터베이스의 품질에 좌우되고, 3차원 데이터베이스의 구축에 많은 시간이 요구되기 때문이다. 이러한 중요성에도 불구하고, 3차원 데이터베이스 구축 프로세스에 대해서는 활발하게 연구가 수행되지 않았다. 본 연구에서는 3차원 데이터베이스를 효율적으로 구축할 수 있는 체계적인 업무 프로세스를 제안하고, 기존의 요소기술을 활용하여 개별 업무의 수행에 대한 가이드라인을 제공한다.

본 연구에서 제안한 구축 프로세스는 네 단계로 구성되는데, 첫 번째 프로세스에서는 가상공간 상에서의 대상 수송장비의 활동공간인 게임영역의 개수와 범위를 설정한다. 두 번째 프로

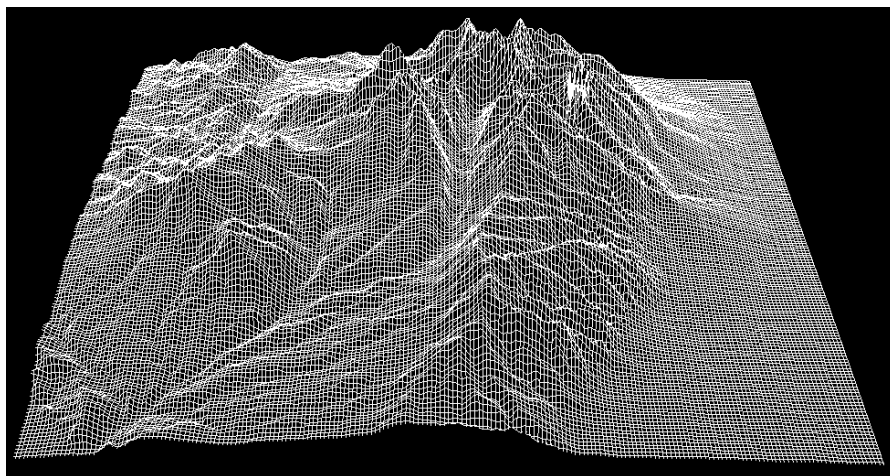


그림 9. 산악지형에 대한 그리드 기반의 DEM 모델 예제.

세스에서는 3차원 모델링의 준비작업으로 모델링에 관련된 자료를 수집한다. 특히 디지털 지도는 모델의 생성시간 단축과 품질에 많은 영향을 미치기 때문에 가능하면 입수해서 활용하도록 한다. 세 번째 프로세스에서는 모델링 작업에 필요한 주요변수들을 결정하고 작업을 구체적으로 계획한다. 그리고 마지막 프로세스에서는 생성된 3차원 모델을 시뮬레이션 시스템에 로딩하여 가시화하면서 모델을 평가하고 수정한다.

제안된 연구는 기존의 기술들을 활용하여 업무를 효과적으로 수행할 수 있도록 프로세스를 체계화한 것이다. 실제로 <그림 10>에 나타나 있는 예제의 모델을 구축하는 데 있어서, 이전에는 두 명이 3주 정도의 작업을 수행해서 완성했는데, 프로세스를 체계화한 후에는 2.5주 정도의 작업으로 완성할 수 있었다. 여기서 작업시간은 주당 40시간을 기준으로 경험적으로 추정된 것이며, 모델링에 필요한 자료를 수집하는 과정은 제외된 것이다. 체계화된 프로세스에서는 기준점 설정, 지리좌표계 변환, 디지털라이징 작업 등에서의 작업자의 반복되는 실수를 방지하기 위해서 작업진행 내용을 자세하게 기록하도록 하였으며, 이에 따라 문서작업을 추가적으로 수행했다. 생성된 모델의 품질은 정량적으로 측정할 수 없지만, 전통적인 방법에서는 육안으로 판단할 수 있을 정도로 경험있는 작업자와 신입 작업자의 품질 차이가 심하게 나타났는데, 프로세스를 체계화한 후에는 품질의 차이가 많이 좁혀졌다. 이것은 프로세스 체계화한 다음에는 모든 프로세스가 끝날 때마다 체크리스트에 나타나

있는 사항을 검사하고 다음 작업을 수행했던 것 때문이다. 전통적인 방법으로 디지털 지형도를 이용하여 모델링 작업을 수행하면서부터, 전체적으로 모델의 품질이 향상되었다. 이것으로부터 경험있는 작업자와 신입 작업자와의 차이가 가장 크게 나타나는 프로세스가 디지털라이징 작업임을 알 수 있다.

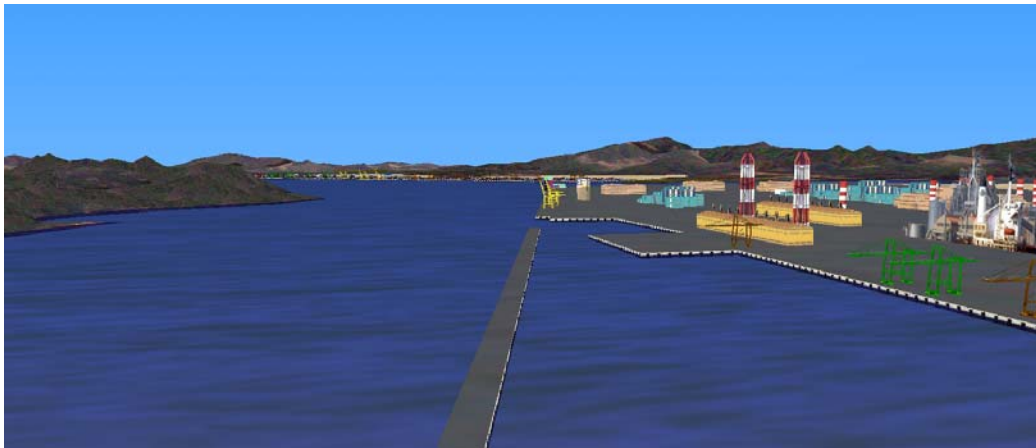
가상환경 및 시뮬레이션 기술이 비약적으로 발전하고 응용분야가 계속적으로 확대되고 있는 최근의 상황을 고려할 때, 적용분야에 적합한 3차원 데이터베이스의 구축방법을 개발하고 프로세스를 체계화할 필요가 있다. 또한 데이터베이스 구축의 생산성 향상과 더불어 업무의 체계적인 관리를 위해서도 계속적으로 연구가 수행되어야 한다고 생각한다.

감사의 글

저자가 해양시스템안전연구소에서 본 연구와 관련된 업무를 수행하는 동안 기술적인 내용에 대해서 토론 및 조언을 해준 이창민 선임연구원과 공인영 박사께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

최병규, 박범철, 류호열. (2002), 가상공장 시뮬레이터, 한국 CAD/CAM



(a) K향의 3차원 모델 전경



(b) G향의 3차원 모델 전경

그림 10. 완성된 3차원 모델의 영상 예제.

- 학회 워크샵 - 전통산업의 IT화를 위한 *e-Manufacturing*, pp.235 ~ 245.
- EON Reality Inc. (2001), Fundamentals of Real Time Graphics, White Paper of EON Reality Inc., USA, www.eonreality.com/products/files/Intro_to_RealttimeGraphics.pdf.
- Evans and Sutherland. (2001), The Simulation World is now Open to Everyone, Simulation Seminar on 3D Realtime Visual & Sensor, Taejon, Korea.
- Garland, Michael and Heckbert, Paul S. (1998), Simplifying Surfaces with Color and Texture using Quadric Error Metrics, IEEE Visualization 98, www-2.cs.cmu.edu/afs/cs/user/garland/www/Papers/quadric2.pdf.
- Graham, L., Dahman, N., and Herman, B. (2001), Enterprise Digital Terrain Modeling, White Paper of Z/I Imaging Co., USA, www.ziimaging.com/News/OtherDocs/edtm.pdf.
- Heckbert, P. S. and Garland. (1997), M., Survey of Polygonal Surface Simplification Algorithm, Technical Report CS Dept., Carnegie Mellon University, USA.
- Huber, D. F. and Hebert M. (1999), A New Approach to 3-D Terrain Modeling, Proceedings of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems (IROS '99), IEEE, pp.1121-1127.
- Lin, E., Minis, I., Nau, D.S. Nau, and Regli, W. C. (1995), Contribution to Virtual Manufacturing Background Research - Phase II, Institute for Systems Research, University of Maryland, USA.
- Mezera, D., Chen J., Chou, C. L., Marsolek, J., and Vonderohe. (1997), A., Primary Spatial Reference Framework Report, Campus Map Project, University of Wisconsin Madison, USA.
- Miller, J. R. (2000), Real-Time Terrain Modeling for Autonomous Helicopter Flight, Ph.D Thesis Proposal, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University
- Muhar, A. (2001), Three-dimensional modeling and visualization of vegetation for landscape simulation, Landscape and Urban Planning, Vol. 54, pp.5 ~ 17.
- National Geography Institute, Homepage of NGI: www.ngi.go.kr, 2002.
- National Oceanographic Research Institute, Homepage of NORI: www.nori.go.kr, 2002.
- Prakash, Edmond C. (1997), Volume Terrain Modeling and Rendering for Visual Flythrough, Technical Report, cvc970415, Center for Visual Computing and Department of Computer Science, SUNY, USA.
- Ryu, B. H. and Han, S. H. (2002), Construction of Real-time Terrain Model for Flight Simulation, Proceedings of Korea Society of CAD/CAM Engineers, pp.267- 274.
- US Geological Survey National Mapping Division, Standards for Digital Elevation Models, National Mapping Program Technical Instructions, USA, 1998.



김보현

전남대학교 산업공학과 학사
 한국과학기술원 산업공학과 석사
 한국과학기술원 산업공학과 박사
 현재: 생산기술연구원 선임연구원
 관심분야: 제조정보시스템, 가상제조시스템
 (VMS), CAD/CAM