

토목시설 지형정보의 4D시스템 구현을 위한 객체속성별 삼각망 구축기술

Composing Technology of Irregular Triangulate Network by Object Attribute in 4D System for Civil Engineering Project

강인석* · 지상복** · 광종민***

Kang, Leen-Seok · Jee, Sang-Bok · Kwak, Joong-Min

요 약

건축시설물의 4D구현과 달리 선형적인 토목시설물의 4D구현시에는 자연지형의 표현을 위한 삼각망 구현기술이 필수적으로 요구된다. 즉, 건축시설물의 4D구현시 3D객체들은 모두 자연적 지형조건과 관계없는 인공적 부재들로 구성되므로 객체속성의 구성이 비교적 용이하다. 반면에 토목시설물은 대부분의 공사에 토공사(Earthwork)가 상당부분을 차지하고 있고, 절성토, 굴착공 등의 토공작업은 인공적 부재가 아닌 자연적 지형으로 구성되어 있으므로 독립적인 3D객체 구성이 용이하지 않다. 4D구현을 위해서는 이러한 토공 작업들 역시 개별 작업(Activity)별로 정해진 일정에 따라 완성상태를 시뮬레이션해야 한다. 이러한 부분을 해결하기 위해서는 자연지형 정보의 3D객체 간편화 기술이 요구되며, 또한 자연지형의 3D객체화를 위해서는 삼각망구축 기술이 필요하게 된다. 본 연구에서는 선형적으로 공사가 진행되는 도로, 철도 등의 토목시설물 공사에서 토공 작업의 4D구현에 요구되는 토공 3D객체 구성을 삼각망 자동구축 방법으로 해결하고 있다. 연구에서는 기존의 삼각망구축방법을 개선한 레이어 속성별 삼각망이 자동 구성되는 방법론을 제안하며, 제안 방법은 4D시스템과의 연계 모듈로 구성하였다.

키워드 : 4D CAD시스템, 불규칙삼각망, 3D객체, 토공작업, 레이어

1. 서 론

구조물의 계획·설계과정에서 준공후의 완성된 형상을 미리 재현하여 표현하는 기법은 조감도라는 형식을 많이 사용하고 있다. 조감도를 통해 완공된 모습을 재현하는 것은 비전문가의 이해를 돕거나 주변 환경과의 조화를 사전에 예측하고, 계획·설계된 내용의 적합성을 판단하는 자료로 활용된다. 그러나 도로시설의 계획·설계과정에서 조감도를 작성하여 활용하는 예는 매우 드물다. 그 이유는 도로 구조물의 형상이 띠(선형) 모양으로 형성되어 있어 현황자료를 전산화하는데 대용량이 필요하고, 1회 작업시 많은 시간과 비용이 소요되지만 그 활용도는 미미하기 때문이다. 특히, 3D형태의 도로시설 정보는 선형계획시 삼각망 등의 3D설계에 소요되는 작업시간 만큼의 적극적인 활용을 할 수 없

는 경우가 많아, 계획단계보다는 설계완료 후에 준공도 형태로 작성하는데 그치고 있다. 기존의 도로설계 프로그램에서도 3차원 설계를 적용하고는 있으나, 이는 단순히 삼각망 또는 그물망(Mesh)으로 표현된 3차원형상이고, 그 라인(Line) 또한 한 가지 레이어(Layer)로 표현되어 면처리(Rendering, 랜더링)를 하더라도 실제형상과는 많은 차이가 있다. 이러한 이유로 컴퓨터 프로그램상에서 면처리에 의한 조감도를 작성할 경우에는 그래픽전문가에 의한 별도의 수작업과 시간이 필요하게 된다.

본 연구에서는 도로계획 및 노선선정단계에서 자연 지형정보에 대해 공사진행과정의 변화 형상을 용이하게 작성할 수 있는 삼각망 자동구축기술을 제안하고 있다. 이를 위하여 기존의 그래픽 소프트웨어를 사용하여 그래픽작업 전 단계인 삼각망구성 단계에서 기존의 단일 삼각망 구성이 아닌, 레이어별로 분리된 삼각망 구성과정을 도입하여 자동화하고 있다. 이로써 별도의 수(手)작업 없이 삼각망구축과 동시에 그래픽작업을 수행할 수 있는 방법론을 제안한다. 제안된 방법론은 4D시스템 적용을 위한 서브 모듈로 개발하여 선형적 토공사가 포함되는 토목시설공사의 4D시스템내 일정별 3D객체생성모듈로 적용하고 있다.

* 종신회원, 경상대학교 공과대학 토목공학과, 공학연구원, 교수

** 정회원, (주) 지오엔티 대표

*** 정회원, 한국과학재단 신진연구자연수과정, 경상대학교, 공학박사

2. 기존 4D시스템대비 토목시설물 4D구현 특성

2.1 자연지형 조건을 고려한 수평적 토목시설물의 4D구현

기존의 건축시설물 4D구현과 달리 선형적인 토목시설물의 4D구현시에는 자연지형의 표현을 위한 삼각망 자동 구현기술이 필수적으로 요구된다. 즉, 건축시설물의 4D구현시 요구되는 3D객체들은 모두 자연적 지형조건과 관계없는 인위적 부재들로 구성되므로, 3D 객체의 구성은 길이, 두께, 면적, 형상 등의 일반적인 속성 정보만으로 표현될 수 있다. 반면에 토목시설물은 대부분의 공중에 토공사(Earthwork)가 상당부분을 차지하고 있고, 절성토, 굴착공 등의 토공작업은 인위적 부재가 아닌 자연적 지형으로 구성되어 있으므로 독립적인 3D 객체 구성이 곤란하다. 4D구현을 위해서는 이러한 토공 작업들 역시 개별 작업(Activity)별로 정해진 일정에 따라 완성상태를 시뮬레이션 해야 함으로, 개별 작업별 절성토의 작업물량 할당 및 할당된 작업물량에 대한 3D객체화가 용이하지 않은 것이다.

현장에서 진행되는 토공작업을 공기에 따라 구분되는 개별 작업 개념으로 구성하면, 깎기 1단, 깎기 2단, ..., 쌓기 1단, 쌓기 2단, ... 등으로 공정구분이 가능하며, 실제 도로나 철도시설 공사 현장에서 사용하고 있는 방법이다. 이때 설계도에 제시된 전체 깎기 및 쌓기 물량에서 공사 일정별로 깎기 1단, 깎기 2단, 쌓기 1단 등을 구분하여 일정별로 완성된 3D객체로 표현하는 것이 토목시설물의 4D구현 방법론에서 매우 어려운 기술 분야 중의 하나인 것이다. 이러한 기술 개발의 곤란함으로 인하여 기존의 4D 시뮬레이션은 모두 자연지형조건에 3D 객체화가 필요하지 않은 건축시설물 또는 플랜트 시설물 위주로 시제품이 개발되고 있다.

이와 같이 토목시설물 4D구현을 위해서는 자연지형 정보의 3D객체 간편화 기술이 요구되며, 자연지형의 3D객체화를 위해서는 삼각망구축 기술이 필요하게 된다. 본 연구에서는 선형적으로 공사가 진행되는 도로, 철도 등의 토목시설물 공사에서 토공 작업의 4D구현에 요구되는 토공 3D객체 구성을 삼각망 자동 구축 방법으로 해결하고 있다.

2.2 토공작업의 삼각망 구축절차

반복적, 수직적으로 진행되는 건축시설물 4D구현과 달리 토목시설물은 비 반복적, 수평적이면서 자연지형과 평행하게 작업이 진행되므로 시설물 인접지형조건에 4D구현기술이 중요 기능이 된다. 이러한 자연지형의 토공작업 3D객체 구성을 위한 삼각망 구축은 그림 1과 같은 절차로 구성된다.

도로공사의 예라면, 그림 1에서 지형삼각망 구성을 위해 우선

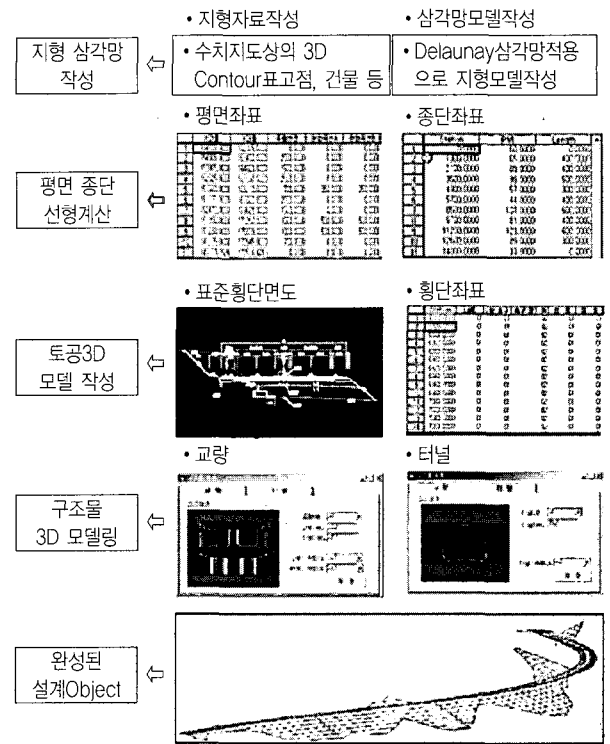


그림 1. 자연지형의 삼각망구성 절차도

적으로 요구되는 정보로는 수치지도상의 3D 등고선도 (Contour), 표고점, 절성토 면적계산을 위한 도로 평면선형 및 절성토 물량계산을 위한 종단선형 설계제원을 들 수 있다. 이러한 기본 정보들과 삼각망 자동구성 프로그램을 이용해 자연 지형조건에 따른 절성토 작업의 3D 객체화가 가능해진다. 그림 1에 나타난 3D객체화 과정을 실제 3D정보들을 적용하여 표현하면 그림 2와 같다.

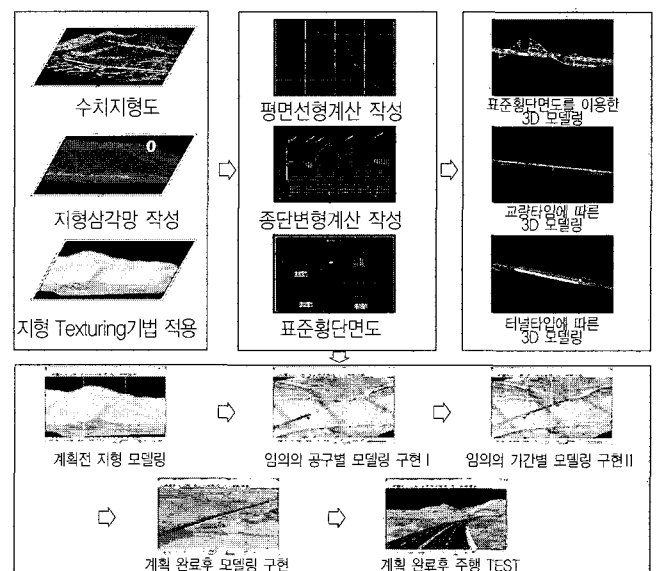


그림 2. 삼각망 지형도 및 3D 객체화

본 연구에서는 그림 2와 같은 알고리즘으로 자연지형의 객체화를 시도하고 있다. 즉, 원지형인 수치지형도(x, y, z)를 이용하여 삼각망을 계산한 후 지형삼각망을 구축하고 계획모델을 작성하기 위해 평면선형과 종단선형제원을 입력한다. 이후 지형모델과 계획모델을 합성하여 3D객체모델을 완성하게 된다. 본 연구에서는 지형삼각망 구축 방법론으로 레이어 속성별 삼각망 구축 방법을 적용하고 있다¹⁾.

3. 레이어 속성별 삼각망구축 방법

3.1 수치지형의 지반고 산출방법

지형상의 임의 지점에서 지반고를 추출하기 위해서는 그림 3과 같은 대표적인 4가지의 방식을 사용하고 있다. 일반적인 수치모형 제작을 위해서는 이러한 4가지의 형태 중 대부분 격자형(Grid) 또는 불규칙 삼각망의 자료구축방법을 따르고 있다.

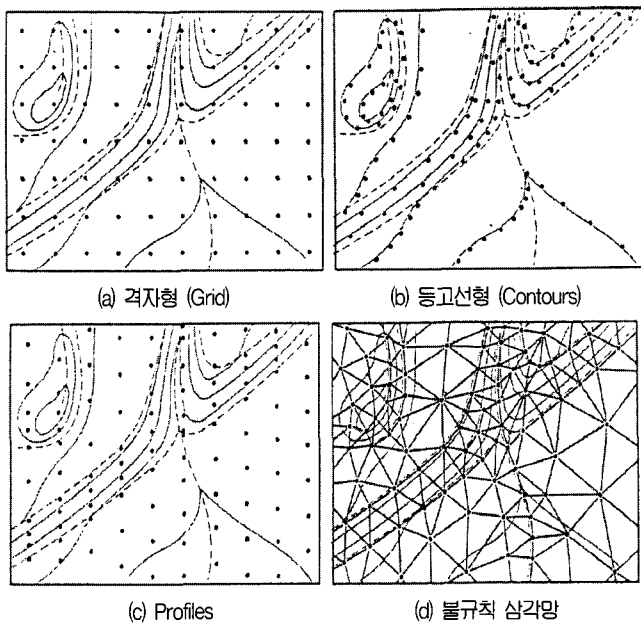


그림 3. 수치표고자료 획득과 저장을 위한 4가지 형태

그림 3에 나타나 있는 임의 지점의 지반 표고값을 산정하기 위한 4가지의 방법론은 다음과 같다.

- a) 격자형: 임의 지점 지형을 나타내기 위해 원 지형을 모두 격자 모양으로 구분한 후, 임의지점의 지반고를 얻기 위해 인접한 격자점의 데이터 (x, y, z 좌표값)를 이용하여 지반고를 산출한다.
- b) 등고선형: 원 지형의 등고선을 따라 구분된 등고점 (x, y, z 좌표값)을 설정한 후, 임의지점의 지반고를 얻기 위해 인접한 등고점을 이용하여 지반고를 산출한다. 이 방법은 격자형과 비교시, 등고선에서 이격되어 있는 지점의 지반고 표현시 부정확한 좌표값을 갖게 된다.

c) Profiles: 격자의 구성을 일괄적으로 구성하지 않고, 도로중심 선상에서 등간격의 수직선상으로 격자를 구성하여, 인접 지형의 지반고를 얻기 위한 데이터로 인식한다. 이 방법은 격자형보다는 정확성을 갖게 되나, 지반고를 얻고자 하는 지점이 격자점에서 이격되어 있을 경우에는 역시 부정확한 데이터를 얻게 된다.

d) 불규칙 삼각망: 지형 등고선상에서 가장 좌표값이 작은 점 (x, y, z 좌표값)을 기준으로 하여 인접 등고선점 중에 x, y, z거리가 가장 가까운 등고선점 두 개를 찾는다. 다음으로 인접 등고선점 중에서 선택된 두개의 점에 연결되는 원을 구성한 후, 반경이 가장 작게 되는 인접 등고선점을 연결한 삼각망을 구성한다. 이러한 방식으로 해당 원지형을 모두 불규칙적인 삼각망으로 표현하는 방법이다. 이와 같이 불규칙삼각망을 구성해 놓으면, 임의 지점의 지반고를 표현할 때는 임의의 점이 포함된 삼각망을 찾은 후, 해당 삼각망의 세 개 점이 갖는 좌표값을 이용하여 지반고를 표현하게 된다. 이러한 방법은 불규칙삼각망을 해당 지역 전체에 상세하게 구성한 후 지반고를 구하므로, 상술한 기타 방법들과 비교시 정확한 지반고 좌표값을 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 토공구간의 지반고 산출을 위해 불규칙삼각망기법을 이용하고 있다.

3.2 레이어 속성별 불규칙삼각망 구축기법

1) 불규칙삼각망의 구성

본 연구에서는 불규칙삼각망을 구성하기 위한 방법론으로 델로니 (Delaunay)삼각망구성 이론^{2,3,4)}을 이용하고 있다. 이 방법에서는 지형정보 파일 (Drawing File)을 선택하여 적절한 구역 설정으로 삼각망 구성을 실행하면, 파일 요소중에 Z (표고)값을 가지고 있는 요소들이 델로니 압축 알고리즘²⁾에 의해 자동으로 삼각망을 구성하는 방법이다.

이러한 지형 삼각망은 계획도로의 중·횡단 지반고 산출에 직접적으로 이용되며, 3차원 계획도로의 합성과 그 이후의 랜더링 및 애니메이션(Animation) 기초 자료로 사용된다. 그림 4는 삼각망 구축과 시각화를 위한 입출력 자료와 프로그램 구성 절차

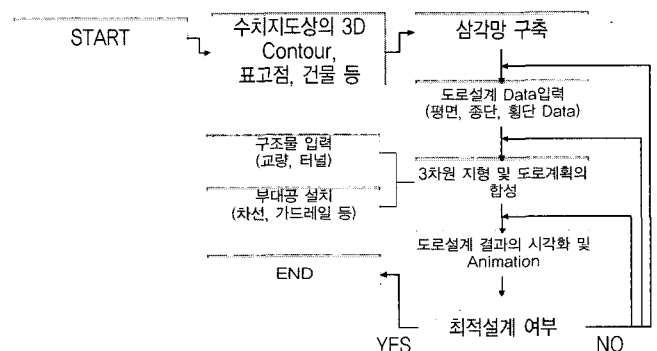


그림 4. 삼각망 구축 및 시각화 프로그램의 흐름도

도를 나타내고 있다.

특히 본 연구에서는 기존의 델로니삼각망 구성방법에서 삼각망의 면처리를 위한 레이어 속성값을 추가로 부여하여 설계부위별 구분된 삼각망을 구성할 수 있는 방법을 제안하고 있다.

2) 기존 델로니삼각망구성의 문제점

델로니삼각망 구성시에 하나의 삼각망은 세 개의 삼각망 꼭지점으로 구성된다 (그림 5에서 P1, P2, P3참조). 이러한 표현방법은 지형상의 삼각망 좌표점 구성에는 문제가 없으나, 좌표이외의 다른 속성값이 없으므로, 모든 삼각망의 모양이 동일한 속성으로 표현되게 된다. 이로 인하여 지형 형상별 또는 설계 부위별로 구분된 삼각망 표현이 불가하여 토공의 경우 성토, 절토 및 구조물부위 등의 구분된 표현이 곤란하게 된다.

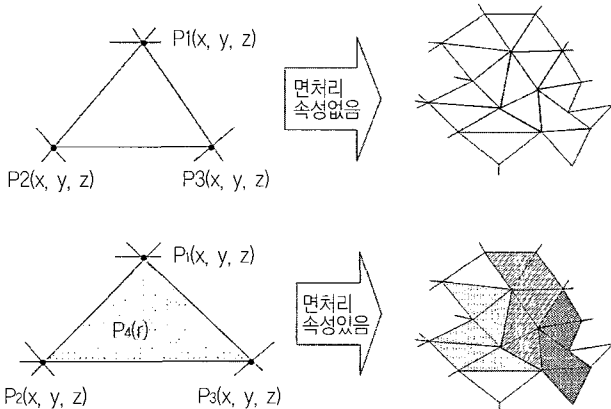


그림 5. 델로니삼각망과 면처리 속성이 추가된 삼각망

이러한 방식에서 삼각망으로 구성된 3차원 객체정보파일을 면처리하기 위해서는 그 파일이 동일 레이어로 형성되었기 때문에, 요소별로 레이어 구분 작업에 많은 시간과 인력을 소모하게 된다. 즉, 콘크리트 구조물, 포장재료, 차선, 성·절토 등 여러 가지 재질을 표현하기 위해서 별도의 프로그램과 그래픽 전문가의 추가 작업이 필요하고, 그 과정에서 실제 계획과 차이가 불가피하게 발생될 우려가 상존하고 있다.

3) 면처리속성이 추가된 델로니삼각망

본 연구에서 제시하는 삼각망구성 방법은 기존의 델로니 삼각망 구성방법에서 사용한 각 좌표값에 삼각망의 면 구성을 위한 별도의 속성 [그림 5에서 P1(x, y, z), P2(x, y, z), P3(x, y, z) 외에 P4(r)에 해당]을 부여하는 방법을 도입하였다.

이를 위해서 수치지도상의 모든 객체들에 고유의 레이어 속성값을 갖도록 삼각망 구성속성을 추가하였다. 레이어는 특정 객체를 그룹화 하여 관리할 수 있는 공간을 제공하고, 다른 프로그램 (그래픽 프로그램 등)에서 직접 이용될 수 있는 도구가 된다.

레이어 속성별 분리된 삼각망 구성은 기존의 단일 삼각망 구성 방법과 비교시 계획성분들이 요소에 따라 레이어 구분을 자동화 시킴으로서 속성변경이라는 추가작업을 감소시킬 수 있다. 이로써 그래픽 전문가가 아니더라도 설계자가 직접 면처리를 해서 노선검토가 가능하므로 자연지형의 독립객체화 작업시 비용·시간 절감이 가능하고 4D시스템에서는 3차원 지형표현기법의 다양화가 가능해 진다.

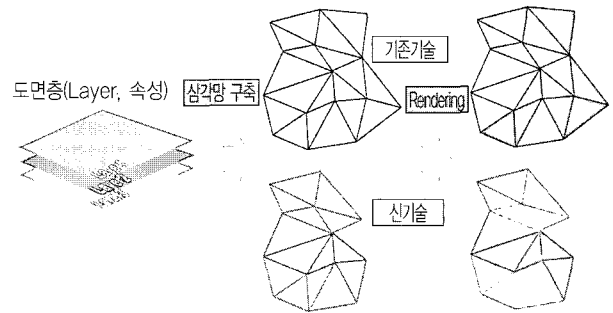


그림 6. 레이어 구분에 의한 삼각망 구축방법 비교

그림 6은 그림 5와 같은 방법으로 객체별 레이어 속성이 없을 때와 있을 때의 완성된 삼각망 구성형태를 표현하고 있다. 동일 레이어 안에 모든 수치정보를 표현할 경우에 삼각망 자체가 단일형태의 모양으로 표현되나, 제안방식에서는 수치정보의 유형별로 레이어를 달리 구성하므로 삼각망의 모양이 색상으로 구분된 다양한 형태로 표현될 수 있음을 보여주고 있다.

특히 이러한 방법은 기존 삼각망기법의 이용시에 토공과 교량, 터널 등의 구조물 객체가 동일한 속성으로 표현되어 설계 객체간 구분이 곤란하였던 점들을 보완하는 방법으로 이용될 수 있다. 즉, 제시된 방법에서는 교량, 터널구간을 토공구간과 분리하여 별도의 속성으로 구분할 수 있으므로, 본 연구에서 적용하는 4D구현시 및 가상현실 활용시 보다 시각화된 객체정보를 제공할 수 있다.

기존에 토공설계시 보편적으로 사용되고 있는 델로니삼각망 구성 방법에서 이러한 별도의 속성개념을 사용하지 못하는 것은 현재 대부분의 삼각망 구성목적이 세부 부위별 지반고산출에 제한적으로 사용되기 때문이다. 또한 일부 가상현실 객체 표현시에 설계부위별 속성을 달리 주기 위해서는 모두 수작업에 의하고 있는 실정이다.

4) 개선된 삼각망구축기법의 4D적용성

4D시스템에서 기존의 삼각망 구성방법에 의한 설계객체의 표현은 그림 7과 같다. 그림 7에 나타나있는 바와 같이 기존 방법은 삼각망이 모두 동일한 속성으로 표현되어 성질토 및 포장객체의 구분이 곤란한 모양을 표현하고 있다.

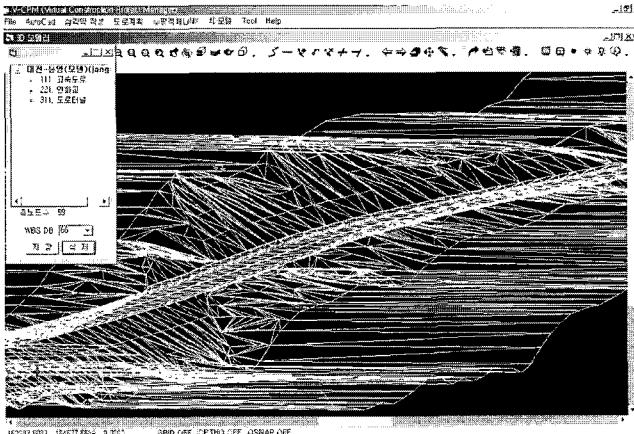


그림 7. 4D구현시 기존 삼각망 구성방법에 의한 지형삼각망 표현 예

본 연구에서 제시하는 보완된 방법에서는 이러한 속성부여를 삼각망구성의 초기단계에 좌표값과 함께 일괄 처리하므로 별도의 수작업없이 설계객체별 시각화된 삼각망 표현이 가능하다. 4D시스템에서와 같이 지역전체의 절토, 성토, 구조물구간 등으로 구분되는 설계부위별 형상을 표현하기 위해서는 부위별 삼각망에 면 속성을 추가하여 시각화할 필요가 있는 것이다. 본 연구에서는 이러한 과정을 초기 삼각망구성이 추가속성부여로 자동화하는 방법을 도입하였으며, 4D시스템에서 설계객체별 별도의 속성으로 표현된 삼각망구성 모양은 그림 8과 같다.

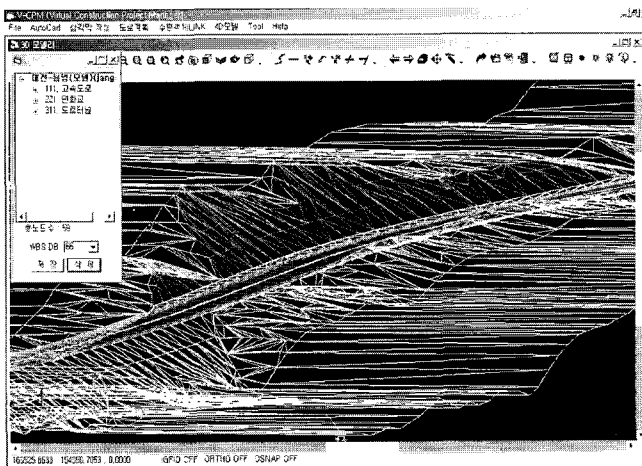


그림 8. 4D구현시 면처리 속성부여에 의한 지형삼각망 표현 예

그림 8에서는 토공구간의 절토, 성토구간이 각각 적색과 황색으로 구분되어 있으며, 원지반의 형태는 녹색모양의 삼각망으로 구성되어 있다. 이러한 지형 삼각망의 구분은 삼각망 구성시 설계객체별 별도의 속성을 부여한 결과로서 표현이 가능한 것이다.

4. 삼각망 구축기술의 4D시스템 연계

4.1 삼각망 3D객체 구성을 위한 4D시스템 DB구성

상술한 바와 같이 도로공사에서 자연지형에 따라 공사가 진행되는 공정현황을 4D시스템에 표현하기 위해서는 토공부위에 따라 면처리를 달리 하는 삼각망 구성이 필요하다. 또한 시설물부위와 지형삼각망을 포함한 3D객체 구성을 위해서는 4D시스템 내에 3D객체 데이터베이스를 구성하여야 한다. 그림 9는 4D시스템내 3D객체 데이터베이스 구성을 위한 DFD (Data Flow Diagram)를 나타내고 있다.

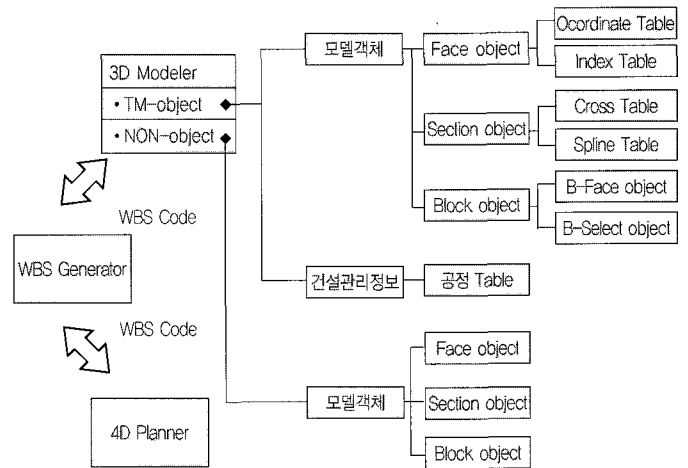


그림 9. 3D객체 구성을 위한 객체 정보의 DFD

토목시설물과 같이 자연지형을 가상현실 객체로 표현하는 4D 시스템에서는 3D객체를 시간에 따라 변화되는 부위와 시간과 관계없는 고정적 부위의 객체로 구분하는 것이 데이터베이스의 구성상 편리성을 갖게 된다. 이에 따라 본 연구에서는 그림 9와 같이 객체 구성형식을 시간과 관계되는 TM-object와 시간과 관계성이 없는 NON-object로 구별하고 있다. TM-object는 작업 공정들과 직접적인 관련이 있는 객체로서 시간에 따라 공정이 진척되는 시간적인 개념을 갖게 된다. 일반 시설물의 부위, 공종 등은 모두 시간에 따라 완성 상태가 변화되는 TM-object가 되고, 이들은 건설관리정보와 연계된 시공순서, 위치, 형태가 있는 객체이다.

TM-object 테이블				
	WBS	공종명	CMORDER	NUM
	11,111,111	노체쌓기	2	0
	11,111,112	노상쌓기	2	1
*			0	0

그림 10. TM-object의 테이블 구성

TM-object의 데이터베이스 테이블은 그림 10과 같이 WBS (Work Breakdown Structure, 작업분류체계), 공종명, CMORDER, NUM필드로 구성이 된다. WBS 필드는 공정 데이터베이스의 WBS 코드와 연계되고, NUM 필드는 데이터의 정

렬을 위해 구성해놓은 키(Key)로 볼 수 있다. 또한 CMORDER 필드는 시공방법을 나타내는 정보로서 시공방법은 수평적 시공과 수직적 시공으로 구분하여, 값이 1인 경우는 Station, 즉 길이별이며 값이 2인 경우는 Grade, 즉 높이별 작업방법으로 구분하고 있다.

반면에 토목시설물의 4D구현시 자연지형 표현을 위한 삼각망 3D객체는 시간과 관련없는 지형 지반고를 나타내는 고정적 객체개념이다. 따라서 시간 관련성을 갖는 기타 부위와 구분될 필요가 있으므로 NON-object로 구분하였고, 이들은 시간(공사일정)과 관계없는 객체들로 구성된다. 이러한 3D객체의 형태별 구분은 기존 4D시스템들이 TM-object 위주의 3D객체로 구성되어 주변지형의 고려가 불가능하였으며, 이로 인해 토목공사의 적용이 곤란하였던 점들을 개선할 수 있다. 본 연구에서는 자연지형 삼각망구성을 위한 NON-object 개념을 구성하기 위해 그림 9에서와 같이 다양한 객체구성기법을 적용하고 있다. 그림 9에서 3D객체들은 다음과 같은 세가지의 세부적 형태로 구분하여 구성을 시도하고 있다.

1) Face Object (면객체)

일반적인 3D모델객체에서 면처리를 위해 사용하는 객체로서, AutoCAD에서도 일반적으로 사용되는 선을 Polyline으로 사용할 때 면처리를 위한 작업에 주로 면객체를 사용한다. 그림 10에서 삼각망은 abd, bcd, dce, def 4개로 구성되며, 각 삼각망은 면으로 구성되므로 면객체의 형태를 갖게 된다.

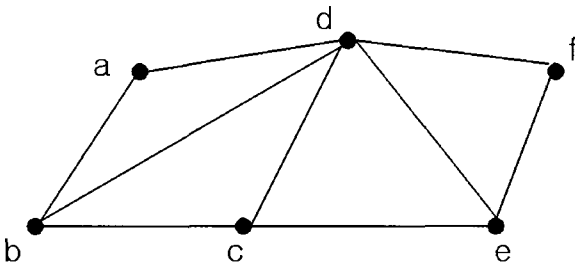


그림 11. Face Object의 삼각망구성

면객체의 데이터베이스 테이블은 Coordinate 테이블과 Index 테이블로 구성된다. Coordinate 테이블은 그림 12(a)와 같이 구성되어 면객체의 좌표를 나타내기 위한 테이블로 사용된다. 그림 12(b)의 Index 테이블은 삼각망 Coordinate 테이블의 Node 번호를 구성하기 위한 PNT1 (Point 1), PNT2, PNT3, PNT4 필드로 구성되어 있다. 여기서 STA 필드는 토목공사의 위치, GRADE는 시공방법을 표현한 것으로 TM-object의 CMORDER 필드 값과 동일한 값을 사용하게 된다.

UGROUND08UD : 테이블					
X	Y	Z	NODE		
219894.4269290	248266.2673461	225	0		
219094.4269290	248306.2673461	250	1		
219894.4269290	248346.2673461	249.2556224041	2		
219934.4269290	248186.2673461	183.9093992241	3		
219934.4269290	248226.2673461	201.0623618371	4		
219934.4269290	248266.2673461	227.4363129945	5		
219934.4269290	248306.2673461	239.1981671426	6		
219934.4269290	248346.2673461	230.5107191598	7		
219934.4269290	248386.2673461	205.5316285668	8		

(a) Coordinate 테이블

INDEX : 테이블								
WBS	PNT1	PNT2	PNT3	PNT4	COLOR	STA	GRADE	NUM
11.111.111	1	2	4	4.06	0	0	1	0
11.111.112	2	3	4	4.06	0	0	1	1
*	0	0	0	0	0	0	0	0

(b) Index 테이블

그림 12. Face Object의 데이터베이스 구성

2) Section Object (단면객체)

단면객체는 단면과 길이로 구성된 객체로 볼 수 있다. 임의 좌표를 이용해 단면이 이루어지고 이 단면에 길이 값을 추가하여 3D형태로 나타내는 것이다. 시간개념을 적용하기 위해서는 단면객체를 사용해야 하며, 시간에 따라 단면은 그대로 두고 길이 값만 변화시키면 된다. 그림 13은 단면객체의 예를 나타내고 있다. 첫 번째는 여러 점들이 하부 단면을 이루고 있고, Scale이 1의 값을 가지고 그 길이만큼 3D형태로 나타나는 것을 알 수 있으며, 두 번째는 Scale이 0인 경우로 하부 단면에 비해 상부 단면 면적비율이 0이 됨을 알 수 있다.

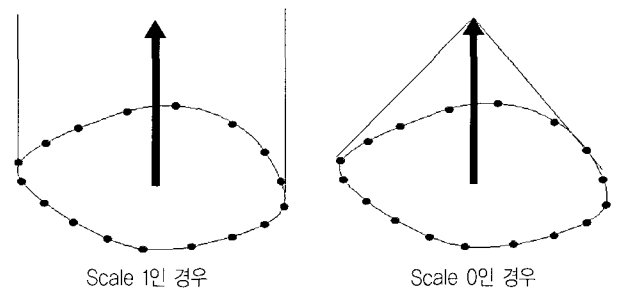


그림 13. Section Object 실행 예

3) Block Object (구역객체)

본 연구에서 구성하는 구역객체는 똑같은 모양이 위치만 변화할 때 해당 객체 구성값에서 좌표값을 제외하고 기타 구성값은 그대로 사용하는 객체들로 정의한다.

BLOCKSET : 테이블									
WBS_A	WBS	X	Y	Z	SCALE	ORI	COLOR	NUM	
221A.231.211	221.231.211	248266	219894	10	1	0	50	0	
221A.231.212	221.231.212	248266	219894	12	0.5	0	50	1	
221A.231.213	221.231.213	248266	219894	14	1	0	50	2	
221A.231.214	221.231.214	248266	219894	16	1	0	50	3	
221A.231.215	221.231.215	248266	219894	18	1	0	50	4	
221A.231.216	221.231.216	248266	219894	20	1	0	50	5	

그림 14. Insert 테이블의 구성

그림 14에서와 같이 구역객체는 반복되는 객체이기 때문에 필드를 WBS_A와 WBS로 구분하였다. WBS 필드는 내장되어 있는 기본 형태이고, WBS_A 필드는 WBS 코드가 프로젝트베이스로 변형되어 정해진 코드를 의미하며, 그 값은 A부터 Z까지 사용이 가능하다. 즉 WBS 코드를 WBS_A 필드에서 복사하여 사용하는 형태가 된다.

연구에서 제시한 3가지 형태의 3D객체 표현방법을 요약하면, 지형정보 구성을 위한 삼각망 표현용 면객체를 별도로 구분하여 구성하였고, 또한 일반 객체 표현을 위해서도 단면과 길이정보로만 표현되는 단면객체 구성, 동일한 모양이나 시설물내 위치가 변동되는 구역객체의 3가지 형태로 3D객체의 표현방식을 유형화 한 것이다. 이러한 방식은 4D시스템내의 모든 3D객체를 단일 형태로 표현할 때 야기되는 인위적 객체표현과 형상에 따른 3D객체 표현의 단순함을 해소할 수 있고, 결과적으로 토목시설 4D시스템의 삼각망 3D객체 구성을 용이하게 할 수 있다.

4.2 자연지형의 3D객체화에 의한 4D구현

선형적으로 작업이 진행되는 도로, 철도 등의 토목시설물은 자연지형의 성도 및 절토 작업이 주요 공정(Activity)으로 구성된다. 따라서 일정별 자연지형의 성절토 진행상태가 3D객체로 표현되어야 하며, 레이어 속성별 삼각망 구축방법은 최소의 입력정보로 자연 지형상태를 3D객체로 표현 가능하도록 하고 있다. 이로써 4D시스템에 필요한 임의 기간별 성절토 물량에 따른 자연지형의 변화 상태를 3D객체화하는 것이 용이해진다.

본 연구에서 구성한 4D시스템은 도면정보를 외부 소프트웨어가 아닌 4D 도구내의 자체 기능으로 생성할 수 있으며, 이때는 내부에 탑재된 그림 15와 같은 3D생성기 기능을 이용하게 된다.

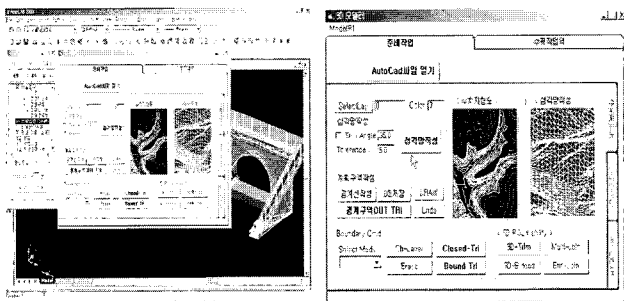


그림 15. 4D시스템의 3D 생성기 메뉴

3D생성기는 4D시스템에서 일정과 연계하기 위한 3D객체를 구성하는 모듈로서, 그림 15의 3D생성기는 주어진 삼각망데이터를 생성시키는 기능화면을 나타내고 있다. 이러한 기능에 의해 지형의 완성된 전체 3D모양은 앞서 언급된 그림 8과 같이 표현된다. 3D생성기의 역할은 4D구현을 위한 도면정보의 자체 생

성기능을 하게 되며, 이러한 자체 생성기능 외에 외부에서 작성된 3D파일을 연동시키는 기능도 가능하다. 그림 16은 삼각망 파일의 생성을 4D시스템에 내장되어 있는 WBS 코드에 따라 구성시키는 과정을 도식화하여 나타내고 있다.

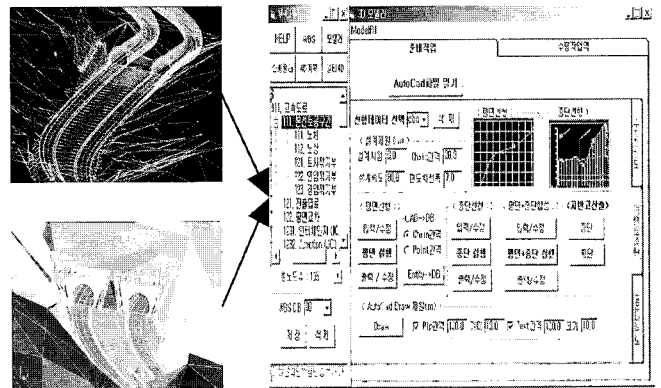


그림 16. WBS코드에 따른 삼각망 지형정보의 생성

그림 17은 4D시스템에서 레이어별 삼각망구성방법에 의해 지형정보를 구성한 예로서, 최초 화면은 도로 횡단폭원 길이를 입력한 상태이며, 둘째, 셋째화면은 삼각망이 4D시스템내에서 자동 생성되는 과정을 나타내고 있다. 4D시스템에 적용되는 자동 삼각망 구성을 위해 본 연구에서는 4D구현시 AutoCAD를 연동시킬 수 있는 모듈을 별도로 개발하여 3D객체 구성이 가능하도록 하였다.

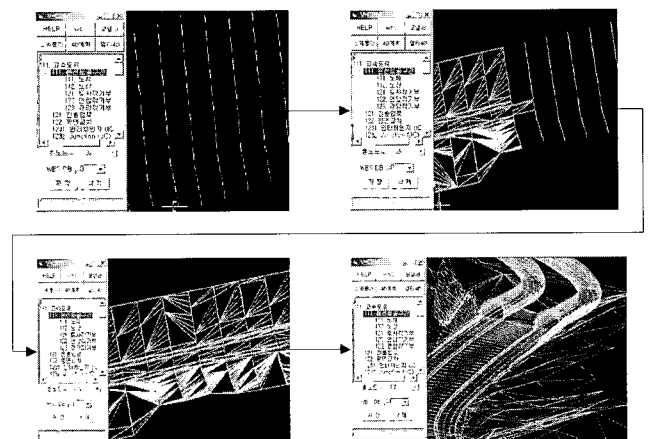


그림 17. 4D시스템의 삼각망 구현

연구에서 시도하는 WBS에 의한 4D정보의 구현은 WBS 코드에 따라 부위별 또는 독립 객체별 4D를 구현하는 방식^{7,8,9}으로서, 토목시설별 표준적 WBS를 내장파일로 구성한 후, 표준 WBS를 기준으로 프로젝트별 WBS를 자체 생성시키는 방법을 시도하고 있다. 이로써 WBS수준별 유형화된 일정 및 3D객체구성이 가능하여 관리수준별로 4D정보의 전개가 가능해진다.

5. 연구결과의 활용전망 및 결론

4D시스템은 공사관계자들에게 기존 공정시스템들이 제공하던 수치적 정보를 시각적 정보로 제공하므로, 공정관리의 효율성을 대폭 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 토목시설물의 이러한 3D 및 4D정보 표현을 위해서 삼각망 구축기술은 필수적 기능이 된다. 본 연구에서 제안하는 레이어별 자동 삼각망 구축 방법은 자연지형의 3D객체 표현을 위한 입력정보와 수정사항을 최소화 할 수 있으며, 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 토목시설물 4D구현에서 작업일정별로 변화되는 자연지형을 표현하기 위한 방법론으로 불규칙삼각망에 의한 지형표현기법을 구성하였다. 특히 4D에 요구되는 3D객체 구성을 시간관련 객체와 시간과 관련없는 객체로 구분하여 3D객체 들을 구성하였으며, 이러한 방법은 4D에서 객체 데이터베이스 구성시 유용한 정보관리기능으로 활용성이 검증되었다.

2. 연구에서 제안한 삼각망 작성방법은 요소별로 구분된 각각의 레이어로 삼각망이 자동 형성되기 때문에 지형조건별 유희화된 그래픽작업을 수행할 수 있으므로, 토공 및 기타 설계부위별로 구분된 시각적 표현이 가능하였다. 이를 위해 연구에서 제시한 삼각망 초기구성시의 면처리 속성부여방법은 4D시스템 시안에 적용한 결과 설계부위별 삼각망 구현절차를 대폭 단순화할 수 있는 것으로 분석되었다. 이러한 레이어별 구분된 삼각망 구축방법은 토목시설물의 4D구현 작업에서 자연지형의 3D 객체화에 유용하게 활용될 수 있다.

3. 연구에서 구성된 삼각망 구축기술은 4D시스템과 연계하기 위한 CAD연계 모듈로 개발하였으며, 4D시스템의 적용을 통하여 기본적인 활용성을 검증하였다. 토목시설물은 일정에 따라 선형적으로 시설이 완성되고, 선형시설에서도 일정에 따라 자연지형이 변화되는 토공사가 주요 공정임을 고려하면, 자연지형의 객체화를 위한 삼각망 구축기술은 토목시설물의 4D시스템 구현에 핵심적 요소기술이 된다. 토목시설물의 4D구현을 위한 이러한 삼각망 구성기술의 연계시도는 국내외적으로 시도된 사례가

없으므로, 본 연구의 결과는 토목시설물의 4D시스템 적용을 활성화할 수 있는 계기가 될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 건설교통부 건설기술연구개발사업 산학연과제에 의하여 수행되었음.

참고문헌

1. David, F. W., A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data, Pregamon, 1993
2. Michael, C. T., Experimentation with Fractals Digital Elevation Models, The University of Calgary, Department of Surveying Engineering, ENSU 500-Survey Project, 1998
3. Agterberg, F. P., Recent Developments in Geomathematics, Geo-Processing, vol. 2, pp.1-32, 1997
4. Terje Midtbo, "Spatial Modeling by Delaunay Networks of Two and Three Dimensions", Dr. Ing. Thesis, Norwegian Institute of Technology, University of Trondheim, 1993, p. 71-80
5. Dirk Bockhorn etc., "Delaunay Triangulation", Seminar Algorithmische Geometrie, Freiburg, 1997, p. 6-10.
6. 유복모, 지형공간정보총론, 동명사, 1994
7. 강인석 외, 공통정보이용 방식에 의한 4D CAD시스템의 공사 정보관리 개선방안 연구, 대한토목학회 논문집, 24권 5D호, 2004, p. 759-765
8. 강인석, 건설관리분야 4D시스템의 기능분석을 통한 활용성 개선방안, 대한건축학회 논문집, 18권 10호, 2202
9. L. S. Kang, Simplified Information Management Methodology to link 2D/3D Objects in 4D System for Civil Engineering Projects, 2004CONVR, Portugal, 2004
10. 강인석 외, 4D 시스템의 3차원 도면정보와 일정정보의 연계 모형구축, 대한토목학회 학술발표논문집, 2003.

Abstract

The 3D objects for representing artificial elements in building projects can be easily organized in 4D system. However, the civil engineering projects need a composing technology of irregular triangulate network because the projects generally include earthwork of large scale that consists of cutting, filling, and excavating work. It is very difficult to represent earthwork status as 3D object type because the earthwork in highway or railway projects is being progressed on the natural geographical features. That is, a composing technology of irregular triangulate network is a necessary function to simulate natural site condition as 3D object in 4D system. This study suggests a new composing technology of irregular triangulate network that 3D objects can be automatically generated by attribute in each layer.

Keywords : 4D CAD System, Irregular Triangulate Network, 3D Object, Earthwork, Layer