

토목공사용 4D 시스템의 효율적인 자연지형 표현을 위한 멀티텍스처링 기법 적용기술 개발

Application Technology of Multi-texturing for Effective Representation of Natural Ground on the 4D System for Civil Engineering Projects

강인석* · 곽중민** ○ · 지상복*** · 김창학**** · 이용수*****

Kang, Leen-Seok · Kwak, Joong-Min · Jee, Sang-Bok · Kim, Chang-Hak · Lee, Yong-Su

요 약

4D-CAD 시스템에 대한 공사관리 도구로서의 활용가능성이 제기되기 시작한 것은 1990년대 후반이후의 일이다. 현재까지 몇몇 4D 시스템들이 개발·적용되고는 있으나, 상용화 및 보편화를 위한 해결되어야 할 다수의 문제점들을 가지고 있다. 특히 자연지형과 계획시설물의 형상을 함께 표현하여야 하는 토목시설물에 대한 4D 시스템 구현에 있어서는 더 많은 해결되어야 할 과제들이 존재하고 있다. 토목시설물에 대한 4D 시스템 구현에 있어서는 주요문제점 중 하나는 계획 시설물의 3차원 형상을 그와 접하고 있는 자연지형과 함께 표현할 수 있는 3D 모델을 생성하는 작업량의 방대성이다. 현재까지 이러한 작업은 대부분 수작업으로 진행되어 왔으나, 본 연구에서는 수치지도로부터 얻어지는 지형삼각망과 계획단면으로부터 생성될 수 있는 계획삼각망을 자동으로 합성할 수 있는 방법론을 제안하며, 더 나아가 양삼각망 간의 합성과정을 생략하고 4D 모델을 구현할 수 있는 방안으로서 VRML의 멀티텍스처링 (multi-texturing) 기법을 적용하는 방법론을 각각 제안하고, 실제 4D 시스템의 구성기능으로서 적용하였다. 이러한 3D 모델 생성의 간편화 기법은 토목시설물에 대한 4D 시스템의 대중화 및 보편화를 위한 핵심기술로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

키워드: 4D 시스템, 3D 모델, 멀티텍스처링, 지형삼각망, 계획삼각망

1. 서 론

3D-CAD 데이터에 해당 프로젝트 공정정보를 연계하여 구현되는 4D-CAD는, 기존의 다이어그램 및 수치정보에 의한 공정관리 방식과 비교 시, 실제 공사가 진행되는 과정을 컴퓨터상에서 가시적으로 확인하고 검토할 수 있다는 장점을 가진다. 이러한 장점은 4D-CAD를 새로운 공정관리 수단으로서 높은 활용 가능성을 가지게 한다. 4D-CAD의 구현을 위해서는 3D 모델을 생성하는 작업과 생성된 3D 모델을 공정정보와 연계시키는 작업이 요구된다. 이 둘 가지 작업은 기존의 각 4D 시스템들마다 몇 가지 상이한 방법들을 적용하고 있으며 (강인석, 2002), 대체로 자동생성의 개념이 아닌 방대한 수작업을 필요로 하는 방법들이 적용되어오고 있다. 이러한 4D 모델 생성을 위한 작업과정들을 얼마나 효율화 간편화 할 수 있는지가 4D CAD

의 대중화 보편화를 위한 관건이 될 것이다. 특히 자연지형과 계획단면에 대한 3D-CAD의 합성 과정이 필요한 토공사 (earth work) 등의 수평적인 작업진행을 포함하는 토목시설물에 대한 4D 모델 구현에 있어서는, 3D 모델 생성 및 합성과정을 간편화 할 수 있는 새로운 방법론의 개발 없이는 해당 시설분야에 대한 4D-CAD의 대중화가 거의 불가능한 실정이다. 기존의 4D-CAD 시스템들이 도로공사 등 토공사를 포함하는 시설공사에 대한 적용을 시도하지 못하였던 주요원인 중 하나가 바로 3D 모델 생성 및 합성과정에서 요구되는 방대한 양의 수작업일 것이다.

본 연구에서는 3D-CAD 모델 구성에 있어서 지형삼각망과 계획삼각망의 합성과정을 자동화하는 방안과 더 나아가 별도의 합성과정을 생략하고 4D 모델을 바로 구현할 수 있는 멀티텍스처링 (multi-texturing) 기법을 적용하는 방안을 구성하여 제안하고자 하였다. 이러한 3D 모델 생성과정의 자동화 및 간편화 기법은 도로시설 등을 포함하는 토목시설물에 대한 4D CAD 시스템의 대중화 보편화를 위한 핵심기술로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 토목공사 4D 구현을 위한 지형삼각망 및 계획삼각망 합성 효율화기법 개발 필요성

* 정회원, 경상대학교 토목공학과/공학연구원 교수, 공학박사
** 정회원, 경상대학교 토목공학과/공학연구원 Post-Doc.(과학재단 신진연구자 연수과정), 공학박사

*** 정회원, (주)지오엔터 대표이사, 공학석사
**** 정회원, 진주산업대학교 토목공학과 교수, 공학박사

***** 정회원, 광주대학교 토목공학과 교수, 공학박사
본 연구는 건설교통부(건설기술평가원) 연구비 지원에 의한 연구결과의 일부임. 과제번호 R&D/2002산학연C01-01

토목공사의 4D-CAD 구현은, 부재 또는 부위 단위로 진행되는 건축 및 플랜트 시설물의 4D와는 달리, 자연지형으로부터 계획 시설물의 최종 완성형태로의 변화과정을 표현할 수 있는 추가적인 4D 구현방법을 필요로 한다. 예로서 도로시설 공사 토공구간의 경우, 원지반으로부터 최종 완성단면으로의 절토 및 성토에 의한 변화과정을 표현할 수 있어야하며, 이에 앞서 계획단면에 대한 3D 모델을 원지반에 대한 3D 모델과 합성하는 과정이 함께 요구된다.

본 논문에서는 시공진행에 따른 변화과정 표현을 위한 구현기법 외에 원지반 및 계획단면에 대한 3D 모델 합성에 대한 기법을 논하고자 한다. 양 3D 모델간의 합성을 위하여 현재까지 시도되었던 방법은 원지반에 대한 지형삼각망을 수치지도로부터 생성하고, 완성하고자 하는 계획삼각망을 작성한 다음, 지형삼각망 위에 계획삼각망을 위치시킨 후, 중복되는 부분의 지형삼각망을 부분적으로 삭제하고 연결부위에 대해서는 각 지점별로 수작업에 의해 삼각망을 연결 구성하는 방법을 사용하여 왔다. 이러한 작업진행과정의 예를 그림으로 설명하면 그림 1과 같다.

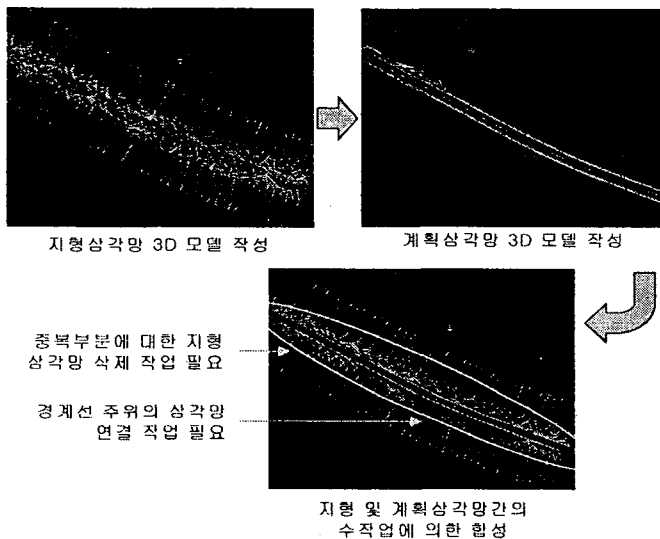


그림 1. 지형삼각망과 계획삼각망의 합성 과정

이러한 작업에 소요되는 시간은 하나의 대형 프로젝트에 대해 대개 수개월이 소요되었던 것이 지금까지의 현실이다. 그러한 방대한 3D 모델링 작업량으로 인하여 대형 프로젝트의 중요 프레젠테이션 등을 위한 경우를 제외하고는 3D 모델 구축 자체에 대한 엄두조차 내기 어려운 상황이었다. 그러므로 도로시설 등의 토목시설물에 대한 4D 시스템 구축·활용이 보편적으로 이루어질 수 있기 위해서는 이러한 방대한 수작업 과정을 자동화하거나 생략할 수 있는 새로운 방법론이 필요한 것이다.

3. 지형삼각망 및 계획삼각망 합성 효율화 기법 개발

3.1 지형삼각망 및 계획삼각망의 합성 자동화

본 연구의 결과가 적용된 4D 시스템인 V-CPM (Virtual Construction Project Manager)에서는 도로공사 등 토목시설물의 4D 구현을 위하여 지형삼각망과 계획삼각망의 합성 과정이 시스템 상에서 자동으로 이루어 질 수 있도록 algorithm을 개발하여 시스템의 구성기능으로 포함하였으며, 그러한 3D 모델의 합성과정을 도식화하면 그림 2와 같다.

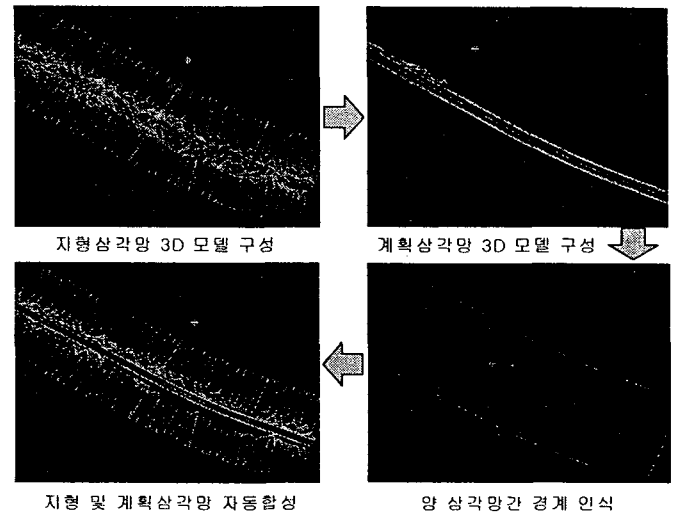


그림 2. 지형삼각망과 계획삼각망의 자동 합성 과정

그림 2는 계획단면으로부터 생성되는 계획삼각망이 지형삼각망 상에서 중복되는 부분의 경계(BN)를 인식하여 지형삼각망의 중복부분을 경계선을 기준으로 제거하고 경계선을 기준으로 양 삼각망 간을 자동으로 연결 합성하는 과정을 보여주고 있다. 경계선을 기준으로 연결부위의 삼각망을 자동 생성하는 알고리즘은 수작업으로 이루어졌던 삼각망 연결작업 시 적용되는 연결 우선순위 등의 작업규칙을 정형화하여 프로그래밍 한 것이다.

이러한 삼각망 합성 작업의 자동화는 기존의 수작업으로 이루어지던 방법과 비교 시, 수십 일이 소요되던 작업을 수분 또는 수십 분(컴퓨터 성능에 따라 다소 차이를 가짐) 이내에 자동 처리할 수 있도록 한 것으로서, 토목시설물에 대한 4D-CAD 구현의 대중화 및 보편화에 대한 주요 문제점을 해결한 것으로 평가될 수 있다.

3.2 Multi-texturing 기법의 4D 시스템 적용 방법론

본 연구에서는 3.1절에서 제시된 삼각망 자동 합성 방법 외에, 합성과정을 생략하고 4D 모델 및 VR (Virtual Reality: 가상현실)을 구현할 수 있는 방법론을 함께 제안한다. 이러한 방법론은 3.1절의 3D 모델 자동합성 방법과는 달리 지형삼각망과 계획삼각망을 합성하지 않고 텍스처링된 두 삼각망이 합성된 것과 같이 보일 수 있도록 함으로써 4D 구현을 위한 작업량을 최소화 할 수 있는 방법이다.

본 연구에서 3D 모델의 합성과정 생략을 위해 적용한

방법은 가상현실 언어인 VRML (Virtual Reality Markup Language)의 X3D Specification (ISO/IEC 19775)에서 제공하고 있는 멀티텍스처링기법이다. 멀티텍스처링의 개념은 그림 3에서 알 수 있다.

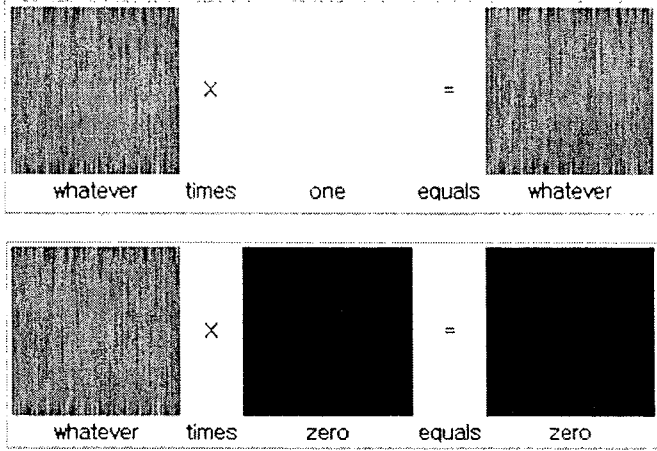


그림 3. Multitexture의 적용 개념 (Bryan McNett, 2004)

멀티텍스처링은 그림 3에서와 같이 질감을 가지는 이미지 (texture map)에 alpha channel을 적용한조명지도 (light map)를 곱하여 (multiply) 조명지도에 의한 그림자가 생성 되도록 하는 기법이다 (Taeyoung Park, 2004). 본 연구에서는 그림 3의 두 번째 예와 같이 zero 값을 가지는 조명 지도를 텍스처링된 지형삼각망에서 제거되어야 할 경계 안쪽부분에 적용하여 텍스처링된 두개의 삼각망을 단순히 겹쳐놓음으로서 하나의 3D 모델과 같이 인식될 수 있도록 하는 방법론을 제안한다. 멀티텍스처링 기법을 적용하지 않은 상태에서 텍스처링된 지형삼각망과 계획삼각망의 3D 모델을 겹쳐놓을 경우에는, 성토가 이루어지는 구간은 멀티텍스처링이 적용된 것과 동일하게 보여질 수 있으나 절토구간은 지형삼각망이 더 위쪽에 위치함으로 인하여 도로계획삼각망 부분이 가려지게 되므로 하나의 합성된 3D 모델로서 인식하게 하는 것은 불가능하다.

상기한 멀티텍스처링 적용 방법론은 특히 계획단면에 해당하는 3D 모델이 동일 4D 시스템이 아닌 별도의 상용 CAD 소프트웨어 (AutoCAD 등)로부터 작성되어 전달되는 경우에 효과적으로 활용될 수 있다. 즉, 해당 지역의 수치 지도 등과 함께 4D 시스템인 'V-CPM'에서 간편하게 4D-CAD를 구현할 수 있는 방법론이 된다. 그러나 멀티텍스처링을 적용하여 4D를 구현하는 방법론은 삼각망을 자동 합성하여 3D 모델을 생성하는 방법과 비교 시, 3D 모델 생성을 위한 삼각망 합성과정 자체를 생략할 수 있다는 장점을 가지기는 하나, 텍스처링이 되지 않은 3D 메쉬 (mesh) 상태에서는 여전히 두개의 3D 모델이 겹쳐지는 등의 단점을 가진다. 또한 개발이 진행중인 'V-CPM' 시스템의 현재 단계에서는 계획삼각망과 지형삼각망의 경계선 부위에서 발생하는 노이즈 제거 등이 해결되어야 할 문제점으로 남아있는 상태이다.

4. 제안 방법론의 4D 시스템 적용사례

4.1 삼각망 자동합성 과정의 4D 시스템 적용사례

본 연구의 결과를 포함하여 구축된 4D 시스템인 'V-CPM' 상에 구현된 삼각망 자동합성 과정에 대한 시스템 화면은 그림 4와 같다.

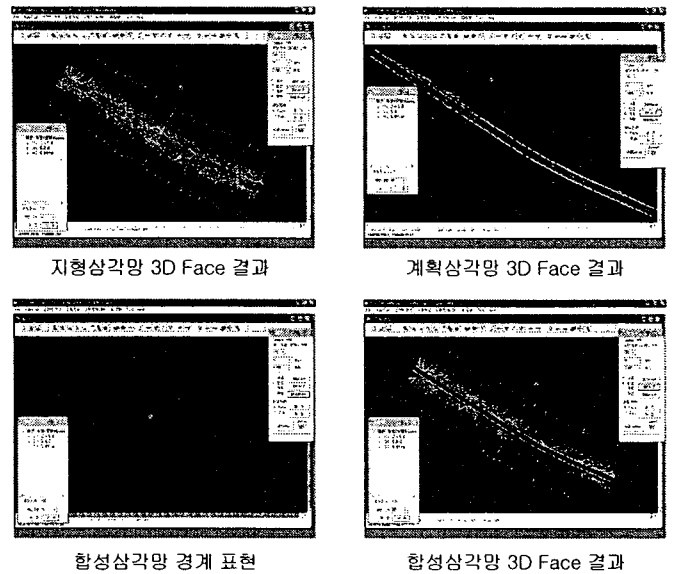


그림 4. V-CPM에 의한 삼각망 자동 합성과정

그림 4는 도로공사의 토공구간에 대한 예로서, 기능설명 의 편의상 1km 구간에 대한 합성과정을 적용한 것이다. 그림의 화면들은 'V-CPM'의 '3D Modeller' 모듈의 기능을 활용하여 합성 3D 모델을 생성하는 과정이다.

4.2 Multi-texturing 기법의 4D시스템 적용사례

'V-CPM'에서는 또한 4D 모델 구성의 간편화를 위하여 3D 삼각망의 합성과정을 생략할 수 있는 방법론으로서 멀티텍스처링 기법을 적용할 수 있는 기능을 구현하였다. 그림 5는 멀티텍스처링 기능이 적용되는 과정에 대한 'V-CPM' 시스템의 구성 화면들이다.

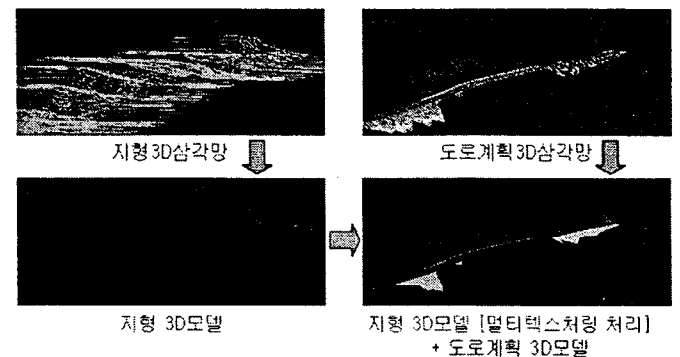


그림 5. V-CPM의 멀티텍스처링 기능 적용 과정

그림 5에서와 같이, 3D 삼각망을 합성하는 과정을 생략하고, 단순히 두 3D 모델을 겹친 후 지형 3D모델에 대해 멀티텍스처링 기법을 적용함으로써 두 3D모델이 합성된 효과를 얻을 수 있다. 그림 6은 그림 5의 과정을 통하여 최종적으로 구성된 합성 3D 모델이다.

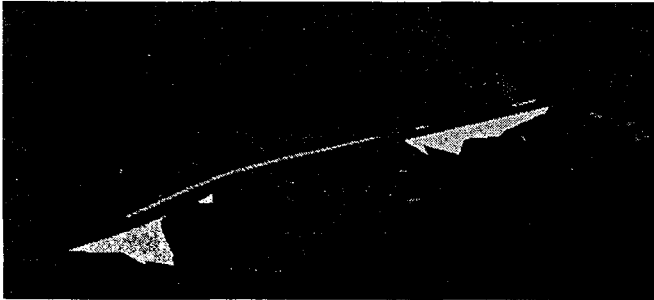


그림 6. V-CPM의 멀티텍스처링 적용 결과 화면

이러한 멀티텍스처링 기법을 적용한 4D 구현은 기존의 방대한 작업량이 요구되던 3D 삼각망의 합성과정 자체를 생략하게 함으로써, 토목시설물에 대한 4D 구현의 대중화 실현을 가능하게 할 수 있는 효율적 기법으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

토목시설물에 대한 4D-CAD 구현의 활성화를 위해서는 3D 모델을 간편하게 생성할 수 있는 방법론 개발과 함께 궁극적으로 최종 4D 모델 생성까지의 모든 작업을 최소화할 수 있는 방법의 개발 적용이 요구된다. 본 연구에서는 도로시설, 철도시설, 단지개발 등의 토목공사 4D 구현과정에서 요구되는 지형삼각망과 계획삼각망의 합성작업을 간편화 할 수 있는 방법과 생략할 수 있는 멀티텍스처링 기법 적용기술을 개발·제안하였고 실제 4D시스템('V-CPM') 상에서 제안된 기술을 활용할 수 있도록 구현하였다. 이러한 3D 모델 합성의 효율화 기술은 지금까지 시도되지 못하였던 토목시설분야 4D-CAD 구현을 가능하게 하고 또한

보편화할 수 있는 핵심기술로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 강인석, "건설관리분야 4D시스템의 기능분석을 통한 활용성 개선방안", 대한건축학회논문집 구조계 18권 10호, 2002, pp. 85-92.
2. Bryan McNett, "Multitexture and the Quake 3 graphics engine", <http://www.bigpanda.com/trinity/article1.html>, 2004.
3. Taeyoung Park(translator), "Information technology - Computer graphics and image processing - Extensible 3D (X3D) - Part 1: Architecture and base components (ISO/IEC FCD 19775-1:200x)", http://eunhu.hihome.com/x3d_19775/Part01/components/exturing.html, 2004.

Abstract

4D system has applied to construction project as a management tool after the late 1990's. Various 4D systems have been developed, however they have some problems that should be improved. Especially, the 4D system for civil engineering project needs synthesized 3D model between natural ground condition and physical facility type. It is a different problem comparing with the system for building project. This study suggests an automatically synthesizing methodology between ground triangulate network and design triangulate network. Furthermore the study develops an application methodology of multi-texturing technique defined in virtual reality modeling language (VRML) for skipping the 3D model synthesizing process from the 4D model development processes. The suggested methodology is applied to the prototype of real 4D system. The proposed technique for 3D modeling may be used as an essential methodology for developing 4D system for civil engineering projects.

Keywords : 4D System, 3D Model, Multi-texturing, Ground Triangulate Network, Design Triangulate Network
