

## 블록형 구조물 자동 생성 및 구축 시스템 개발

김재우\*, 강경규\*, 이만희\*, 이종욱<sup>0</sup>, 이지형\*

\*한국전자통신연구원 차세대콘텐츠연구본부

<sup>0</sup>한국과학기술원 문화기술대학원

e-mail: {jae\_kim,kangk2,mheele, ijihyung }@etri.re.kr\*, bellee21@kaist.ac.kr<sup>0</sup>

## Automatic Block-Type Assembly Structure Construction and Editing System

Jae Woo Kim\*, Kyung-Kyu Kang\*, Man Hee Lee\*, Jongwook Lee<sup>0</sup>, JiHyung Lee\*

\*Next Generation Content Research Division, ETRI

<sup>0</sup>Graduate School of Culture Technology, KAIST

### ● 요약 ●

블록형 구조물의 구축은 원구의 목적으로 널리 사용되고 있으며 이외에도 제품 디자인을 위한 래피드 프로토타이핑 및 창의학습을 위한 도구로도 활용되고 있다. 본 논문은 블록형 구조물을 적은 비용으로 손쉽게 설계하고 구축하기 위하여 블록형 구조물 자동 생성 기능 및 편집 기능을 제공하는 소프트웨어 시스템을 개발하였다. 본 시스템을 이용하여 가상공간에서 자유롭게 블록형 구조물을 생성 및 편집할 수 있고, 실제 구조물의 조립을 위한 메뉴얼로 활용할 수 있다.

**키워드:** 블록형 구조물(block-type structures), 최적화(optimization), 조립(assembly)

### I. 서론

블록형 구조물 구축은 사전 정의된 단위 블록들을 조립하여 원하는 형태의 구조물을 구축하는 방법을 지칭한다. 대표적인 예로는 레고(Lego), 나노블록(nanoblock), 아이링고(iRINGO), 옥스퍼드(Oxford) 등이 있다. 이와같은 블록형 구조물의 구축은 원구의 목적 이외에도 창의 학습을 위한 용도 및 제품 디자인을 위한 래피드 프로토타이핑(rapid prototyping) 등에도 널리 활용되고 있다.

블록형 구조물 구축의 장점은 사용자가 원하는 형태의 구조물을 단위 블록들을 이용하여 저비용으로 비교적 손쉽게 구축할 수 있고, 구축된 구조물을 해체하여 단위 블록들을 재사용할 수 있다는 점이다. 그러나, 특정한 형태의 구조물을 구축하는 과정은 많은 시간과 경험을 요하는 작업이다[1][2].

특정한 형태의 구조물을 구축하기 위하여 사용자는 단위 블록들을 사용하여 구조물을 조립하고, 해체하여 재조립하는 등의 시행착오를 거치게 된다. 복잡한 형태의 구조물이나 정밀도를 요하는 구조물의 경우에는 더 많은 시간과 더 높은 수준의 전문성을 요구한다[3][4][5].

본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 3차원 메쉬 모델(mesh model)로부터 블록형 모델을 자동 생성하는 기능과 구축된 블록형 구조물을 편집하는 기능을 제공하는 블록형 구조물 자동 생성 및 구축 시스템을 개발한다[6][7][8][9]. 또한 본 시스템은 구축된 구조물을 계층(layer) 별로 순차적으로 화면에 디스플레이하는 기능을 제공하여 사용자가 이를 이용하여 실제 블록형 구조물을 조립할

수 있도록 하는 인터랙티브 메뉴얼(interactive manual) 기능을 제공한다.

본 연구는 Visual Studio 2012 환경에서 C++ 프로그램 언어를 사용하여 블록형 구조물 자동 생성 및 구축 시스템을 개발하였다. 사용자 인터페이스는 Qt 5.2.1을 이용하여 개발하였으며, 그래픽스 모듈은 VTK 6.1을 이용하여 개발하였다.

### II. 관련연구

블록형 구조물 자동 생성 및 구축 시스템은 크게 3차원 메쉬 모델을 입력으로 하여 자동으로 블록형 구조물을 생성하는 모듈과 생성된 블록형 구조물을 편집하는 모듈로 분류한다.

블록형 구조물 자동 생성 모듈에 관한 연구는 주로 3차원 메쉬 모델을 복셀화(voxelization) 과정을 통하여 복셀 모델로 변환한 후, 복셀 모델의 각 계층에 대하여 2차원 레이아웃(layout) 최적화 기법을 적용하여 블록형 구조물을 구축하는 방향으로 진행되어 왔다. 최적화 문제의 해를 구하기 위하여 생성되는 블록형 구조물의 연결성(connectivity) 및 안정성(stability)을 검증하는 평가함수(evaluation functions)를 정의하고, 이를 이용하여 다양한 알고리즘을 적용하여 최적의 해를 구한다. 이 때, 블록형 구조물의 안정성은 구조물의 구축에 사용된 기본 블록들이 분리되거나 해체되지 않도록 견고하게 조립됨을 목표로 하여 정의된다[1].

블록형 구조물 자동 생성을 위한 최적화 알고리즘으로는 그리디 방법(greedy algorithm), 로컬 탐색(local search), 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing), 빔 탐색(beam search), 셀룰러 오토마타(cellular automata), 및 진화연산(evolutionary computation) 기법들이 사용되었으며 트래젝토리(trajjectory) 기반의 탐색 방법은 진화연산 방법에 비해 최적화 속도가 빠른 반면, 구한 해의 평가점수는 진화연산 방법이 우수한 것으로 알려져있다[1][2][3][5].

블록형 구조물의 편집 모듈의 대표적인 예는 마인크래프트(mincraft)를 들 수 있다. 마인크래프트는 직육면체의 기본 블록들을 이용하여 사용자가 원하는 형태의 구조물을 구축할 수 있는 기능을 제공하며, 본 논문에서 개발하는 시스템도 이와 같은 방식을 취한다.

사용되는 블록의 수를 최소화 할 수 있는 장점이 있는 반면, 블록형 모델의 안정성을 극대화 하는 데에는 취약한 단점이 있다. 둘째, 복셀 모델의 두께를 계산하여 이를 증가하거나 감소할 수 있다. 실험 결과에 의하면 복셀 모델의 두께가 두꺼워질수록 생성되는 블록형 구조물의 안정성이 개선됨을 확인할 수 있다.상기의 과정을 통해 생성된 복셀 모델은 최적화 과정을 통하여 블록형 구조물로 변환된다. 본 시스템은 그리디 알고리즘과 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화를 수행한다[10][11]. 최적화는 복셀 모델의 각 계층(layer)에 대하여 구축되는 블록형 구조물의 안정성을 고려하여 설계된 평가함수를 바탕으로 수행된다. 그림 3은 최적화 수행 과정에서 특정 계층과 그 하위 계층의 구조의 예를 보여준다.

### III. 블록형 구조물 자동 생성 시스템

블록형 구조물 자동 생성 시스템은 3차원 메쉬 모델 데이터를 2차원 레이아웃 최적화 문제의 해를 구하여 블록형 구조물로 변환한다. 그림 1은 블록형 구조물 자동 생성 시스템을 보여준다.

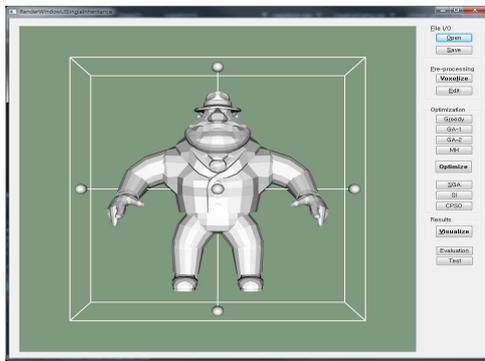


그림 11 블록형 구조물 자동 생성 시스템

입력된 3차원 메쉬 모델 데이터는 복셀화 과정을 통하여 복셀모델로 변환된다. 이 때, 사용자는 복셀 모델의 해상도(resolution)를 지정할 수 있다. 높은 해상도를 지정하면 구조물의 세밀한 부분까지 표현이 가능해지는 반면, 구조물의 크기가 상대적으로 크고 구조물을 구축하는 데 사용되는 블록의 수가 많아진다. 그림 2는 사용자에 의한 해상도 지정에 따른 복셀 모델의 예를 보여준다.



그림 12 해상도 지정에 따른 복셀 모델 생성 예

본 시스템은 다음과 같은 복셀화 과정을 통하여 획득한 복셀 모델을 편집하는 기능을 제공한다. 첫째, 복셀 모델의 내부를 비우거나 채울 수 있다. 복셀 모델의 내부를 비울 경우 블록형 구조물을 구축하는데

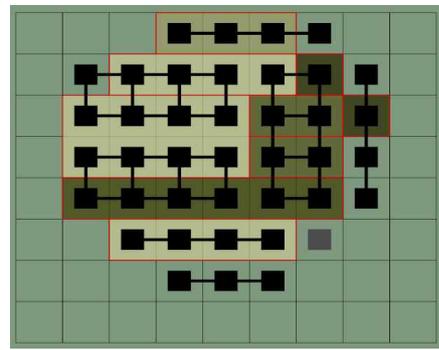


그림 13 2차원 레이아웃 최적화 예

최적화 과정을 통하여 블록형 구조물이 완성되면 블록형 구조물 자동 생성 시스템은 생성된 블록형 구조물을 다양한 관점에서 시각화 한다. 구조물의 전체 외형을 시각화 하고, 사용자가 지정한 특정 부분을 시각화 하는 기능을 제공하고, 조립과정에서 참조할 수 있는 메뉴얼의 기능으로 특정 계층의 평면도를 그 하위 계층과 함께 시각화 해 준다. 또한, 블록형 구조물의 데이터를 다음 장에서 소개하는 블록형 구조물 편집 시스템에서 로드할 수 있는 형태의 자료구조로 저장한다. 그림 4는 블록형 구조물 자동 생성 시스템의 시각화 예를 보여준다.

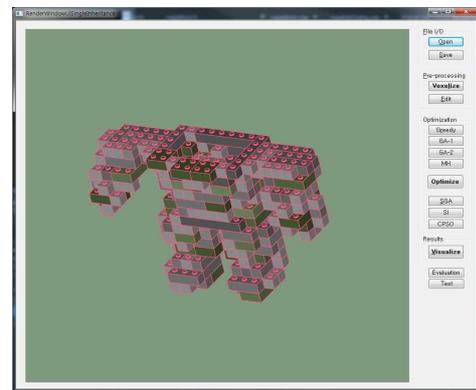


그림 14 블록형 구조물 시각화 예

#### IV. 블록형 구조물 편집 시스템

3장에서 소개한 블록형 구조물 자동 생성 시스템은 3차원 메쉬 데이터 형태로 표현된 구조물의 외형을 블록형 구조물로 자동 변환하는 기능만을 제공한다. 이와 같은 기능의 활용성을 증대시키기 위해서는 이를 이용하여 구축된 블록형 구조물을 사용자가 원하는 형태로 편집하는 기능이 필요하다. 블록형 구조물 편집 시스템은 사용자 인터랙션을 통하여 가상공간상에서 사용자가 직관적으로 블록형 구조물을 편집할 수 있는 기능들을 제공한다.

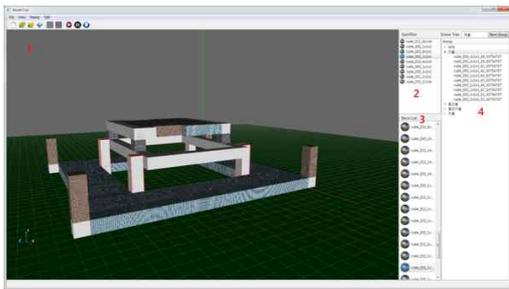


그림 15 블록형 구조물 편집 시스템 실행 예

블록형 구조물 편집 시스템은 사전 정의된 블록들의 선택, 킷슬롯 등록, 블록의 추가/삭제/이동/회전, 그룹 선택, 복사, 텍스처 적용, 크기변화, 그룹 이동 등의 다양한 편집 기능들을 제공한다. 그림 5는 블록형 구조물 편집 시스템의 실행 예를 보여준다.

사용자는 블록형 구조물 자동 생성 시스템을 이용하여 구축한 블록형 구조물을 선택하여 시스템 상에 로드할 수 있다. 또는, 블록형 구조물 편집 시스템으로 편집한 결과를 저장 한 후, 다시 로드하여 재사용 할 수도 있다. 그림5의 사용자 인터페이스의 영역(3) 부분에 제공하는 단위 블록들을 선택하여 영역(1)의 3차원 공간상에 드래그하여 블록을 배열할 수 있다. 또한 지주 사용하는 블록들을 영역(2)의 킷슬롯으로 등록한 후 이들을 반복적으로 가상공간상에 배치할 수도 있다. 영역(4)의 구조 트리는 가상공간상에 구축되는 구조물의 구조를 트리 형식으로 가시화 하여 특정 부분을 선택하여 편집할 수 있도록 한다.

이와 같은 기능들을 이용하여 사전에 정의된 구조물을 편집하거나 원하는 형태의 구조물을 구축할 수 있다. 구조물을 구축하는 과정에서 반복적으로 사용되는 부분은 그룹으로 설정하여 복사한 후 원하는 수만큼 생성하여 배열 할 수 있으며 블록 혹은 블록들의 그룹을 이동, 회전하는 편집 기능도 제공한다. 각 블록별 또는 그룹별 텍스처를 선택하여 원하는 텍스처를 적용하는 기능도 제공한다. 그림 6은 건축물의 구축 예를 보여준다.

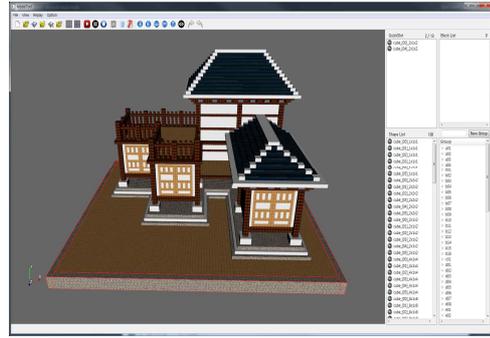


그림 16 블록형 건축물 구축 예

구축이 종료되면 현재까지 구축되는 과정을 동영상의 형태로 재생할 수 있다. 재생, 정지, 일시정지 기능을 이용하여 사용자 인터랙션을 통하여 조립되는 과정을 화면상에 디스플레이 함으로써 실제 블록형 모델을 구축하기 위한 메뉴얼로 활용할 수 있다. 그림 7은 조립과정 재생의 예를 보여준다.

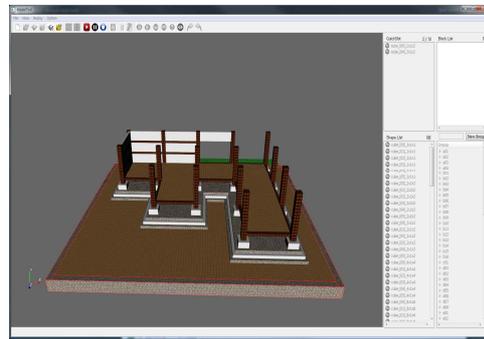


그림 17 블록형 건축물 조립 과정 재생 예

#### V. 결론 및 향후 연구

본 연구는 블록형 구조물 구축을 위한 블록형 구조물 자동 생성 기능과 편집 기능을 제공하는 소프트웨어 시스템 개발에 관하여 논의하였다. 본 연구에서 제공하는 블록형 구조물 자동 생성 및 편집 기능을 이용하여 사용자는 가상공간상에서 블록형 구조물을 손쉽게 설계하고 구축할 수 있다. 따라서 상대적으로 적은 노력과 짧은 시간에 원하는 형태의 블록형 구조물을 구축할 수 있으며, 가상공간에 구축한 구조물을 조립 순서에 따라 순차적으로 제어하여 가시화 함으로써 실제 모델 조립 및 구축을 위한 메뉴얼로 사용할 수 있도록 하였다.

특히, 블록형 구조물 자동 생성 기능은 상용 3차원 모델링 도구 소프트웨어를 이용하여 설계하거나 인터넷을 통하여 다운로드한 3차원 메쉬 모델을 최적화 과정을 통하여 블록형 구조물로 변환하여 줌으로써, 원하는 형태의 물체를 손쉽게 획득할 수 있도록 한다.

현재까지 개발된 블록형 구조물 자동 생성을 위한 최적화 기법은 수행속도 및 결과물의 품질에 따라 장단점을 가지고 있으므로, 향후 각 최적화 기법의 장단점을 분석하여 물체의 기하학적 특성에 따라 부분적으로 최적의 기법을 선택적으로 적용할 수 있는 방법론을 개발함이 필요하다.

## Acknowledgement

본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원 콘텐츠산업기술 지원사업으로 수행되었음.(과제고유번호: R2013010060)

## References

- [1] R. Gower, A. Heydtmann, and H. Petersen, "LEGO: Automated Model Construction," Jens Gravesen and Poul Hjorth, pp. 81-94, 1998.
- [2] S. Ono and A. Alexis, "Automatic generation of LEGO from the polygonal data," International Workshop on Advanced Image Technology, pp. 262-267, 2013.
- [3] P. Petrovic, "Solving the LEGO brick layout problem using evolutionary algorithms," Technical Report, Norwegian University of Science and Technology, 2001.
- [4] M. Peysakhov and W. Regli, "Using Assembly Representations to Enable Evolutionary Design of Lego Structures," Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 17:155-68, 2003.
- [5] E. Smal, "Automated Brick Sculpture Construction," MS. Thesis, The University of Stellenbosch, 2008.
- [6] L. van Zijl and E. Smal, "Cellular automata with cell clustering," Proceedings of Automata 2008 Workshop, Bristol, UK, pp. 425-440, 2008.
- [7] R. Testuz, Y. Schwartzburg, and M. Pauly, "Automatic generation of constructable brick sculptures," Eurographics 2013 Short Papers, pp. 81-84, 2013.
- [8] B. Lambrecht, "Voxelization of boundary representations using oriented LEGO plates," University of California, Berkeley, 2006.  
[http://lego.bladesign.org/LSculpt/lambrecht\\_legovoxels.pdf](http://lego.bladesign.org/LSculpt/lambrecht_legovoxels.pdf)
- [9] L. Silva, V. Pamplona, and J. Comba Legolizer, "A real time system for modeling and rendering LEGO representations of boundary models," XXII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing (SIBGRAPI), pp. 17-23, 2009.
- [10] Sangyeop Lee, Jinhyun Kim, Jae Woo Kim, Byung-Ro Moon, "Finding an Optimal LEGO Brick Layout of Voxelized 3D Object Using a Genetic Algorithm," GECCO 2015, Jul. 11-15, 2015, Madrid, Spain.
- [11] Seung-Mok Lee, Jae Woo Kim, Hyun Myung, "A Novel Genetic Algorithm for Autonomous Assembly of Structural LEGO Bricks," URAI 2015, Oct. 28-30, 2015, Korea.