
주물 유동해석의 VR 가시화

VR Visualization of Casting Flow Simulation

박지영, Jiyoung Park*, 서지현, Jihyun Suh**, 김성희, Sung-Hee Kim**, 김명희, Myoung-Hee Kim***

요약 본 연구에서는 주물의 유동해석결과를 3차원 모델로 복원하여 가상현실 디스플레이 상에 가시화 하는 방법을 제안한다. 먼저 기존 CAE 해석 소프트웨어를 사용하여 유한차분법 기반 열유동 수치해석을 수행한다. 이 과정에서는 주물의 설계모델은 그 형태가 규칙적인 사각형 격자에 근사되며 용탕을 주형에 주입하는 것을 시작으로 충전이 완료될 때까지 사전에 정의된 단계수만큼 반복적으로 전체 복셀에 대한 충전도와 온도수치가 기록된다. 다음 단계에서는 그 결과를 입력으로 하여 복셀 단위로 주물 형태를 복원한다. 이 때 유동진행에 따른 각 단계에서 각 복셀의 충전여부와 온도수치를 색상에 대응시켜 복셀의 색상을 결정한다. 복원 모델은 수평형 가상현실 디스플레이 장치인 Projection Table 상에서 가시화 하였으며 액티브 스테레오 방식으로 입체화면을 제공한다.

Abstract In this research we present a method to reconstruct the casting flow simulation result as a 3D model and visualize it on a VR display. First, numerical analysis of heat flow is performed using an existing commercial CAE simulation software. In this process the shape of the original design model is approximated to a regular rectangular grid. The filling ratio and temperature of each voxel are recorded iteratively by predefined number of steps starting from pouring the melted metal into a mold until it is entirely filled. Next we reconstruct the casting by voxels using the simulation result as an input. The color of voxel is determined by mapping the colors to temperature and filling ratio at each step as the flow proceeds. The reconstructed model is visualized on the Projection Table which is one of horizontal-type VR display. It provides active stereoscopic images.

핵심어: *Casting, flow simulation, Virtual Reality, visualization, immersive display*

본 연구는 한국생산기술연구원 기술개발사업의 지원에 의해 수행되었음.

*주저자 : 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정 e-mail: lemie@ewhain.net

**공동저자 : 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정 e-mail: nhyul1@ewhain.net; sung_hee@ewhain.net

***교신저자 : 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수 e-mail: mhkim@ewha.ac.kr

1. 서론

기존의 생산 공정 과정에서는 반복적으로 시작품을 제작함으로써 결함을 사전에 발견하고 최적화하는 작업을 수행한다. 이 같은 작업은 실험자의 경험에 대한 의존도가 높고 문제의 복잡성으로 인해 설계에 필요한 계산 비용이 많이 필요하다. 이에 주조 공정 과정에 컴퓨터를 이용하는 CAE(Computer Aided Engineering) 수치 해석을 수행함으로써 설계안의 성능이나 기능을 미리 예측하고 주조 조건을 최적화하는 효과로 개발 기간을 단축하여 설계를 효율화하고 경비를 절감할 수 있다[1]. 이 같은 CAE 해석은 수치해석 후 전문가의 육안 분석을 거치게 되는데 현재 이 작업은 일반적으로 데스크탑 모니터 환경에서 이루어진다. 그러나 이러한 환경에서는 한정된 크기의 2 차원 디스플레이로 대상 객체 가시화가 평면적이고 충분한 협업 환경을 제공하지 못한다. 따라서 가상현실 디스플레이를 이용하여 대상을 3 차원으로 대형 입체 가시화하고 사용자의 직관적인 상호작용과 여러 사용자를 위한 현장감 있는 협업이 가능한 시뮬레이션 환경이 제공되도록 가상현실 기술을 접목할 필요가 있다[2]. 실제로 생산 및 제조분야에서는 현재 가상현실 기술이 활발히 사용되고 있으며 특히 제품 설계 및 평가[3], 공장 레이아웃 설계[4], 공정 시뮬레이션[5] 등에서 HMD(Head-mounted display), 수평형 및 수직형, CAVETM 디스플레이와 같은 몰입형 디스플레이 사용예를 다수 찾아볼 수 있다. 현재 생산 및 제조 분야에서 대형 가상현실 디스플레이의 활용은 점차 확대되고 있으며 주조공정 해석에 있어서도 해석결과에 대한 효과적인 육안분석을 위해 몰입형 디스플레이 도입의 필요성이 높아지고 있다.

이에 본 연구에서는 주조공정에서도 용탕의 유동 해석결과를 3 차원 모델로 복원하여 가상현실 디스플레이 상에 대형 입체 가시화한다. 이를 통해 실감나는 육안분석 환경을 제공하고 다수의 사용자가 제품을 보다 세밀하게 관찰할 수 있는 효과적인 분석도구를 제공한다.

2. VR 시뮬레이션 환경



〈그림 1〉 Projection Table 상에 디스플레이 된 주물 복원 모델

본 연구에서는 대상의 대형 입체 시각화를 위하여 수평형 가상현실 디스플레이 장치인 Projection Table 을

사용하였다. 사용된 Barco 의 Baron Projection Table 은 BARCOGRAPHICS 808s 를 내장하고 있으며 후방투사형으로 스크린 크기는 1610mmX1590mm 이며 풋패달에 의해 스크린 경사도를 0°~45°까지 조절할 수 있다. 또한 액티브 방식 입체 영상을 제공하기 위해 에미터와 서터 글래스(StereoGraphics CrystalEyes3)를 사용한다. 〈그림 1〉은 복원된 주물 3 차원 모델이 가시화된 결과이다. 본 디스플레이는 현대의 PC 에 의해 제어되며 그래픽 라이브러리로서 OpenGL Performer 를 사용하였다.

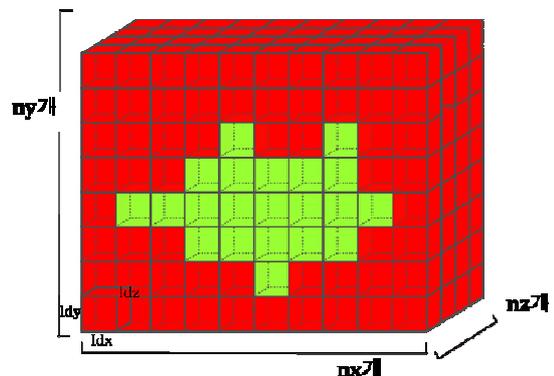
3. 주물 유동 해석 데이터 복원

본 연구에서는 CAE 시뮬레이션 소프트웨어인 Z-CAST[6]의 주물 유동 해석결과 데이터를 입력으로 하여 3 차원 주물 모델을 복원하고 이를 Projection Table 상에서 입체 가시화한다.

3.1 해석결과 데이터

주물의 유동 해석결과는 주조시 탕구에 주입된 용탕이 주형을 채우는 과정을 시뮬레이션한 결과로서 주물의 형태정보와 열유동 수치해석정보를 포함하고 있다. 전체 주물 모델은 복셀 단위로 구성되며 주입 시작부터 주형이 완전히 채워지는 데까지 단계별로 각 복셀이 채워진 정도와 온도를 리스트 형태로 가진다.

일반적으로 열유동 시뮬레이션은 유한차분법 수치해석 모델을 사용하게 되는데, 설계모델을 대상으로 유한차분법 기반 유동 시뮬레이션을 수행하게 되면 결과적으로 〈그림 2〉와 같이 x, y, z 축 방향으로 nx, ny, nz 만큼 나뉜 3 차원 격자로 원본 형태가 근사된 모델이 생성된다. 각 복셀의 x, y, z 축 방향 길이는 ldx, ldy, ldz 로 균일하게 되며 각 복셀은 알루미늄, 철 등 주물의 재질 속성을 나타내는 ID 를 갖는다. 또한 용탕 주입 시작에서부터 완전히 충전이 완료되는 시점까지 사전에 정의된 단계수만큼 반복하여 각 복셀의 충전여부와 온도 정보가 복셀의 개수(nx*ny*nz) 만큼 기록되어 있다.



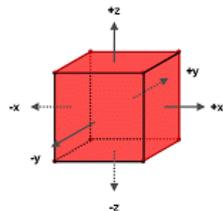
〈그림 2〉 주물 복원모델을 구성하는 복셀 정보

3.2 주물 모델 복원

해석 결과에 의한 복셀정보를 기반으로 볼륨 데이터의 형태를 복원하고, 단계별 온도 정보로 온도 성질을

부호화하여 복셀의 색으로 표현한다. 각 복셀은 <그림 2>와 같이 각 축방향으로 ldx, ldy, ldz 의 체적을 갖고, 원점에서 각 축방향으로 nx, ny, nz 까지 증가하며 각 정점 좌표를 갖는다. 본 연구에서는 각 축으로 나뉜 개수 nx, ny, nz 만큼 원점에서부터 복셀을 생성하여 설계 모델에 근사된 형태를 복원한다.

주물 복원 모델은 분할 개수가 커질수록 복셀의 크기가 작아지면서 실제 모델과 유사해진다. 그러나 복셀의 개수가 많아지기 때문에 메모리 사용량과 렌더링 시간이 늘어나게 되는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 렌더링 속도를 개선하기 위해 주물의 형태 복원시 보이지 않는 내부의 면이 생성되지 않도록 한다. 모델 내부는 면을 생성하지 않고 외곽면만을 추출하기 위하여 <그림 3>과 같이 현 위치의 속성 id와 인접한 6 방향 즉, -x, +x, -y, +y, -z, +z 방향의 속성 id를 비교하여 서로 다른 속성 id를 가질 경우 해당 방향의 면을 외곽으로 간주하여 가시화되어야 할 경계면으로 추출한다. 이러한 과정으로 해당 면의 가시화 유무를 결정하고, 해당 정점, 법선 벡터, 색에 대한 색인을 지정한다. 현재 점의 위치가 (i, j, l)인 경우 외곽으로 판단된 방향에 따라 생성되는 면을 구성하는 4개점은 <표 1>과 같다.



<그림 3> 외곽 추출 검사 방향

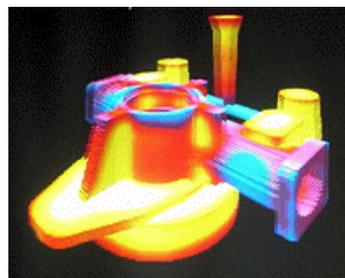
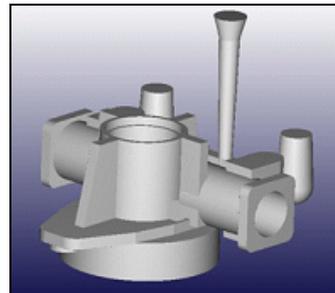
<표 1> 검사방향에 따라 구성되는 사각형 정점

검사방향	그릴 사각형을 구성하는 정점
1 -x	(i, j, l+1), (i, j+1, l+1), (i, j+1, l), (i, j, l)
2 +x	(i+1, j, l+1), (i+1, j, l), (i+1, j+1, l), (i+1, j+1, l+1)
3 -y	(i, j, l+1), (i, j, l), (i+1, j, l), (i+1, j, l+1)
4 +y	(i+1, j+1, l+1), (i+1, j+1, l), (i, j+1, l), (i, j+1, l+1)
5 -z	(i+1, j, l), (i, j, l), (i, j+1, l), (i+1, j+1, l)
6 +z	(i+1, j+1, l+1), (i, j+1, l+1), (i, j, l+1), (i+1, j, l+1)

정점의 좌표에 대한 색인은 외곽 검사에 의해 추출된 정점들을 QUADS 명령어로 네 개씩 묶어서 네 개의 모서리를 가진 폴리곤을 만든다. 면의 법선 벡터는 각 해당 면에 수직인 벡터이다. 법선 벡터의 색인은 표면의 방향, 특히 광원을 기준으로 가시화 될 정점들을 -x, +x, -y, +y, -z, +z 방향에 대해 검사하여 검사된 방향에 따라

표면의 방향을 결정한다. 법선 벡터로 인해 오브젝트의 각 면이 받게 될 빛의 양을 결정하기 때문에 광원을 생성하였을 때, 광원의 영향을 받아 오브젝트의 색이 다르게 표현되어 오브젝트가 입체적으로 가시화되는데 영향을 미친다. 정점의 색상에 대한 색인은 외곽 검사로 추출된 정점들의 충전도와 온도 정보에 대하여 부호화된 색을 지정한다. 완전히 충전된 상태의 정점에 대해서만 해당 온도에 대응하는 색상을 지정하며 충전되지 않은 정점은 투명하게 그려지도록 한다. 온도에 대한 색상지정은 첫 단계의 모든 복셀을 탐색하여 전체 온도값 중에서 최대 온도와 최소 온도를 결정하여 32 단계 색으로 온도 범위를 분류하고 각 온도 범위에 해당하는 색을 복셀이 나타내도록 한다.

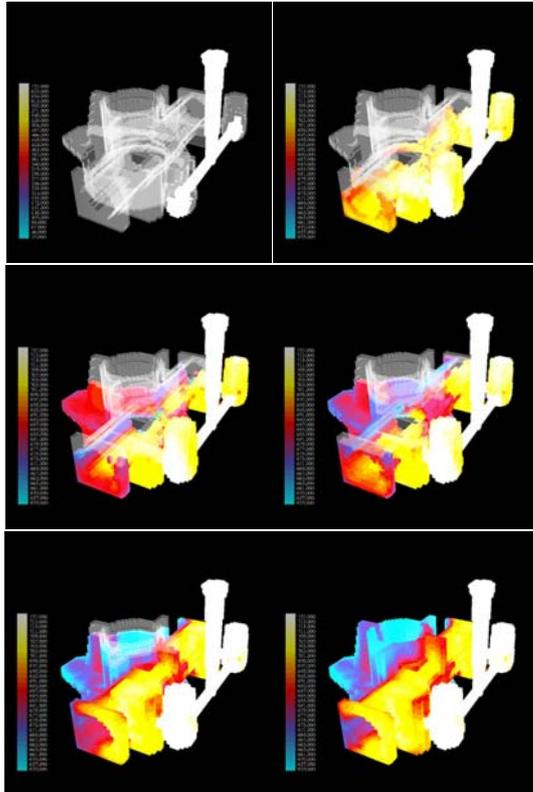
렌더링 과정에서 일반적인 그래픽스 라이브러리인 OpenGL 과는 달리, 본 연구에서 사용된 실시간 비주얼 시뮬레이션을 위해 특화된 OpenGL 의 상위 그래픽 라이브러리인 OpenGL Performer 는 인텍싱을 통해 모델을 생성할 경우 인텍싱 리스트의 개수가 int 타입으로만 허용되며 입력 가능한 값이 최대 32,767 로 제한되어 있다. 이러한 제한점 때문에 복원모델의 nx*ny*nz 개인 분할 개수가 이를 초과하면 인텍싱 리스트 개수의 제한으로 원래 설계모델의 형태와 다르게 메쉬가 생성되지 않는 현상이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 전체 모델을 하나의 인텍스로 생성하는 대신, z 축 방향으로 한 층씩 인텍싱을 수행하여 인텍싱 리스트 수를 줄였다. 즉, 전체 모델은 여러 개의 인텍스로 구성되게 된다. <그림 4>는 주물유동 해석이 수행 대상인 주물의 설계모델과 해석결과와의 형태를 복원하고 온도정보를 색으로 매핑한 결과를 나타내고 있다.



<그림 4> 설계모델(상)과 주물 해석결과 복원모델(하)

4. 실험결과

유동해석 가시화 결과는 <그림 5>와 같으며 단계를 거칠수록 모델 내부가 채워지는 모습을 온도변화와 함께 관찰할 수 있다. 아직 채워지지 않은 복셀은 투명하게 처리되게 되며 완전히 충전된 복셀은 해당 온도에 대한 색으로 그려지게 된다. 화면 왼쪽에는 색상에 대한 온도 수치를 보여주는 색상판이 제공되며 높은 온도일수록 색상판의 상단에 해당하는 색상으로 표현된다.



<그림 5> 유동해석결과 가시화 결과

5. 결론

본 연구에서는 주조공정 최적화를 위한 효과적인 육안분석도구를 제공하기 위해 주물 입체가시화 시스템을 개발하였다. 대표적인 주물해석결과인 열유동 데이터를 3 차원으로 복원하고 Virtual Table 을 사용하여 입체 가시화함으로써 대상을 실물크기로 실감나게 관찰할 수 있으며 여러 명의 사용자가 협업할 수 있는 분석환경을 제공하였다.

본 연구는 선행연구로서 주물의 응고해석결과를 3 차원 복원하고 4 면 CAVE™-like 디스플레이 상에서 가시화한 바 있다[7]. 향후연구로서 본 연구의 유동해석 가시화 모듈을 응고해석 가시화 모듈과 통합하고 기타 다양한 주물 해석 데이터를 대상으로 복원기법 및 가시화 방법을 개발하여 주물 해석에 대한 통합분석시스템을 구현하고자

한다. 또한 VR 디스플레이 상에서 주물해석모델과 효과적으로 상호작용할 수 있는 인터페이스를 개발할 예정이다.

참고문헌

[1] 김용식, 양정삼, 한순홍, “가상 공장 시뮬레이션을 위한 PC 클러스터 기반의 멀티채널 가시화 모듈의 설계와 구현”, 대한기계학회논문집 A 권, 제 30 권, 제 3 호, pp. 231-240, 2006.

[2] Alberto Raposo, Eduardo T. L. Corseuil, Gustavo N. Wagner, Ismael H. F. dos Santos and Marcelo Gattass, “Towards the Use of CAD Models in VR Applications,” Proceedings of the 2006 ACM international conference on Virtual reality continuum and its applications, pp. 67-74, 2006.

[3] Ali Akgunduz and Hang Yu, “Two-Step 3-Dimensional Sketching Tool For New Product Development,” Proceedings of the 36th conference on Winter simulation, pp. 1728-1733, 2004.

[4] Katharina Pentenrieder, Christian Bade, Fabian Doil, and Peter Meier, “Augmented Reality-based factory planning – an application tailored to industrial needs,” The Sixth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2007), 2007.

[5] Wolfgang Mueller-Wittig, Reginald Jegathese, Meehae Song, Jochen Quick, Haibin Wang, Yongmin Zhong, “Virtual Factory Highly Interactive Visualisation For Manufacturing,” Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, pp. 1061-1064, 2002.

[6] Z-CAST of Cubictek

<http://www.cubictek.com>

[7] 서지현, 김성희, 박지영, 조상현, 최정길, 김명희, “주물 응고 시뮬레이션의 가시화 및 상호작용,” 한국시뮬레이션학회 2006년 추계학술대회논문집, pp. 3-7, 2006.