



3D 구조 표현에 기반한 전통건축물의 디지털 복원 및 활용 기술¹⁾

목 차

1. 서 론
2. 구조기반 디지털 건축물 시스템의 설계
3. 디지털 건축물의 구조기반 모델링
4. 조작과정의 기록 및 재생 인터페이스
5. 활용방안 및 결론

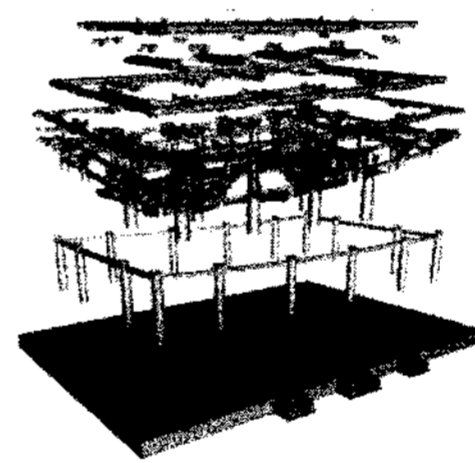
구인영 · 우성호 · 임순범
(숙명여자대학교)

1. 서 론

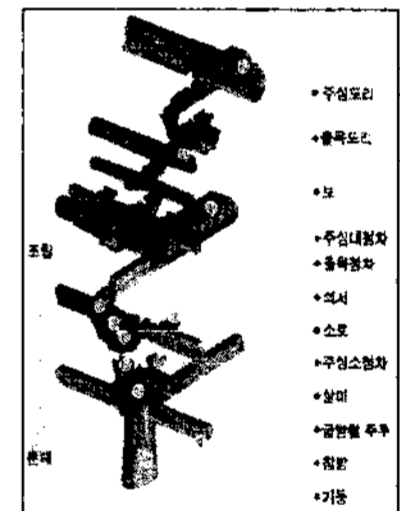
최근 전통문화재를 디지털로 복원하고 활용하는 기술에 많은 관심이 모아지고 있다. 특히, 최근 숭례문의 소실 사건으로 인해 전통 건축 문화재의 디지털 복원에 대한 관심은 더욱 높아졌다. 그동안 전통건축물에 대한 디지털 복원의 사례를 살펴보면 국내의 경우 디지털무량수전을 비롯하여, 황룡사 9층 목탑, 앙코르와트 등이 있으며[1,2], 해외의 대표적인 사례로는 로마시대 건축물을 복원하는 로마 리본(Re-Born) 프로젝트가 있다[3].

전통건축물의 디지털 복원이 가지는 장점은 우선 실물 복원에 비해 적은 비용으로 빠르게 복원할 수 있으며, 실물 복원이 불가능한 경우에도 남겨진 문헌자료를 통하여 디지털 콘텐츠로 복원이 가능하다는 점이다. 또한 디지털 복원 콘텐츠를 활용하면 현존하는 건축물 문화재에 대한 훼손이 없이도 전통건축물을 가상공간에서 둘러보거나 다양한 체험 및 활용을 할 수 있다는 점이 큰 장점이다.

현재 전통건축물에 대한 디지털 복원이 활발



(a) 디지털 무량수전



(b) 공포의 분해

(그림 1) 전통건축물의 디지털화 사례

히 진행되어 외형에 대한 복원 및 활용 작업에 다양한 기술을 적용하고 있으나 전통건축물의 구조정보를 활용하려는 노력은 다소 부족했다. 건축물의 구조를 이해시키기 위하여 분해도와 설명도 등을 텍스트 혹은 이미지로 간단히 설명하거나 애니메이션으로 제공하는 정도이다. 이러한 경우 사용자가 건축물의 구조를 이해하기 위하여 대화식으로 학습할 수 있는 기회가 많이 제한된다. (그림 1)에서 보여주는 '디지털 무량수전'[4]이나 '전통 한옥 마을 옛집'[5]의 사

1) 본 연구는 2005년도 서울시 산학연 협력사업(신기술 연구개발 지원사업)의 지원으로 수행되었음.

레에서는 사용자의 참여 기회를 늘리고 건축물의 구조정보를 전달하고자 플래시(Flash)나 동영상으로 애니메이션을 구성하여 제공하고 있다. 그러나 이 경우에도 콘텐츠를 처음 저작할 때 미리 설정해둔 내용만 진행이 가능하므로 일방적인 정보제공이라는 입장에서 크게 벗어나지 못하고 있다.

따라서 디지털 건축물의 복원 콘텐츠에 대한 다양한 활용을 하기 위해서는 건축물의 구조에 대한 정보를 바탕으로 하고, 더 나아가 조작과정에 대한 의미 있는 데이터를 기록하고 재생하는 기능을 구현하여 다양한 목적으로 활용하려는 시도가 필요하다. 본 원고에서는 서울시의 대표적인 전통건축물의 하나인 근정전에 대하여 건축물 구조에 대한 정보를 모델링하고 이를 활용하는 기법을 개발한 연구 결과를 소개하고자 한다[6].

2. 구조기반 디지털 건축물 시스템의 설계

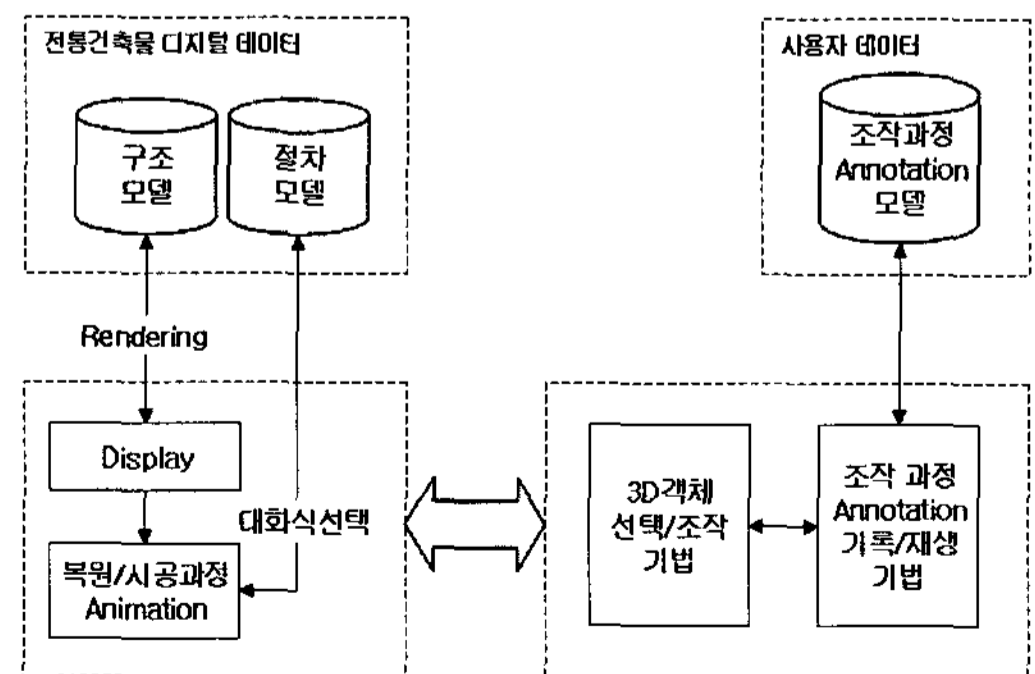
디지털 복원된 데이터를 다양하게 활용하기 위해서는 복원된 디지털 문화재를 사용자가 자유롭게 둘러볼 수 있을 뿐만 아니라 디지털화된 건축물을 구성하는 객체, 즉 건축물 부재를 사용자 임의대로 쉽게 조작할 수 있어야 한다. 또한 사용자의 조작 과정을 의미 있게 기록함으로써 새로운 콘텐츠를 생산하고, 기록된 내용을 재생하는 과정을 통해 사용자가 상호대화식으로 참여를 할 수 있도록 시스템을 구현하는 것을 목표로 하였다. 디지털 전통건축물 시스템에서 이러한 목표를 실현하기 위해 필요로 하는 기술은 다음과 같다[6,7].

- 구조 및 관계 모델링 기술 : 사용자가 전통건축물을 자유자재로 둘러보고 시공 및 복원과정을 보기 위해서는 우선 전통건축물의 구조를 디지털로 표현해야 한다. 이를 위해서는 건축물의 구조 및 부재간의 관계를 표현하고 모델링하는 기술이 필요하다.

- 조작기법 및 절차 모델링 기술 : 사용자가 전통건축물의 시공과정과 복원과정을 직접 조작해 보기 위해서는 3D 건축물의 전체 또는 각 부재별로 조작할 수 있는 조작 기법이 연구되어야 하며, 3D 객체의 조작절차를 기록하고 재생하여 보여주기 위하여 절차에 대한 모델링 기술이 필요하다.

- 기록 및 재생을 위한 사용자 인터페이스 : 사용자가 실제로 디지털 복원 데이터를 조작하고 기록하거나 재생하기 위해서는 이해하기 쉽고 사용하기 편한 인터페이스가 제공되어야 한다.

(그림 2)에서는 이와 같은 목표를 위하여 개발된 디지털 전통건축물 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 전통건축물의 구조 및 부재와의 관계를 표현하는 구조 모델링 기법을 적용하여 실제 형상 데이터와 구조데이터를 제작하였다. 3D 가상공간에서 형상데이터는 X3D/VRML로 표현하고 3D 객체의 구조 및 객체간의 관계는 토픽맵(Topic Maps)으로 표현하였다[8,9]. 전통건축물의 복원과정이나 시공과정과 같은 절차를 보여주기 위해서는 조작과정의 절차에 대한 모델링을 하고, 이에 기반하여 사용자가 자신의 조작과정을 어노테이션으로 기록하도록 하였다. 그리고, 사용자가 디지털 건축물을 다양한 목적으로 활용하기 위하여 3D 객체의 조작과정을 기록하고 재생하는 인터페이스를 개발하였다.

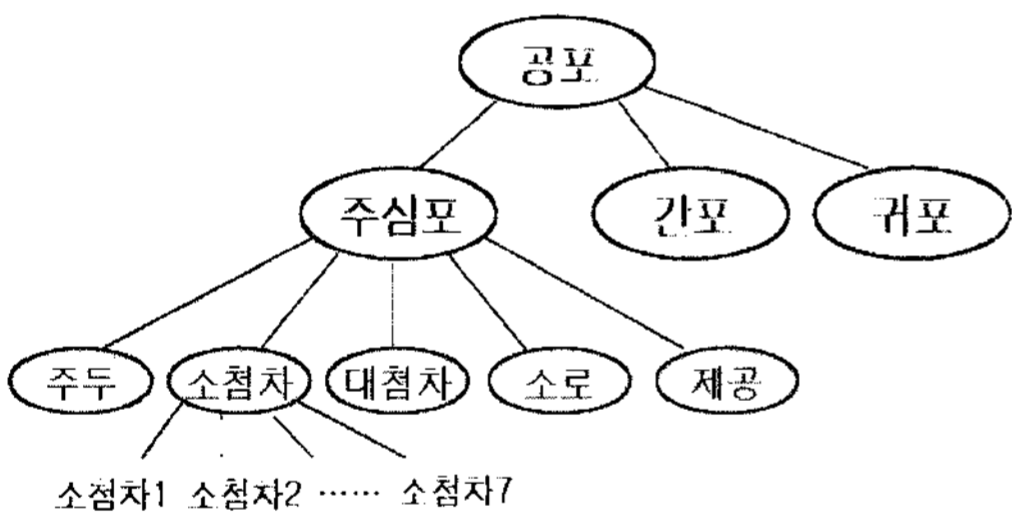


(그림 2) 디지털 전통건축물 시스템의 구성도

3. 디지털 건축물의 구조기반 모델링

3.1 전통건축물 표현을 위한 구조모델링

본 연구는 서울시의 전통건축물 중에서 근정전을 디지털 복원 대상으로 선택하는 것으로부터 시작하였다. 3D 전통건축물을 표현하기 위해 근정전의 구조 및 부재간의 관계를 분석하였으며, 구조 및 관계의 모델링은 (그림 3)과 같이 계층적 구조를 바탕으로 토픽맵(Topic Maps)을 적용하여 표현하였다. 토픽맵이란 주제(Topic)를 중심으로 개념을 구체화하고, 주제들 간의 연관관계를 정의하는 모델로서 시맨틱 웹 기술의 최신 기법으로 많은 주목을 받고 있으며 최근 ISO 표준으로도 제정되었다[9].



(그림 3) 구조 및 관계모델링

```




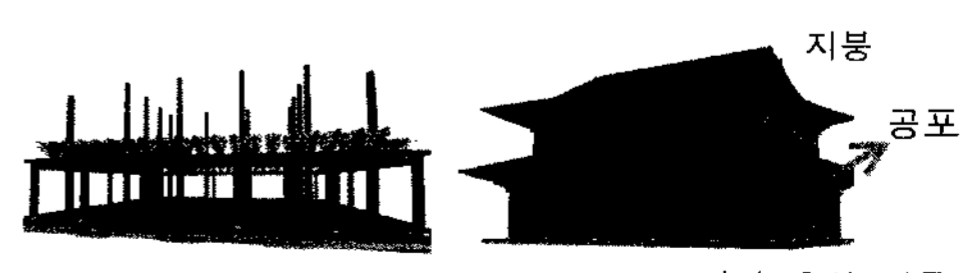
<topic id="jg01">
  <instanceOf>
    <topicRef xlink:href="#jg"/>
  </instanceOf>
  <baseName>
    <baseNameString>jegong 01
  </baseNameString>
  </baseName>
  <occurrence>
    <instanceOf>
      <topicRef xlink:href="#position"/>
    </instanceOf>
    <resourceData>0.4447 30.2878 -1.4319
  </resourceData>
  </occurrence>
</topic>
    
```

(그림 4) '제공'의 표현을 위한 토픽맵 구현

(그림 4)는 건축물의 각 객체들을 하나의 토픽으로 정의하여 복잡한 전통건축물의 구조와 부재간의 관계를 표현한 예를 보여준다. 건축물의 구조 객체를 표현하기 위한 토픽 노드와 건축물을 구성하는 각 객체간의 관계를 표현하기 위한 참조 노드를 정의하였다[10].

3.2 근정전의 분석 및 구조데이터 제작

문화재청의 근정전 실측조사보고서를 참조하여 목조건축물인 근정전의 구조 및 부재간의 관계를 분석하였다. 근정전은 정면 5칸, 측면 5칸의 장방형 평면의 건물로서 중층 팔각지붕과 겹처마 및 다포계 형식을 지닌다[11]. 근정전의 각 부재 형태는 고증 자료를 참고하여 '기단', '초석', '기둥', '공포', '가구부', '지붕'으로 분류하여 정리하였으며, 목조건축물의 구조분석에 큰 의미가 없는 '창호'와 '어좌'는 제외하였다. 이와 같이 근정전에 대해 분석한 자료를 바탕으로, 근정전 전체에 대해 (그림 6)에서와 같이 총 8322개의 부재를 건축물 데이터로 제작하였다. 한편, 건축물의 시각화를 명확히 하기 위하여 창호, 목재 및 기와 부분은 이미지 데이터로 맵핑을 하여 처리하였다.

<ul style="list-style-type: none"> 기단 부재 9개, 초석 부재 260개, 기둥 부재 130개 	
<ul style="list-style-type: none"> 공포 부재 4874개 	<ul style="list-style-type: none"> 지붕가구 부재 3049개 
<ul style="list-style-type: none"> 전체 부재 수 : 8322개 	

(그림 6) 근정전 부재 데이터의 제작

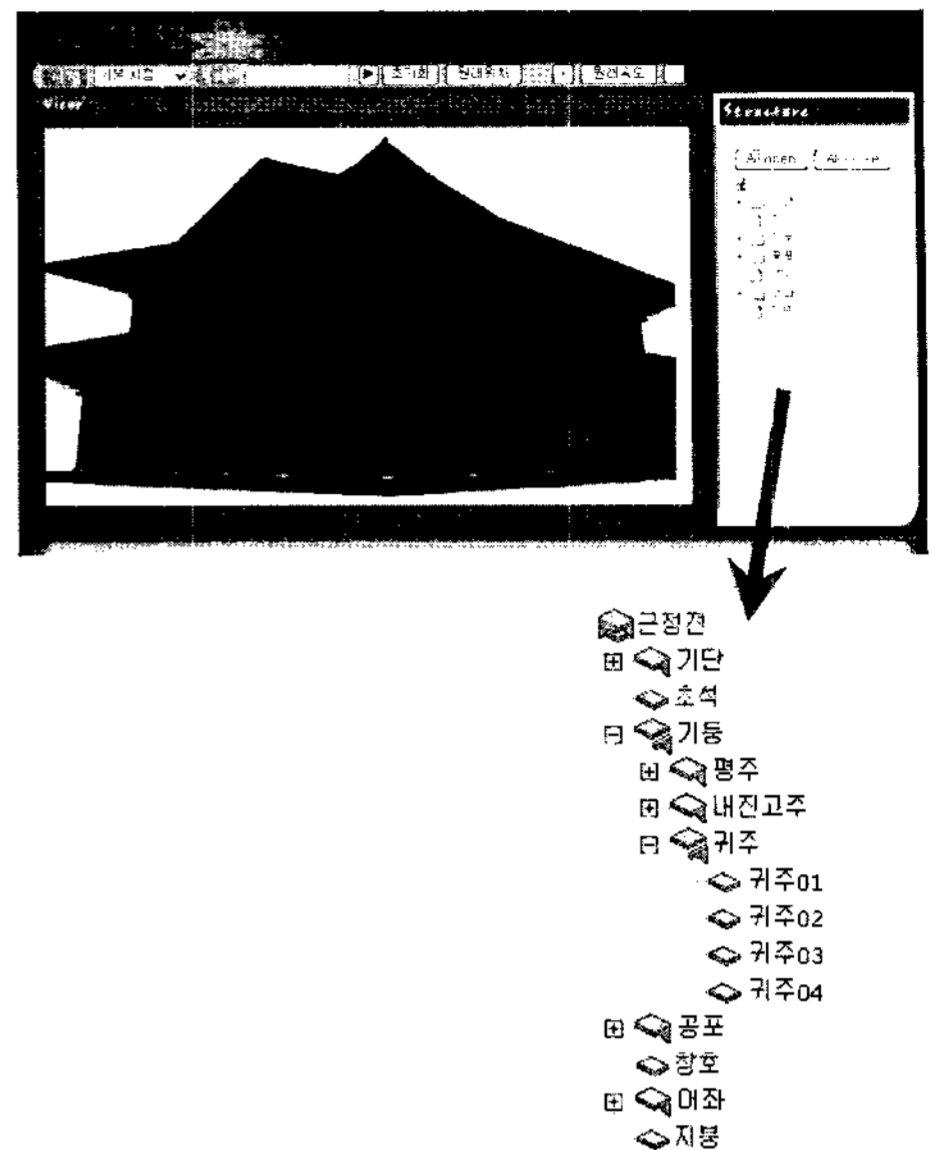
건축물의 구조를 한 화면에서 전부 볼 수 없기 때문에 근정전의 구조 분석으로 얻은 중요도에 따라 건축물의 구조데이터를 3단계로 분류하여 구성하였다. 1단계의 구조데이터는 기단, 초석, 기둥을 포함하고, 2단계는 공포를 중심으로 구성하였으며, 3단계는 지붕 부분의 가구부로 구성하였다. 건축물 객체의 조작이 가능한 사용자 인터페이스를 각 단계별로 구성하여 각 부분의 구조를 해체하고 복원하는 과정을 실습할 수 있도록 하였다.

4. 조작과정의 기록 및 재생 인터페이스

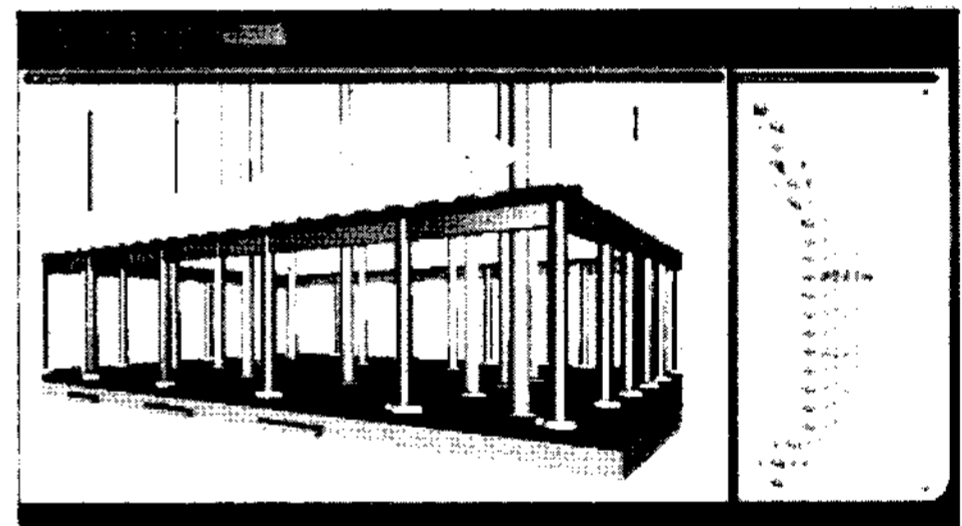
4.1 3차원 객체조작 인터페이스 개발

X3D/VRML로 모델링된 근정전 각 객체의 3D 형상 데이터와 각 객체에 대한 구조 데이터를 연동하여 디스플레이하고 객체를 조작하기 위한 인터페이스를 개발하였다. 구조 관계를 표현하는 토픽맵 데이터는 X3D 데이터와 연동하기 위하여 XML 형식에서의 변환과정이 필요하다. 이를 위해 XSLT 변환을 적용하였고[12], 토픽맵에서 정의한 개별 객체의 명칭은 변환 과정을 통해 토픽맵에서 기본 명칭으로 정의됨과 동시에 X3D에서 개별 객체들을 정의한 노드와 연결하였다.

XML로 변환된 구조 데이터를 표현하기 위해 (그림 7)과 같은 트리구조를 사용하였으며, 화면의 객체를 선택할 때 트리구조의 부재목록과 연동되도록 구현하였다[10]. 즉, (그림 8)에서 보듯이 화면상의 부재를 선택하면 오른쪽 트리목록에서도 선택되었음이 표시되며, 반대로 트리목록에서 선택을 하여도 화면상의 객체가 선택되었음이 표시되며 그 다음 조작순서는 동일하게 된다. 또한, 객체별 개별 선택 및 그룹별 선택이 가능하도록 트리목록과 화면객체가 연동되어 있다.



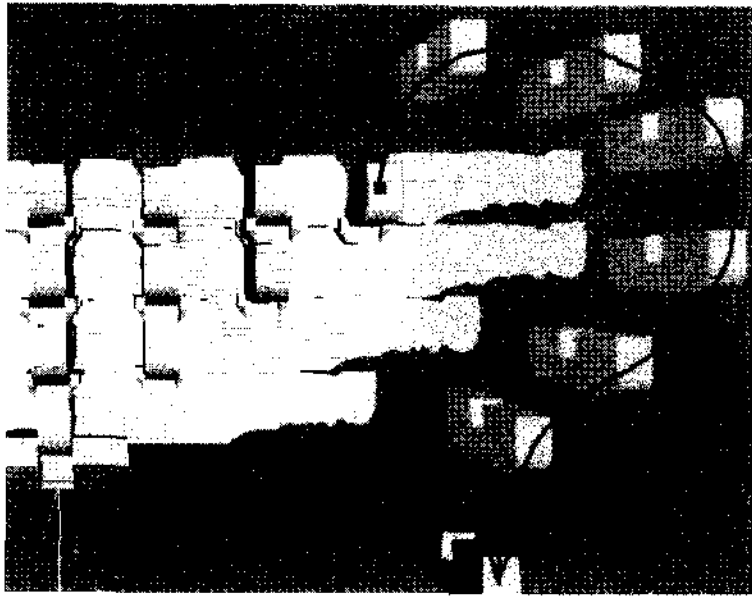
(그림 7) 구조데이터의 트리구조 표현



(그림 8) 3차원 객체와 트리목록간의 연동

4.2 객체 조작과정의 기록 및 재생 기법

사용자가 화면상에서 객체를 선택하여 이동하는 등의 조작과정이 기록되려면 조작과정에서 객체의 이동 경로에 대한 데이터가 필요하다. 이때 모든 조작경로를 데이터로 남기는 것은 저장하거나 재생할 때 비효율적이므로 자연스러운 조작경로를 표현할 수 있는 특징점을 추출하여 기록하고 재생하는 알고리즘을 개발하여 구현하였다[13]. (그림 9)에서 조작경로에 대해 추출된 특징점의 예를 보여주고 있다.



(그림 9) 조작경로를 기록하기 위한 특징점 추출

기록된 경로데이터는 XML 형식으로 조작의 단계별 의미를 기록하도록 설계한 절차모델링을 통해 선택적 재생이 가능하도록 구현 하였다. 즉, 객체의 조작을 기록할 때 단계별로 각 절차에 해당하는 조작의 명칭을 부여하도록 인터페이스를 개발하였다. 절차는 '대절차', '중간절차', '조작'의 세 가지로 분류하여 대절차 명칭과 중간절차 명칭은 사용자 임의로 입력하거나 수정이 가능하다. '조작'의 명칭은 사용자가 3D 객체를 화면에서 직접 클릭하여 객체를 이동하는 조작만으로 시스템에서 자동으로 객체조작 명칭을 부여하도록 하였다. 이렇게 부여된 명칭은 추후 사용자가 임의로 수정할 수 있다. '대절차', '중간절차', '조작' 및 경로데이터로 구성된 절차데이터는 다음과 같은 구조의 XML 파일로 저장된다.

<대절차 "명칭">

+----- <중간절차 "명칭">

+----- <조작 "명칭" "객체ID" "경로
데이터">

저장된 절차데이터는 사용자가 재생을 하고자 할 때 선택한 단계에 따라 경로데이터를 찾아서 객체의 이동경로를 복원함으로써 애니메이션을 하도록 구현하였다. 예를 들어, 공포의 해체과정이나 지붕 가구부의 해체과정을 다음과 같은 절차단계로 구성해 볼 수 있다.

예) 공포 해체

```
+-----2층공포 해체
|         +----- 제1공양서 이동
|         +----- 소침차 이동
|         +----- 소로 이동
|         ...
```

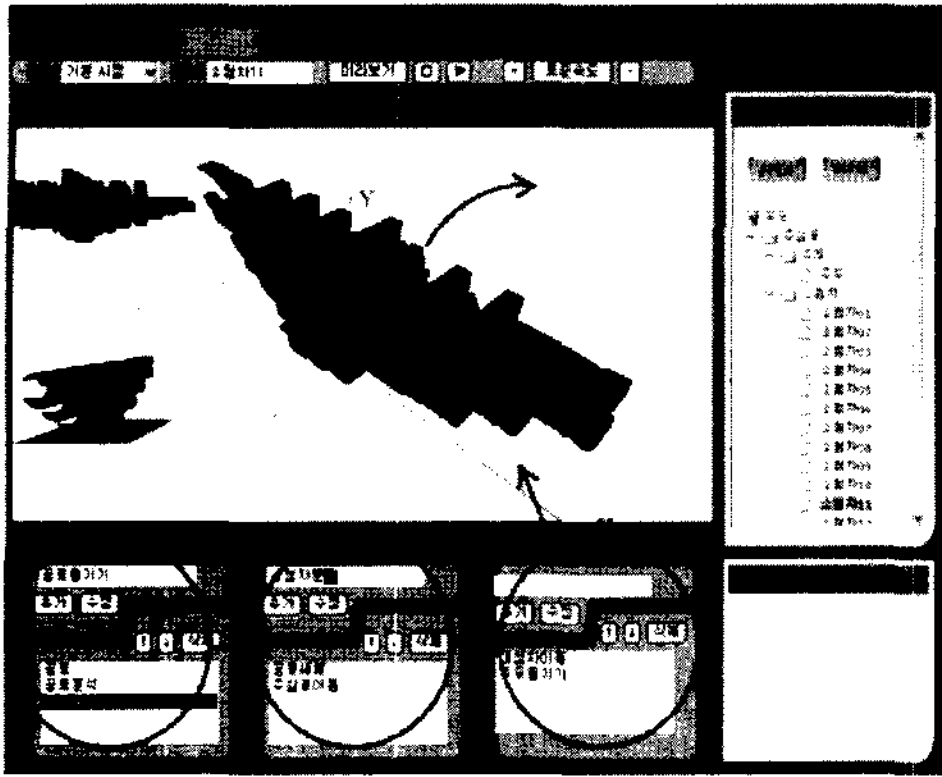
예) 지붕 가구부 해체

```
+-----2층 가구부 하단 해체
|         +----- 외목도리 이동
|         +----- 퇴량 이동
|         +----- 내진주창방 이동
|         ...
+----- 2층 가구부 상단 해체
|         ...
```

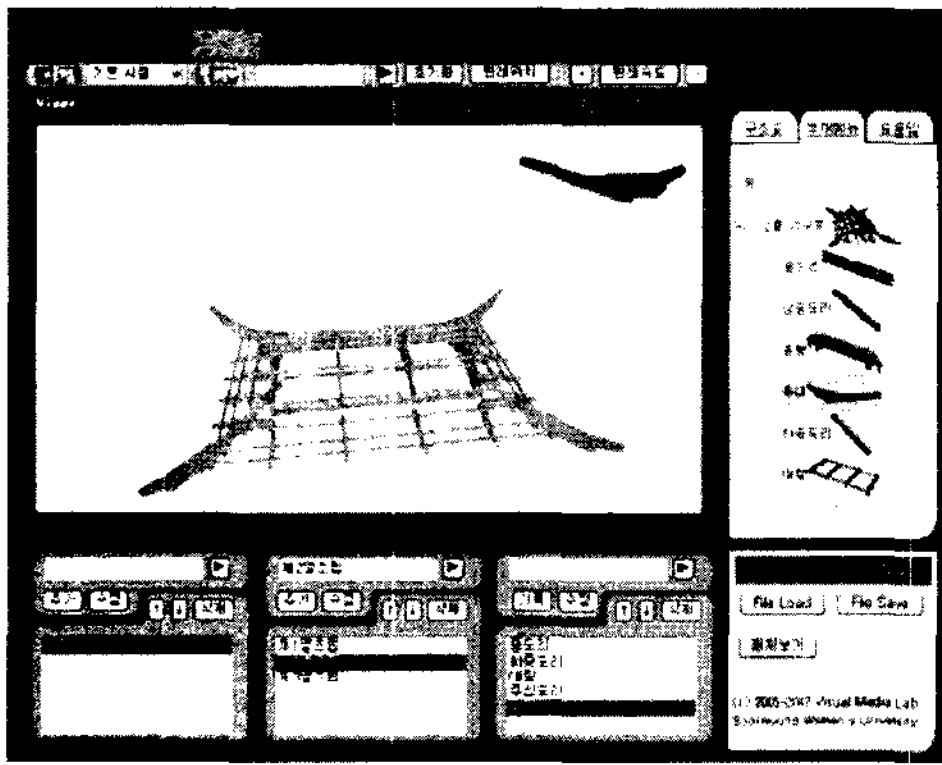
4.3 조립 및 해체 인터페이스

전통건축물에 대한 사용자의 조작은 크게 해체과정과 복원(조립)과정으로 구분해 볼 수 있다. 실제로 디지털 건축물 시스템에서 해체과정과 조립과정의 인터페이스에서는 기본적인 객체조작이나 절차기록 방식에서는 큰 차이가 없지만, 해체과정은 완성된 건축물 데이터에서 시작하고 조립과정은 빈 공간에서 시작한다는 차이가 있다. 이에 따라 해체과정과 조립과정에 대한 조작 인터페이스를 구별하여 구현하였다.

우선 건축물을 해체하는 조작과정을 기록할 때, 앞 절에서 설명한 단계별 절차 기록을 위하여 (그림 10)과 같은 사용자 조작 인터페이스를 개발하였다. 화면에서 기록(Recording) 모드로 설정하면 자동으로 사용자의 조작 움직임으로부터 최소한의 경로데이터를 추출하여, 그 내용이 파일로 저장된다. (그림 10)의 하단부에서 대절차, 중간절차, 객체조작 단계별로 명칭을 사용자가 입력하고, 각 절차에 따른 경로데이터를 자동으로 추출하여 저장하게 된다.



(그림 10) 공포부 해체과정의 기록

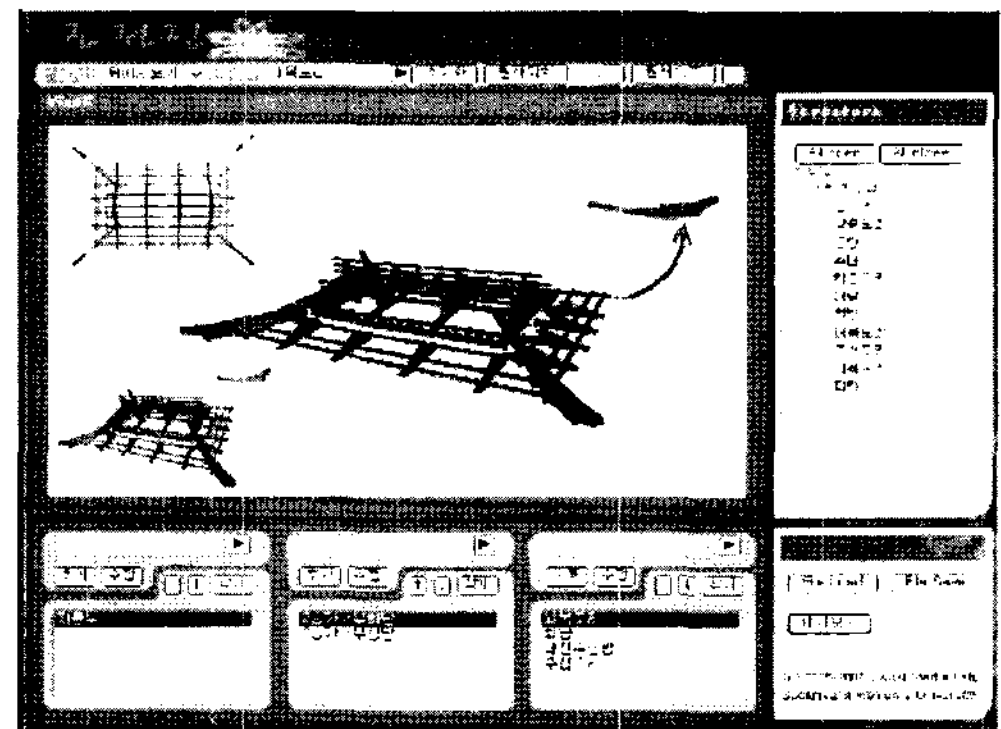


(그림 11) 지붕 가구부 조립 과정

전통건축물의 조립과정에서는 처음에 빈 공간에서 시작하므로 건축물 복원작업을 위한 보조정보가 필요하다. 이를 위해 (그림 11)에서 보듯이 우선 조립이 완성된 모습을 배경에 반투명으로 보여줌으로써 건축물 객체의 위치를 결정하는데 도움이 되도록 하였다. 또한 처음 조립을 하거나 전통건축물에 대한 지식이 별로 없는 사용자는 건축물이 어떤 부재로 구성되었는지 알기 힘들다. 따라서 부재들의 목록을 오른쪽 메뉴화면에 객체이름과 객체의 이미지를 보여 주어 건축물을 구성하고 있는 부재들을 쉽게 알도록 하였다. (그림 11)의 오른쪽 메뉴에서 부재를 선택하면 작업화면의 오른쪽 귀퉁이에 선택한 부재가 나타난다. 이 부재를 드래킹하여 건축물의 조립위치로 가져간다. 부재를 위치시킬 때 중력장 기법을

이용하여 완성된 건축물에서 설정된 위치에 부재가 근접하면 정확한 위치 값으로 보정을 해주어 사용자의 조작을 더 수월하도록 하였다.

저장된 조작과정을 다시 보고 싶을 때에는 재생(Replay) 모드에서 원하는 절차를 애니메이션으로 재생하여 볼 수 있다. (그림 12)에서 보듯이 기록 모드에서와 마찬가지로 3단계의 조작절차 중에서 원하는 절차를 선택하면 해당하는 조작 순서대로 재생된다. 원하는 부분만을 선택적으로 또는 반복적으로 재생하는 것이 가능하며, 객체의 이동 모습이 저장된 경로 데이터에 따라 애니메이션이 된다.



(그림 12) 지붕 가구부 해체 과정의 재생

5. 활용방안 및 결론

전통건축물에 대한 기존의 디지털 복원은 주로 외형의 모습을 복원하는데 중점을 두었다. 그러나, 본 원고에서 소개한 연구에서는 건축물의 외형 뿐 아니라 전통건축물 구조를 쉽게 이해할 수 있도록, 3D 객체의 구조 및 절차에 대해 표현 기술을 개발하고 적용하였다. 그리고, 기록 및 대화식 재생 기술을 제시함으로써 가상공간에서 전통건축물의 조립과 해체를 보다 대화식으로 이해하기 쉽게 학습할 수 있는 사용자 인터페이스를 개발하였다.

기존의 건축물 디지털 부재는 대개 외형적인 시각화에 중점을 두고 작성되었지만, 본 연구에

서는 디지털 부재의 구조화에 의한 부재 정보를 새롭게 정의하여 교육콘텐츠, 방송·영상콘텐츠, 전시콘텐츠, 게임콘텐츠, 온라인콘텐츠 등의 다양한 산업분야에 활용될 수 있다. 예를 들어, 교육 콘텐츠 분야에서 문화재에 대한 구조적, 절차적 체험 학습 자료를 제공하는 교육사이트를 구성할 수 있고, 전시 콘텐츠 분야에서는 사이버 뮤지엄 서비스나 사용자 맞춤형 홍보솔루션을 제공하는 등 체험이 가능한 서비스의 제공을 통해 콘텐츠의 활용성을 극대화 할 수 있다. 그 외에도 방송 콘텐츠 분야나 게임 콘텐츠로 활용하거나 복원된 데이터를 상품화하는 것도 가능하리라 기대된다.

참고문헌

- [1] 이현수, 신지용, 김미정, 디지털 무량수전, e-센스피아, 2001.8
- [2] 박진호, 황룡사 세계의 중심을 꿈꾸다, 수막새, 2006
- [3] 로마 리본(Rome reborn) 프로젝트, <http://www.romereborn.virginia.edu>
- [4] 황지은, 최진원, "한국전통건축 목구조의 분석과 자료모델링에 관한 연구 - 부석사 무량수전 평주 공포를 중심으로," 대한건축학회 논문집 제18권 2호, pp.81-88, 2000.4
- [5] 사이버 전통 한옥 마을 '옛집', <http://yetzip.culturecontent.com/>.
- [6] 임순범, 전통 건축물의 디지털 복원 데이터 활용을 위한 3D 객체의 표현 및 조작 기법 연구, 서울시 산학연 협력사업 신기술 연구 개발 지원사업 최종보고서, 2007.12.
- [7] 이귀현, 임순범, "3D 구조물의 조작과정 기록을 위한 Process Annotation 기법", 멀티미디어학회논문지 제10권 제3호, pp.381~390, 한국멀티미디어학회, 2007.3.
- [8] Web3D, Virtual Reality Markup Language (VRML), <http://www.web3d.org/x3d/vrml/>
- [9] ISO, Topic Maps, <http://www.isotopicmaps.org>
- [10] 김소영, 임순범, 우성호, 최윤철 "토픽맵을 이용한 3D 구조물의 구조모델링 기법 연구," 한국 정보과학회 추계 학술발표논문집, 2006.
- [11] 문화재청, 근정전 실측조사보고서 (상)(하), 2001
- [12] W3C, eXtensible Stylesheet Language Transformations(XSLT), <http://www.w3.org/Style/XSL/>
- [13] 황서영, 임순범, 우성호, 최윤철. "3D 구조물 조작 과정의 기록 및 재생 기법", 한국시물레이션학회 추계 학술대회논문집, 2006.

저자약력



구인영

2008년 숙명여자대학교 수확통계학과(학사)
현 숙명여자대학교 멀티미디어학과 석사과정
관심분야 : 컴퓨터 그래픽스 가상현실, 웹 2.0
이 메 일 : k-920@hanmail.net



임순범

1982년 서울대학교 계산통계학과 (학사)
1983년 한국과학기술원 전산학과 (석사)
1992년 한국과학기술원 전산학과 (박사)
1989년~1992년 (주)휴먼컴퓨터 창업 (연구소장)
1992년~1997년 (주)삼보컴퓨터 프린터개발부 부장
1997년~2001년 건국대학교 컴퓨터학과 교수
2006년 University of Colorado 방문교수
2001년~현재 숙명여자대학교 멀티미디어학과 교수
관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 웹/모바일 멀티미디어 응용,
디지털 방송, 전자출판(폰트, 전자책, XML 문서)
이 메 일 : sblim@sookmyung.ac.kr



우성호

1988년 홍익대학교 건축과 (학사)
1995년 일본 오사카대학교 (석사)
1999년 일본 오사카대학교 (박사)
1990년~1992년 (주)삼보 컴퓨터 워크스테이션 기술부
1999년~2001년 미국 버클리대학교 건축학과 연구원
2001년~현재 숙명여자대학교 건축디자인 전공 부교수
관심분야 : 건축디자인, 컴퓨터 그래픽스, 미디어 아트,
유비쿼터스 디자인
이 메 일 : shwoo@sookmyung.ac.kr