(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0097498
(43) 공개일자 2013년09월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 19/00 (2011.01) *G06T 15/00* (2006.01)
G06F 9/455 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0019205
(22) 출원일자 2012년02월24일
심사청구일자 2012년02월24일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
김창헌
서울특별시 동대문구 제기동 안암골 벽산아파트 105-703
임재호
경기도 하남시 창우동 신안아파트 407동1301호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
송경근

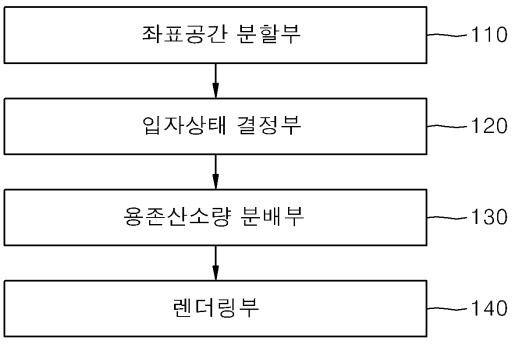
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 **물의 용존산소량을 고려한 얼음 생성 시뮬레이션 장치 및 방법**

(57) 요 약

물의 용존산소량을 고려한 얼음 생성 시뮬레이션 장치 및 방법이 개시된다. 좌표공간 분할부는 복수의 입자로 이루어진 액체가 사전에 설정된 3차원 좌표공간에서 고체로 변화하는 과정을 시뮬레이션하기 위해, 3차원 좌표공간을 동일한 크기의 복수의 격자로 분할한다. 입자상태 결정부는 각각의 격자 내부에 위치하는 입자 각각의 상태를 격자의 노드로부터 전달받은 열량에 따라 결정한다. 용존산소량 분배부는 결정된 입자의 상태가 고체인 얼음 입자와 결정된 입자의 상태가 액체인 물 입자 사이의 거리를 기초로, 얼음 입자가 가진 용존산소량을 물 입자로 분배한다. 렌더링부는 복수의 입자 각각이 가지는 열량 및 용존산소량을 기초로 각각의 입자의 최종 상태를 결정하여 렌더링한다. 본 발명에 따르면, 얼음이 생성되는 과정에서 내부의 공기 방울을 생성하여 사실적이고 세밀하게 얼음을 표현할 수 있다. 이때 용존산소량 필드를 생성하여 낮은 격자 해상도에서도 더 나은 결과를 산출할 수 있다. 그리고 거리장 기법을 이용하여 다양한 형태의 얼음을 생성할 수 있다. 또한 액체와 고체처럼 열 전도율이 다른 물질의 열 전도 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

김종현

경기 부천시 오정구 고강본동 423-1 미도빌라 B동 402호

박한욱

서울특별시 도봉구 창4동 현대4차아파트 402동 501호

특허청구의 범위

청구항 1

복수의 입자로 이루어진 액체가 사전에 설정된 3차원 좌표공간에서 고체로 변화하는 과정을 시뮬레이션하기 위해, 상기 3차원 좌표공간을 동일한 크기의 복수의 격자로 분할하는 좌표공간 분할부;

상기 각각의 격자 내부에 위치하는 입자 각각의 상태를 상기 격자의 노드로부터 전달받은 열량에 따라 결정하는 입자상태 결정부;

상기 결정된 입자의 상태가 고체인 얼음 입자와 상기 결정된 입자의 상태가 액체인 물 입자 사이의 거리를 기초로, 상기 얼음 입자가 가진 용존산소량을 상기 물 입자로 분배하는 용존산소량 분배부; 및

상기 복수의 입자 각각이 가지는 열량 및 용존산소량을 기초로 상기 각각의 입자의 최종 상태를 결정하여 렌더링하는 렌더링부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 얼음 생성 시뮬레이션 장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 좌표공간 분할부는 거리장 함수를 이용하여 상기 고체로 변화하는 3차원 모델의 내부와 외부를 구분하고, 상기 3차원 모델의 내부에 상기 복수의 입자를 배치하는 것을 특징으로 하는 얼음 생성 시뮬레이션 장치.

청구항 3

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

상기 입자상태 결정부는 상기 복수의 입자 각각의 위치에 따른 삼각 보간법(Trilinear Interpolation)을 적용하여 상기 각각의 입자가 가지는 열량을 산출하는 것을 특징으로 하는 얼음 생성 시뮬레이션 장치.

청구항 4

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

상기 입자상태 결정부는 상기 복수의 격자의 노드 각각으로부터 사전에 설정된 기준범위 내에 위치하는 입자의 평균 온도를 산출하여, 상기 복수의 입자로부터 상기 격자의 노드로 전달되는 열량을 산출하는 것을 특징으로 하는 얼음 생성 시뮬레이션 장치.

청구항 5

제 1항 또는 제2항에 있어서,

상기 용존산소량 분배부는 하기 수학식에 의해 상기 얼음 입자의 용존산소량을 상기 물 입자로 분배하는 것을 특징으로 하는 얼음 생성 시뮬레이션 장치:

$$\triangle D_{p_j} = \frac{\sum W_i D_{p_i}}{\sum W_i}$$

$$W_i = \frac{1}{d_i} (d \leq 1)$$

여기서, $^{\triangle D_{p_j}}$는 j번째 물 입자 p에 분배되는 용존산소량, $^{D_{p_i}}$는 i번째 얼음 입자 p의 용존산소량, ^{d_i}는 상기 i번째 얼음 입자 p와 상기 j번째 물 입자 p 사이의 거리, 그리고 ^{W_i}는 상기 거리에 따른 가중치를 나타낸다.

청구항 6

제 1항 또는 제2항에 있어서,

상기 렌더링부는 상기 복수의 입자들 중 용존산소량이 사전에 설정된 기준범위 내인 입자의 용존산소량을 상기 격자의 노드에 저장하여, 용존산소량이 밀집해 있는 상태를 표현하는 용존산소량 필드를 생성하는 것을 특징으로 하는 얼음 생성 시뮬레이션 장치.

청구항 7

복수의 입자로 이루어진 액체가 사전에 설정된 3차원 좌표공간에서 고체로 변화하는 과정을 시뮬레이션하기 위해, 상기 3차원 좌표공간을 동일한 크기의 복수의 격자로 분할하는 좌표공간 분할단계;

상기 각각의 격자 내부에 위치하는 입자 각각의 상태를 상기 격자의 노드로부터 전달받은 열량에 따라 결정하는 입자상태 결정단계;

상기 결정된 입자의 상태가 고체인 얼음 입자와 상기 결정된 입자의 상태가 액체인 물 입자 사이의 거리를 기초로, 상기 얼음 입자가 가진 용존산소량을 상기 물 입자로 분배하는 용존산소량 분배단계; 및

상기 복수의 입자 각각이 가지는 열량 및 용존산소량을 기초로 상기 각각의 입자의 최종 상태를 결정하여 렌더링하는 렌더링단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 얼음 생성 시뮬레이션 방법.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 좌표공간 분할단계에서, 거리장 함수를 이용하여 상기 고체로 변화하는 3차원 모델의 내부와 외부를 구분하고, 상기 3차원 모델의 내부에 상기 복수의 입자를 배치하는 것을 특징으로 하는 얼음 생성 시뮬레이션 방법.

청구항 9

제 7항 또는 제 8항에 있어서,

상기 입자상태 결정단계에서, 상기 복수의 입자 각각의 위치에 따른 삼각 보간법(Trilinear Interpolation)을 적용하여 상기 각각의 입자가 가지는 열량을 산출하는 것을 특징으로 하는 얼음 생성 시뮬레이션 방법.

청구항 10

제 7항 또는 제 8항에 있어서,

상기 입자상태 결정단계에서, 상기 복수의 격자의 노드 각각으로부터 사전에 설정된 기준범위 내에 위치하는 입자의 평균 온도를 산출하여, 상기 복수의 입자로부터 상기 격자의 노드로 전달되는 열량을 산출하는 것을 특징으로 하는 얼음 생성 시뮬레이션 방법.

청구항 11

제 7항 또는 제 8항에 있어서,

상기 용존산소량 분배단계에서, 하기 수학식에 의해 상기 얼음 입자의 용존산소량을 상기 물 입자로 분배하는 것을 특징으로 하는 얼음 생성 시뮬레이션 방법:

$$\triangle D_{p_j} = \frac{\sum W_i D_{p_i}}{\sum W_i}$$

$$W_i = \frac{1}{d_i} (d \leq 1)$$

여기서, $^{\triangle D_{p_j}}$는 j번째 물 입자 p에 분배되는 용존산소량, $^{D_{p_i}}$는 i번째 얼음 입자 p의 용존산소량, ^{d_i}는 상기 i번째 얼음 입자 p와 상기 j번째 물 입자 p 사이의 거리, 그리고 ^{W_i}는 상기 거리에 따른 가중치를 나타낸다.

청구항 12

제 7항 또는 제 8항에 있어서,

상기 렌더링단계에서, 상기 복수의 입자들 중 용존산소량이 사전에 설정된 기준범위 내인 입자의 용존산소량을 상기 격자의 노드에 저장하여, 용존산소량이 밀집해 있는 상태를 표현하는 용존산소량 필드를 생성하는 것을 특징으로 하는 얼음 생성 시뮬레이션 방법.

청구항 13

제 7항 또는 제 8항에 기재된 얼음 생성 시뮬레이션 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 물의 용존산소량을 고려한 얼음 생성 시뮬레이션 장치 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 물의 온도 감소에 따라 얼음을 생성하는 시뮬레이션 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 가상 환경에서 자연 현상을 재현하는 시뮬레이션 기술은 실제 자연 현상과 같은 모습을 구현하기 위해 지속적으로 연구되고 있다. 이를 위해 이미 검증된 물리 공식이나 자연 현상의 원리를 이용한다.

[0003] 자연 현상 시뮬레이션은 다양한 분야에서 진행되고 있으며 대표적으로 물질이 고체에서 액체로, 액체에서 고체로 변화하는 것과 같은 상태 변화 시뮬레이션이 이에 해당된다.

[0004] 특히 상태 변화 시뮬레이션 중 물의 상태 변화를 다룬 연구는 매우 폭 넓게 진행되고 있다. 하지만 대부분의 연구에서는 얼음이 물로 변화하고 물로 변화한 얼음이 어떤 식으로 움직이는가에 비중을 두어 연구가 진행되고 있으며, 물이 얼음으로 변화하는 과정은 거의 다루고 있지 않다.

[0005] 한편, 실제 자연 현상에서 생성되는 얼음은 내부가 불투명한 얼음이다. 내부가 불투명한 얼음이 생성되는 이유는 상태 변화시 물이 갖게 되는 물리적, 화학적 속성과 관련이 있다.

[0006] 열전도율이 좋지 않은 물은 고르게 얼지 않고 점진적으로 얼어붙게 된다. 가장 먼저 공기와 직접 맞닿아 있는 경계 부분이 얼게 되고, 경계 면에서 가장 멀리 떨어진 중앙부분의 물은 줄어들게 된다.

[0007] 이 과정에서 얼음은 용존산소를 많이 가지고 있을 수 없으므로 더 이상 가지지 못하는 용존산소는 근처의 물로 이동을 하게 되고, 가장 마지막으로 얼게 되는 중앙부분에서는 더 이상 이동할 수 없는 용존산소가 얼음 내부의 불투명한 영역으로 나타나게 된다.

[0008] 본 발명과 관련된 선행논문 Air Bubbles in Ice by Simulating Freezing Phenomenon(Carlos MADRAZO, 2009)에서는 얼음 내부에 생성되는 공기 방울을 고려한 시뮬레이션 기법이 제안되었다.

[0009] 그러나 공기 방울을 격자의 각 노드 중앙에 생성하여 격자의 해상도에 영향을 받고, 직육면체 이외의 모델에서는 시뮬레이션을 수행할 수 없다는 문제점이 있다.

[0010] 또 다른 선행논문 Fast Particle-based Visual Simulation of Ice Melting(Kei Iwasaki, 2010)에서는 떨어지는 물방울을 고려하는 얼음 생성 시뮬레이션 기법이 제안되었다.

[0011] 그러나 얼음 내부의 공기 방울에 의해 불투명한 얼음이 생성되는 현상을 고려할 수 없다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는, 물의 온도 감소에 따른 상태 변화 및 용존산소량 이동을 고려한 얼음 생성 시뮬레이션 장치 및 방법을 제공함에 있다.

[0013] 본 발명이 이루고자 하는 다른 기술적 과제는, 물의 온도 감소에 따른 상태 변화 및 용존산소량 이동을 고려한

얼음 생성 시뮬레이션 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0014] 상기의 기술적 과제를 달성하기 위한, 본 발명에 따른 물의 용존산소량을 고려한 얼음 생성 시뮬레이션 장치는, 복수의 입자로 이루어진 액체가 사전에 설정된 3차원 좌표공간에서 고체로 변화하는 과정을 시뮬레이션하기 위해, 상기 3차원 좌표공간을 동일한 크기의 복수의 격자로 분할하는 좌표공간 분할부; 상기 각각의 격자 내부에 위치하는 입자 각각의 상태를 상기 격자의 노드로부터 전달받은 열량에 따라 결정하는 입자상태 결정부; 상기 결정된 입자의 상태가 고체인 얼음 입자와 상기 결정된 입자의 상태가 액체인 물 입자 사이의 거리를 기초로, 상기 얼음 입자가 가진 용존산소량을 상기 물 입자로 분배하는 용존산소량 분배부; 및 상기 복수의 입자 각각이 가지는 열량 및 용존산소량을 기초로 상기 각각의 입자의 최종 상태를 결정하여 렌더링하는 렌더링부;를 구비한다.

[0015] 상기의 기술적 과제를 달성하기 위한, 본 발명에 따른 물의 용존산소량을 고려한 얼음 생성 시뮬레이션 방법은, 복수의 입자로 이루어진 액체가 사전에 설정된 3차원 좌표공간에서 고체로 변화하는 과정을 시뮬레이션하기 위해, 상기 3차원 좌표공간을 동일한 크기의 복수의 격자로 분할하는 좌표공간 분할단계; 상기 각각의 격자 내부에 위치하는 입자 각각의 상태를 상기 격자의 노드로부터 전달받은 열량에 따라 결정하는 입자상태 결정단계; 상기 결정된 입자의 상태가 고체인 얼음 입자와 상기 결정된 입자의 상태가 액체인 물 입자 사이의 거리를 기초로, 상기 얼음 입자가 가진 용존산소량을 상기 물 입자로 분배하는 용존산소량 분배단계; 및 상기 복수의 입자 각각이 가지는 열량 및 용존산소량을 기초로 상기 각각의 입자의 최종 상태를 결정하여 렌더링하는 렌더링단계;를 갖는다.

발명의 효과

[0016] 본 발명에 따른 물의 용존산소량을 고려한 얼음 생성 시뮬레이션 장치 및 방법에 의하면, 얼음이 생성되는 과정에서 내부의 공기 방울을 생성하여 사실적이고 세밀하게 얼음을 표현할 수 있다. 이때 용존산소량 필드를 생성하여 낮은 격자 해상도에서도 더 나은 결과를 산출할 수 있다. 그리고 거리장 기법을 이용하여 다양한 형태의 얼음을 생성할 수 있다. 또한 액체와 고체처럼 열 전도율이 다른 물질의 열 전도 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명에 따른 물의 용존산소량을 고려한 얼음 생성 시뮬레이션 장치에 대한 바람직한 실시예의 구성을 도시한 블록도,

도 2는 격자의 노드와 입자 사이에서 열량이 전달되는 상태를 나타낸 도면,

도 3은 얼음 입자에서 물 입자로 용존산소량이 이동하는 상태를 나타낸 도면,

도 4는 렌더링부가 생성한 용존산소량 필드를 나타낸 도면,

도 5는 거리장 함수를 이용한 시뮬레이션 과정을 나타낸 도면,

도 6은 다양한 형태의 얼음 모델을 시뮬레이션한 결과를 나타낸 도면,

도 7은 본 발명에 따른 물의 용존산소량을 고려한 얼음 생성 시뮬레이션 방법에 대한 바람직한 실시예의 수행과정을 도시한 흐름도,

도 8은 2차원 평면 및 3차원 볼륨에서 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타낸 도면,

도 9는 실제 얼음 사진과 본 발명에 따른 얼음 생성 시뮬레이션 방법에 의해 산출된 결과를 비교하여 나타낸 도면, 그리고,

도 10은 거리장 함수를 이용하여 임의의 3차원 모델을 렌더링한 결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하에서 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 물의 용존산소량을 고려한 얼음 생성 시뮬레이션 장치 및 방법의 바람직한 실시예에 대해 상세하게 설명한다.

[0019] 도 1은 본 발명에 따른 물의 용존산소량을 고려한 얼음 생성 시뮬레이션 장치에 대한 바람직한 실시예의 구성을 도시한 블록도이다.

[0020] 도 1을 참조하면, 얼음 생성 시뮬레이션 장치는 좌표공간 분할부(110), 입자상태 결정부(120), 용존산소량 분배부(130) 및 렌더링부(140)를 포함한다.

[0021] 좌표공간 분할부(110)는 복수의 입자로 이루어진 액체가 사전에 설정된 3차원 좌표공간에서 고체로 변화하는 과정을 시뮬레이션하기 위해, 3차원 좌표공간을 동일한 크기의 복수의 격자로 분할한다.

[0022] 또한 좌표공간 분할부(110)는 거리장 함수를 이용하여 고체로 변화하는 3차원 모델의 내부와 외부를 구분하고, 3차원 모델의 내부에 복수의 입자를 배치하여 다양한 3차원 형태의 얼음을 구현할 수 있다.

[0023] 그 후 입자상태 결정부(120)는 각각의 격자 내부에 위치하는 입자 각각의 상태를 격자의 노드로부터 전달받은 열량에 따라 결정한다.

[0024] 이때 격자의 노드로부터 전달받은 열량은 격자의 노드로부터 전달받은 온도에 의해 계산될 수 있다. 또한 입자상태 결정부(120)는 복수의 입자 각각의 위치에 따른 삼각 보간법(Trilinear Interpolation)을 적용하여 각각의 입자가 가지는 열량을 산출할 수 있다.

[0025] 구체적으로, 입자상태 결정부(120)는 입자의 상태를 입자의 온도가 0℃보다 클 경우에는 액체 상태인 물로, 입자의 온도가 0℃보다 작거나 같을 경우에는 고체 상태인 얼음으로 결정한다.

[0026] 또한 입자상태 결정부(120)는 각 입자들의 상태를 결정한 후, 복수의 격자의 노드 각각으로부터 사전에 설정된 기준범위 내에 위치하는 입자의 평균 온도를 산출하여 복수의 입자로부터 격자의 노드로 전달되는 열량을 산출한다.

[0027] 도 2는 격자의 노드와 입자 사이에서 열량이 전달되는 상태를 나타낸 도면이다.

[0028] 도 2를 참조하면, 도 2의 (a)는 격자의 노드에서 입자로 열량이 전달되는 상태를, (b)는 입자에서 격자의 노드로 열량이 전달되는 상태를 나타낸다.

[0029] (a)의 경우 입자상태 결정부(120)는 각 입자의 위치에 따른 삼각 보간법을 이용하여 p_1, p_2, p_3 및 p_4 노드에서 각 입자로 전달되는 열량을 산출한다.

[0030] (b)의 경우 입자상태 결정부(120)는 입자의 온도를 격자로 보간하기 위해 격자의 노드 p_1에서 사전에 설정된 기준범위 h안에 위치하는 입자들을 검출한 다음, 검출된 입자들의 평균 온도를 산출하여 격자의 노드로 전달되는 열량을 산출한다.

[0031] 입자에서 격자의 노드로 격자의 노드에서 입자로 온도 전달이 이루어지는 경우, 보간 과정에서 약간의 오차가 발생할 수 있지만 오차의 크기가 매우 적기 때문에 결과에 크게 영향을 주지 않는다.

[0032] 한편, 입자상태 결정부(120)는 입자와 격자의 노드 사이에서 주고 받는 열량을 산출하기 위해서 기존의 열 방정식을 유한차분법(Finite Difference Method)을 이용하는 라플라스 방정식(Laplace Equation)으로 풀어 사용한다.

[0033] 기존의 열 방정식에서는 열 전도 상수에 의해 열 전도율이 결정된다. 따라서 기존의 열 방정식으로는 동일한 격자 내에서 전도율이 다른 물질 사이의 열 전달을 산출할 수 없다.

[0034] 그러나 입자상태 결정부(120)는 다음의 수학식 1에 의해 동일한 격자 내에서 전도율이 다른 물질 사이의 열 전달을 산출할 수 있다.

수학식 1

[0035] $$\alpha_c = \alpha_{water}(1-W)+(\alpha_{ice} \cdot W)$$

[0036] $$W = \frac{p_{ice}}{p_{ice}+p_{water}}$$

[0037] 여기서, α_c는 격자의 열 전도 상수, α_{water}는 물의 열 전도 상수, α_{ice}는 얼음의 열 전도 상수, p_{ice}는 격자 내의 얼음 입자의 수, pw_{ater}는 격자 내의 물 입자의 수, W는 격자 내의 전체 입자에서 얼음 입자가 차지하는 비율을 나타낸다.

[0038] 그 결과 입자상태 결정부(120)는 액체와 고체처럼 열 전도율이 다른 물질 사이에서 전달되는 열량을 산출할 수 있다.

[0039] 다시 도 1을 참조하면, 용존산소량 분배부(130)는 결정된 입자의 상태가 고체인 얼음 입자와 결정된 입자의 상태가 액체인 물 입자 사이의 거리를 기초로, 얼음 입자가 가진 용존산소량을 물 입자로 분배한다.

[0040] 구체적으로, 용존산소량 분배부(130)는 다음의 수학식 2에 의해 얼음 입자의 용존산소량을 물 입자로 분배한다.

수학식 2

[0041]
$$\triangle D_{p_j} = \frac{\sum W_i D_{p_i}}{\sum W_i}$$

[0042]
$$W_i = \frac{1}{d_i} (d \leq 1)$$

[0043] 여기서, $^{\triangle D_{p_j}}$는 j번째 물 입자 p에 분배되는 용존산소량, $^{D_{p_i}}$는 i번째 얼음 입자 p의 용존산소량, ^{d_i}는 i번째 얼음 입자 p와 j번째 물 입자 p 사이의 거리, ^{W_i}는 거리에 따른 가중치를 나타낸다.

[0044] 도 3은 얼음 입자에서 물 입자로 용존산소량이 이동하는 상태를 나타낸 도면이다.

[0045] 도 3을 참조하면, 얼음 입자 p는 사전에 설정된 기준범위 h안에 있는 물 입자들을 검출하고, 얼음 입자 p의 용존산소량을 거리 기반으로 가중치를 부여한 수학식 2에 의해 검출된 물 입자에 분배한다.

[0046] 다시 도 1을 참조하면, 렌더링부(140)는 복수의 입자 각각이 가지는 열량 및 용존산소량을 기초로 각각의 입자의 최종 상태를 결정하여 렌더링한다.

[0047] 구체적으로, 렌더링부(140)는 입자의 용존산소량이 공기 방울로 변하기 시작하는 용존산소량보다 많은 경우, 입자의 용존산소량이 공기 방울로 표현되도록 렌더링한다.

[0048] 또한 렌더링부(140)는 입자의 용존산소량이 공기 방울로 변하기 시작하는 용존산소량과 0(ppm 또는 mg/L) 사이의 값을 갖는 경우, 입자의 용존산소량을 격자의 노드에 저장하여 용존산소량이 밀집해 있는 상태를 표현하는 용존산소량 필드를 생성한다.

[0049] 용존산소량 필드를 생성하는 이유는 실제 얼음과 유사한 형태의 얼음을 구현하기 위해서이다. 즉, 실제 얼음의 중앙에는 불투명한 영역이 존재한다. 이는 미세한 크기의 무수히 많은 공기 방울이 밀집해 있는 부분으로 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 이 부분을 모두 표현하는 것은 불가능하다.

[0050] 따라서 렌더링부(140)는 얼음 중앙의 불투명한 부분을 표현하기 위해 공기 방울로 형성되지 못한 입자들의 용존산소량을 용존산소량이 밀집해 있는 용존산소량 필드를 생성하여 표현하는 것이다.

[0051] 렌더링부(140)는 입자의 용존산소량을 앞서 설명한 입자의 온도를 격자의 노드에 저장하는 방법과 동일한 방법으로 격자의 노드에 저장한다. 또한 볼륨 렌더링으로 가시화하여 단시간에 불투명한 얼음을 사실적으로 표현할 수 있다.

[0052] 도 4는 렌더링부(140)가 생성한 용존산소량 필드를 나타낸 도면이다.

[0053] 도 4를 참조하면, 하얀색 점은 공기 방울을, 붉은색 영역은 용존산소량을 격자에 저장하여 생성한 용존산소량 필드를 나타낸다.

[0054] 한편, 본 발명에 따른 얼음 생성 시뮬레이션 장치는 거리장 함수를 이용하여 다양한 형태의 얼음을 시뮬레이션 할 수 있다.

[0055] 도 5는 거리장 함수를 이용한 시뮬레이션 과정을 나타낸 도면이다.

[0056] 도 5를 참조하면, 좌표공간 분할부(110)는 거리장 함수를 이용하여 3차원 모델의 내부와 외부를 구분하고, 3차원 모델의 내부에 입자를 생성하여 다양한 형태의 얼음 모델을 시뮬레이션할 수 있다.

[0057] 그 후의 구체적인 과정은 앞서 설명한 바와 같다. 즉, 입자상태 결정부(120)는 각각의 격자 내부에 위치하는 입자 각각의 상태를 격자의 노드로부터 전달받은 열량에 따라 결정한다.

[0058] 다음으로 용존산소량 분배부(130)는 결정된 입자의 상태가 고체인 얼음 입자와 결정된 입자의 상태가 액체인 물 입자 사이의 거리를 기초로, 얼음 입자가 가진 용존산소량을 물 입자로 분배한다.

[0059] 마지막으로 렌더링부(140)는 복수의 입자 각각이 가지는 열량 및 용존산소량을 기초로 각각의 입자의 최종 상태를 결정하여 렌더링한다.

[0060] 도 6은 다양한 형태의 얼음 모델을 시뮬레이션한 결과를 나타낸 도면이다.

[0061] 도 6을 참조하면, 각각의 모델에서 파란색 점은 얼음 입자를, 하얀색 점은 공기 방울을, 붉은색 영역은 용존산소량 필드를 나타낸다.

[0062] 도 7은 본 발명에 따른 물의 용존산소량을 고려한 얼음 생성 시뮬레이션 방법에 대한 바람직한 실시예의 수행과정을 도시한 흐름도이다.

[0063] 좌표공간 분할부(110)는 복수의 입자로 이루어진 액체가 사전에 설정된 3차원 좌표공간에서 고체로 변화하는 과정을 시뮬레이션하기 위해, 3차원 좌표공간을 동일한 크기의 복수의 격자로 분할한다(S710).

[0064] 그 후 입자상태 결정부(120)는 각각의 격자 내부에 위치하는 입자 각각의 상태를 격자의 노드로부터 전달받은 열량에 따라 결정한다(S720). 구체적으로, 입자상태 결정부(120)는 입자의 상태를 입자의 온도가 0℃보다 클 경우에는 액체 상태인 물로, 입자의 온도가 0℃보다 작거나 같을 경우에는 고체 상태인 얼음으로 결정한다.

[0065] 그 다음으로 용존산소량 분배부(130)는 결정된 입자의 상태가 고체인 얼음 입자와 결정된 입자의 상태가 액체인 물 입자 사이의 거리를 기초로, 얼음 입자가 가진 용존산소량을 물 입자로 분배한다(S730).

[0066] 마지막으로 렌더링부(140)는 복수의 입자 각각이 가지는 열량 및 용존산소량을 기초로 각각의 입자의 최종 상태를 결정하여 렌더링한다(S740).

[0067] 본 발명의 성능을 평가하기 위한 실험을 수행하였다. 실험은 다음의 표 1과 같은 시뮬레이션 환경에서 수행되었다.

표 1

[0068]

프로세서	Intel Core2 Quad CPU 2.66GHz
메모리	6GB RAM
그래픽 카드	GeForce 8800GTS
사용 프로그램	Microsoft Window 7 Microsoft Visual Studio 2008 C++ OpenGL Autodesk Maya 2010

[0069] 표 1을 참조하면, 실험에서는 시뮬레이션 결과를 MAYA를 이용하여 렌더링하였다. 시뮬레이션을 결과를 바탕으로 공기 방울과 용존산소량 필드를 생성해 저장하고, 공기 방울은 용존산소량에 따라 구형 모델로 용존산소량 필드는 볼륨 렌더링을 이용하여 렌더링하였다.

[0070] 또한 얼음 표면에서 반사하는 빛을 표현하기 위해 광선 추적법을 사용하고, 얼음을 투과하여 한 점에 모이는 굴절을 표현하기 위해 커스틱(Casutic) 효과를 적용하였다.

[0071] 도 8은 2차원 평면 및 3차원 볼륨(volume)에서 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타낸 도면이다.

[0072] 도 8을 참조하면, 도 8의 (a)는 2차원 평면에서 시뮬레이션을 수행한 결과를, (b)는 3차원 볼륨에서 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타낸다.

[0073] (a)의 경우 파란색 영역은 얼음 입자를, 붉은색 영역은 용존산소량 필드를, 하얀색 부분은 공기 방울을 나타낸

다. (b)의 경우 얼음 입자를 제외한 영역만을 표시하였고, 색에 따른 구분은 (a)의 경우와 동일하다.

[0074] 시뮬레이션 결과를 통해 물과 직접 맞닿아있는 경계면부터 빙결이 시작되어 용존산소량이 점차 물의 중심으로 모이는 것을 확인할 수 있다.

[0075] 도 9는 실제 얼음 사진과 본 발명에 따른 얼음 생성 시뮬레이션 방법에 의해 산출된 결과를 비교하여 나타낸 도면이다.

[0076] 도 9를 참조하면, 도 9의 (a)는 실제 얼음 사진을, (b)는 본 발명에 따른 얼음 생성 시뮬레이션 방법에 의해 산출된 결과를 나타낸다.

[0077] 쉬운 비교를 위해 실제 얼음 사진은 렌더링 환경과 비슷하게 촬영하였고 시뮬레이션에 사용된 모델은 사진과 비슷한 정육면체 모델을 이용하여 수행했다.

[0078] 사진의 얼음은 한 번 끓인 물을 사용함으로써, 일반 수돗물보다 낮은 용존산소량을 가진 물을 이용하였다. 또한 냉동고의 물은 바닥에서의 열 전달이 매우 낮기 때문에 시뮬레이션 또한 바닥에서의 온도 전달을 낮추어 수행하였다.

[0079] 도 10은 거리장 함수를 이용하여 임의의 3차원 모델을 렌더링한 결과를 나타낸 도면이다.

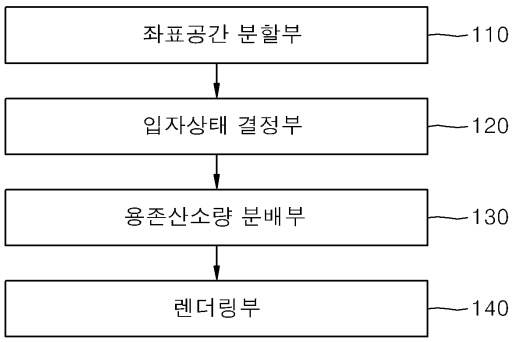
[0080] 도 10을 참조하면, 임의의 모델의 경우 모델의 모든 부분에서 열 전달이 수행된다고 가정하였다. 그 결과, 본 발명에 따른 얼음 생성 시뮬레이션 장치는 거리장 함수를 이용하여 정육면체 모델에 한정하지 않고 다양한 형태의 얼음을 시뮬레이션할 수 있다.

[0081] 본 발명은 또한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

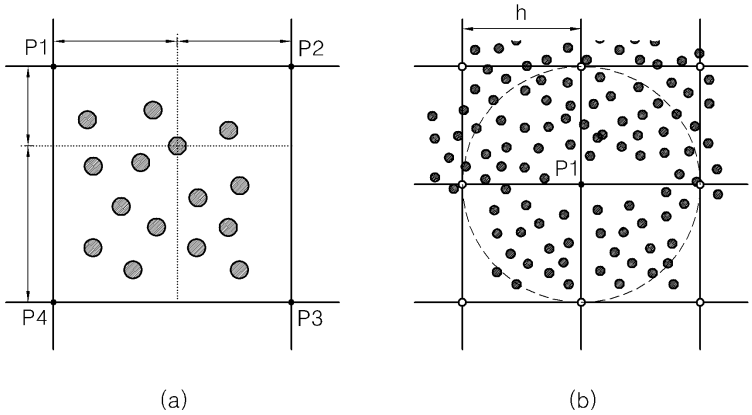
[0082] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특정의 바람직한 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

도면

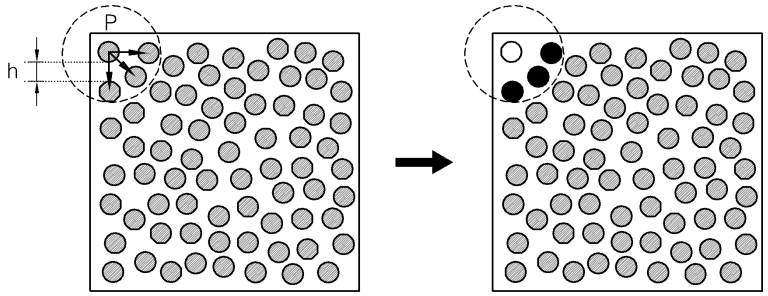
도면1



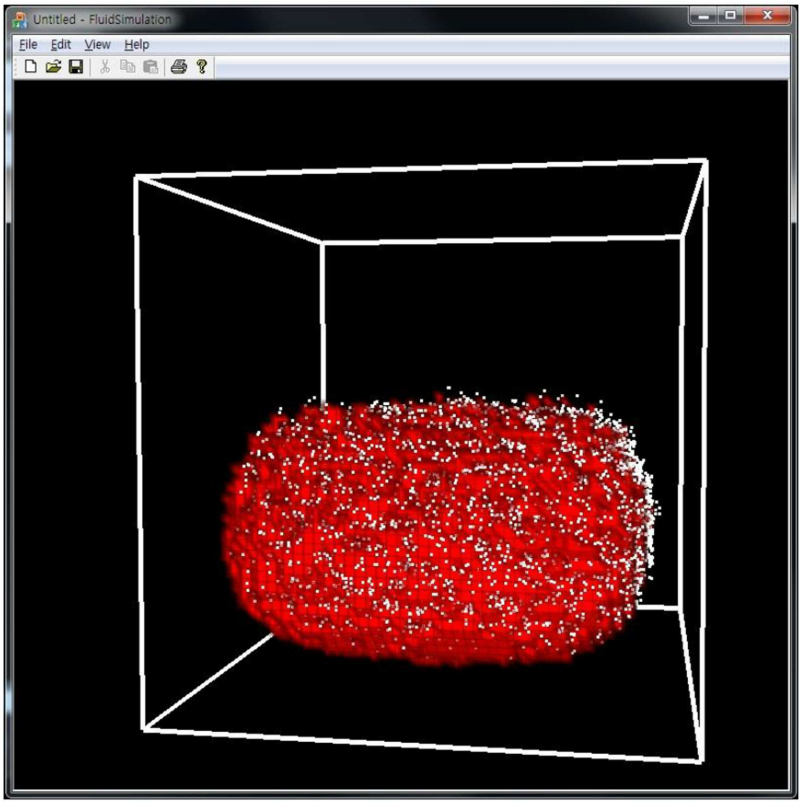
도면2


P1
P2
P4
P3
h
P1
(a)
(b)

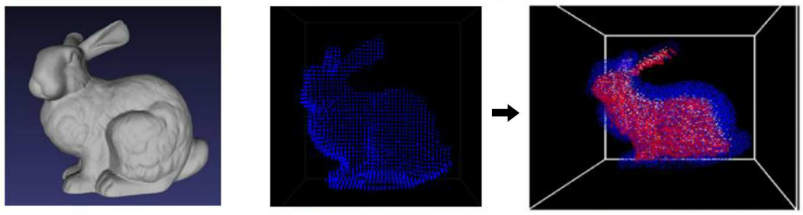
도면3


P
h

도면4


Untitled - FluidSimulation
File Edit View Help

도면5

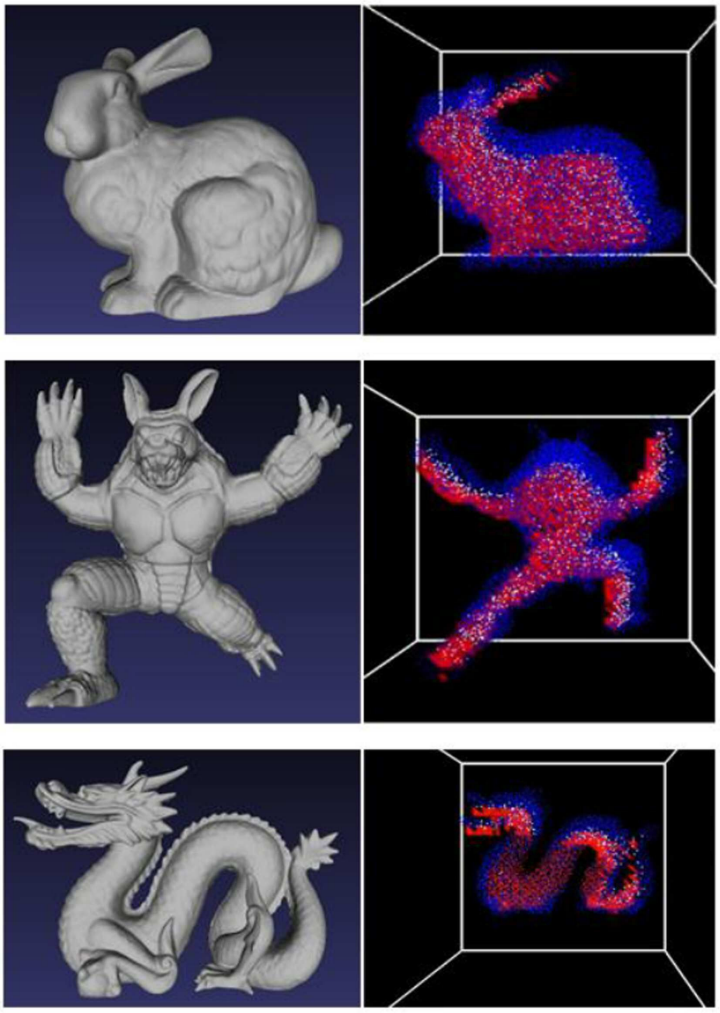


원본 모델

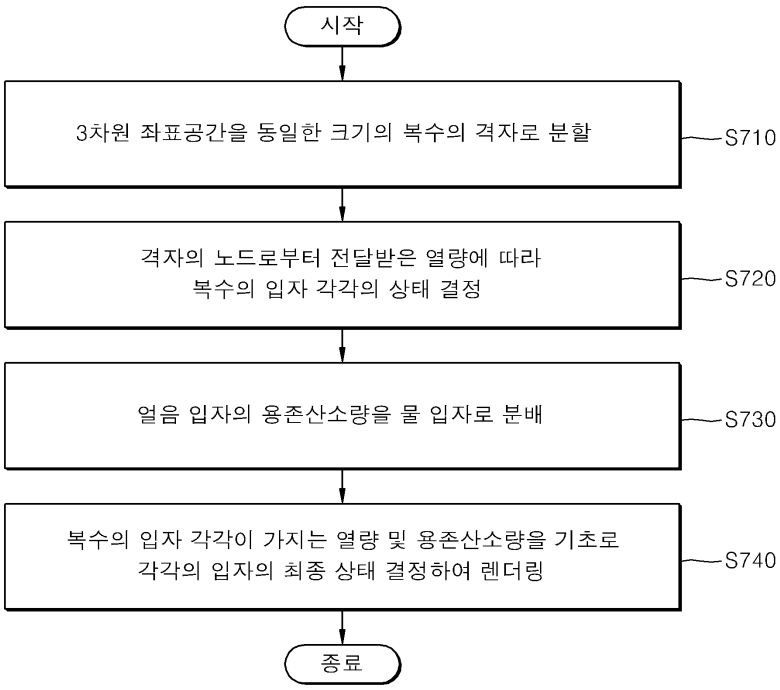
거리장 함수를 이용하여
내부와 외부를 구분

모델 내부에 입자 생성

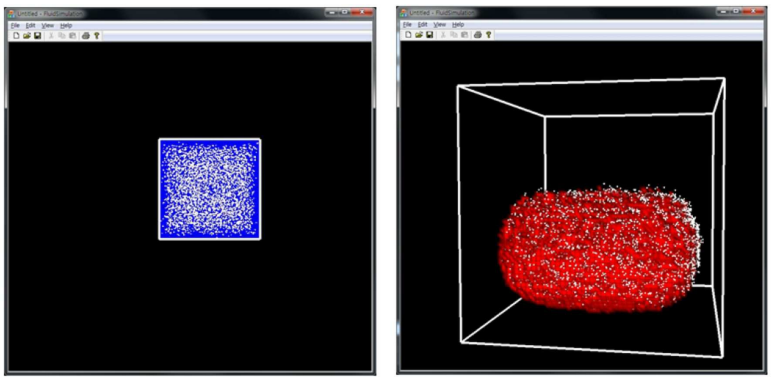
도면6



도면7

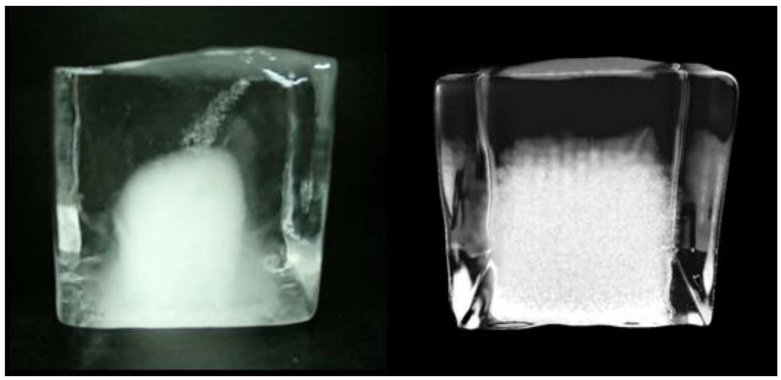


도면8



(a) (b)

도면9



도면10

