한국 CAD/CAM 학회 논문집
제 16권 제 5호 2011년 10월 pp. 323-330

자동차 차체에서 빗물의 역류 모사에 관한 연구

이정운*, 윤재득*, 박성배**, 정융호***

A Study on Backflow Simulation of Rainwater for Automotive Body

Jungwoon Lee*, Jeadeuk Yun*, Sungbae Park** and Yoongho Jung***

ABSTRACT

Large number of part design such as for aircraft and automotive development is preceded by functional or sectional design groups for efficiency. With the assembly development of large number of parts, interferences and gaps can be found when the parts and sub-assemblies by those design groups are to be assembled. When rainwater come into the space among parts and is not be drained sufficiently, rainwater within the structure can backflow to gaps or unexpected outlets, which may cause severe problems of part corrosion and electric shock. This research has developed a method and a program to simulate backflow of rainwater within space among parts, which can find unexpected outlets and gaps as in real situation. The developed program can not only simulate up and downstream of liquid, but also the flow with multiple channels of division and joining. The developed method can also be applied to aircraft and ship design process.

Key words : Automobile, Backflow, Drainage, Gap, Octree

1. 서 론

제품의 설계 기간과 제작 기간의 단축이 요구되고 있는 자동차, 항공기, 선박 등은 부품수가 많기 때문에 다수의 설계자가 동시에 설계를 진행하여야 한다. 그러나 이러한 동시 설계의 경우 부품간의 간섭과 충돌, 불필요한 틈새 등 많은 문제점이 발생하고 있다. 특히, 자동차 차체의 경우 얇은 판재로 조립 또는 용접하게 되는데 차체의 강성을 증가시키기 위해 의도적으로 공간을 생성하기도 하지만 설계자의 오류에 의해 불필요한 공간이 생성되기도 한다. 이렇게 생성된 공간의 일부는 빗물이나 노로로부터 유입되는 오수의 배수로 역할을 수행한다. 그런데 이러한 배수로를 통해 배수가 원활하지 못할 경우 역류가 발생하여 배수로가 아닌 공간이나 설계 오류로 인해 의도하지 않은 틈새를 통해 차실 내부로 유입되기도 한다. 이렇게 유입된 빗물 등은 각종 부품의 부식을 야기하여 자동차의 내구성을 저하시키며, 전기 계통이나 전자부품으로 유입될 경우 감전이나 오작동을 일으키는 치명적인 문제를 야기하기도 한다[1]. 이러한 문제점을 설계 단계에서 확인하기 위해, 기존의 설계 방법에서는 삼차원 부품의 조립체 모델에 대해 의심되는 영역을 이차원의 단면 형상으로 추출하여 설계 오류를 확인하지만, 단면 형상만으로 배수 경로를 확인하는 것은 불가능하다.

이러한 문제를 해결하기 위한 직접적인 연구는 아직 보고되지 않았지만, 조립체의 공간을 탐색하는 방법이나 유동 시뮬레이션, 사출 성형공정의 유동선단 해석 등의 방법은 이미 알려져 있다. 조립체의 공간을 탐색하는 방법으로, 모델을 포함하는 볼록 껍질(Convex hull)을 구한 후 그 볼록 껍질의 체적으로부터 원래의 물체를 불리안 차집합(Boolean subtraction)하여 고립 가능 체적(Tentative trapped volume)을 계산하는 알고리즘[2]을 적용할 수 있지만, 부품간의 공간뿐만 아니라 볼록 껍질과 부품 사이의 공간도 탐색되기 때문에 본 연구의 목적에는 적합하지 않다. 유동 시뮬레이션의 대표적인 방법에는 입자법(Particle

*학생회원, 부산대학교 대학원 기계공학부
**비회원, 현대자동차
***교신저자, 종신회원, 부산대학교 기계공학부
- 논문투고일: 2011. 06. 24
- 심사완료일: 2011. 06. 29

method)[3]과 격자법(Grid method)에 의한 유동 해석법[4]과 옥트리(Octree)를 이용한 유체의 유동 해석법[5]이 있으며, 사출 성형공정에서 충진 과정을 해석하고 모사하는 방법에는 라그랑지안(Lagrangian) 격자기법[6]과 오일러리안(Eulerian) 격자기법[7], 그리고 ALE(Arbitrary Lagrangian-Eulerian) 기법[8]이 있지만 이러한 방법은 유체의 속도와 점성, 압축성 등 다양한 변수를 고려하여 해석하는 방법으로서 본 연구의 목적에는 적합하지 않다. 또한 다수의 부품들로 이루어진 공간에서 지정한 두 점 사이의 최단 유동 경로를 퀴드트리와 옥트리를 사용하여 구하는 방법[9]이 있지만, 여러 경로를 모사할 수 없으므로 본 연구에는 적용하기 어렵다.

본 연구에서는 자동차 차체를 이루는 자유 곡면 형상의 판재들 사이에 발생하는 복잡한 형상의 공간을 자동 탐색하여 가시화하고, 허용 배수량을 초과하여 발생하는 역류를 모사함으로써 설계자가 설계 단계에서 역류에 의한 내부 유입 경로와 위치를 미리 파악하여 대처할 수 있는 방법과 도구를 개발하고자 한다.

2. 역류 모사 방법의 개요

본 연구에서는 자동차 차체 부품들 사이에 발생하는 공간을 자동으로 탐색하고, 이들 중 배수로가 되는 공간에서 역류를 모사함으로써 빗물이나 오수가 차실 내부로 유입되는지를 확인하는 방법을 개발하고자 한다. 자동차 차체는 대부분 자유 곡면 형상의 얇은 판재이므로, 이러한 부품들 사이에 생성되는 공간은 복잡한 형상이 될 수 있다. 이러한 복잡한 형상의 공간을 자동으로 탐색하고 역류를 모사하기 위해, 본 연구에서는 형상의 복잡성에 제한을 받지 않으며 계산의 효율을 높일 수 있는 분할(Discrete) 모델로 부품과 공간을 표현한다. 삼차원 형상을 분할 모델로 표현하는 대표적인 방법에는 복셀(Voxel)과 옥트리를 이용하는 방법이 있다[10,11]. 본 연구에서는 부품들 사이 공간의 자동 탐색과 계산 효율을 위해 Aitor가 제안한 옥트리와 복셀을 혼합한 방법[12]을 사용하며, 전체적인 알고리즘은 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에 나타낸 바와 같이, 먼저 대상 모델을 STL 파일 형식으로 입력 받는다. 그 다음, 각 부품을 대상으로 하지 않고 자동차 차체 전체를 대상으로 각 부품을 정해진 해상도까지 옥트리로 분할한다. 그 다음, 옥트리로 표현된 각 부품을 주어진 해상도 크기의 복셀로 분할한다. 옥트리로 표현된 각 부품을 다시 균일한 크기의 복셀 모델로 분할하여 표현하는 이유는 다음 장에서 자세히 설명된다. 복셀로 표현된 모든 부품들을 자신의 위치에 배치하여 자동차 차체의 분할 모델을 완성한 후, 부품들 사이의 내부 공간과 외부 공간을 이루는 복셀을 구분한다. 마지막으로, 배수로에서 역류로 인한 빗물의 이동을 모사하는 과정을 수행한다. 다음 장에서 각 단계에 대해 보다 자세히 설명한다.

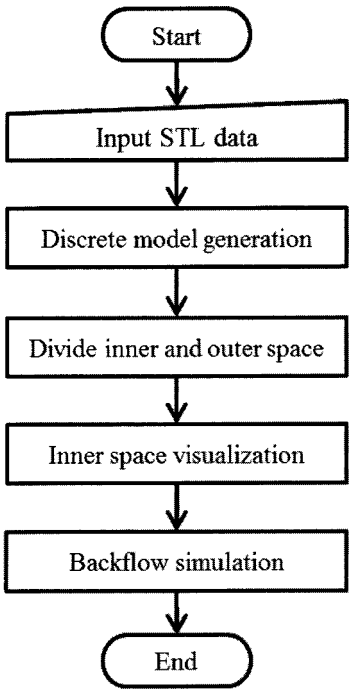


Fig. 1. Overall algorithm for backflow simulation.

3. 부품 간의 공간 가시화

본 연구는 부품들 사이에 생성된 복잡한 형상의 공간을 짧은 계산 시간에 자동으로 탐색하고, 생성된 공간 중 배수로에 해당하는 공간을 찾아 역류의 경우를 모사하는 방법을 개발하는 것이다. 본 연구에서는 복잡한 형상의 공간을 효과적으로 나타내기 위해 공간과 부품을 분할 모델로 표현한다. 분할 모델로 표현함으로써 부품들이 차지하는 공간을 제외한 공간이 자동차 차체 외부의 공간 또는 부품들 사이의 공간이 된다.

3.1 분할 모델의 생성

입체 형상을 분할 모델로 표현하는 대표적인 방법 중 균일한 크기의 복셀로 표현하는 방법은 알고리즘

이 간단하고 이웃 요소를 찾기 쉬운 장점이 있지만, 복셀의 크기가 작아질수록 이에 따른 메모리의 크기가 급격히 증가하고 각 복셀이 부품의 내부나 외부에 존재하는지를 판단하는 시간이 증가한다. 반면, 옥트리는 Fig. 2(a)와 같은 물체에 대해 Fig. 2(b)와 같이 물체를 포함하는 최소한의 육면체인 '뿌리 요소'(Root Octant)를 구하고 이를 여덟 개의 팔분체(Octant)로 분할한 다음, 각각의 요소와 물체와의 포함 관계를 판별하여 '내부'(Full)와 '외부'(Empty), '부분'(Partial) 요소로 분류한다. 그 다음 '부분' 요소로 분류된 요소를 다시 여덟 개의 팔분체로 분할하는 앞의 과정을 반복하여 원하는 해상도 수준까지 분할한다. 옥트리 방법은 '부분' 요소만 원하는 해상도 수준까지 분할하므로 복셀에 비해 요소 개수를 줄일 수 있고 계산 시간을 줄일 수 있는 이점이 있다. 그러나 빗물의 역류를 모사할 경우, 다양한 크기의 요소들로 나타내는 옥트리 방법보다 동일한 크기의 복셀로 표현한 방법이 보다 사실적으로 표현할 수 있는 이점이 있다. 본 연구에서는 이 두 방법의 장점을 모두 취하기 위해 다음과 같은 방법으로 분할 모델을 표현하며, 이해를 돕기 위해 두 개의 부품으로 이루어진 조립체에 대해 이차원의 경우로 설명한다.

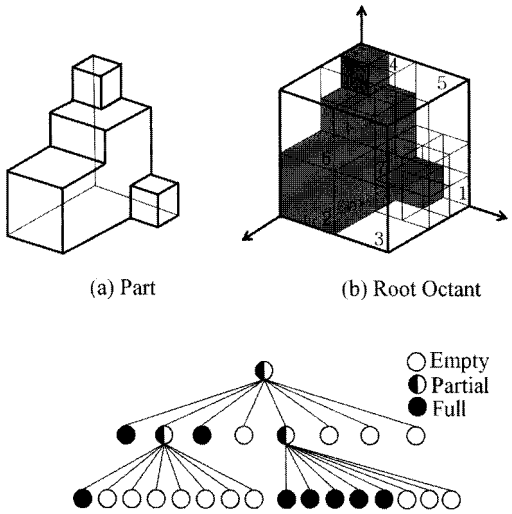


Fig. 2. Octree generation.

먼저, STL 파일로 입력 받은 각각의 부품들을 옥트리로 표현할 때 각 부품이 조립되는 위치에 있게 하기 위해 Fig. 3(a)와 같이 전체 조립체를 포함하는 정육면체(Fig. 3에서는 사각형)를 '뿌리 요소'로 정하고, 이를 지정한 해상도 수준까지 분할하여 Fig. 3(b)와 같이 부품 1을 옥트리로 표현한다. 그 다음, 부품 1의 모든 '부분' 요소들을 포함하는 최소 크기의 육면체에 대해, Fig. 3(c)와 같이 옥트리의 최소 요소와 같은 크기의 요소, 즉 복셀로 균일하게 분할한다. 이때, '외부' 또는 '내부' 요소로부터 분할되는 복셀은 부모 요소의 부품에 대한 포함관계를 그대로 이어받기 때문

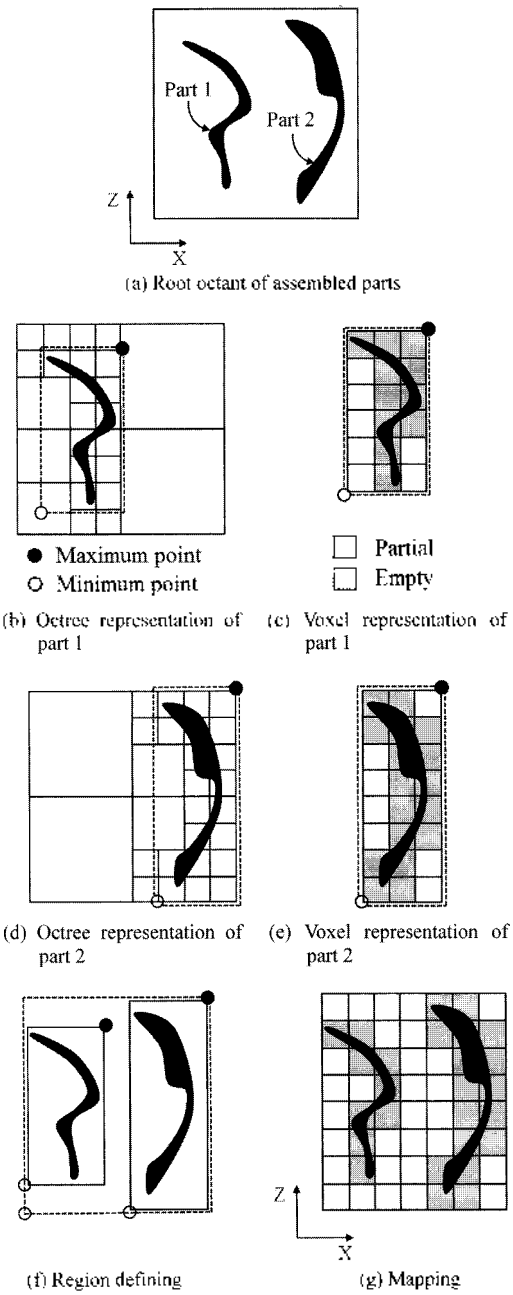


Fig. 3. Mapping all parts on assembly voxel model.

에, 복셀로 변환하는 과정에서 추가로 소요되는 시간은 많지 않다. 분할된 각 복셀은 해당 부품의 고유번호와 그 부품과의 포함관계에 대한 정보를 저장하고, 부품 1에 대한 복셀의 최소 좌표점의 위치와 최대 좌표점의 위치를 저장해 둔다. 이러한 과정을 부품 2에도 적용하여 Fig. 3(e)와 같이 복셀로 표현한다.

마지막으로, Fig. 3(f)와 같이 부품 1과 부품 2의 복셀 모델을 포함하는 육면체를 생성하여 복셀로 분할한 다음, Fig. 3(g)와 같이 각 부품들의 복셀 모델들을 해당하는 위치로 매핑(Mapping)하여 조립체 복셀 모델을 완성한다. 이때, 각 복셀들은 자신을 포함하는 모든 부품들의 고유번호에 대한 정보를 저장한다.

3.2 부품들 사이의 공간 탐색

전체 조립체에 대한 복셀 모델이 완성된 후 부품들 사이의 공간을 탐색하여야 한다. 그런데 자유 곡면의 형상을 가진 부품들로 조립되어 있는 경우, 부품들 사이의 공간과 부품들의 외부 공간과의 경계면을 정의하는 것이 매우 모호한 문제점이 있다. 본 연구에서는 다음과 같은 방법으로 부품들 사이의 공간만을 자동으로 탐색한다. 이해의 편의를 위해 이차원의 경우로 설명하겠다.

Fig. 4(a)와 같이 복셀로 표현된 여러 부품들이 조립체 복셀 모델에 매핑되어 있을 때, 조립체 복셀 모델의 최하위의 행부터 X 축 방향으로 탐색하는 과정을 Y 축 방향으로 순차적으로 진행한다. 즉, 각 행에 대해 X 축 방향으로 탐색하여 서로 다른 부품의 '부분' 요소에 해당하는 복셀들 사이의 복셀들을 모두 '내부 공간'(Inner Space, IS) 요소로 분류한다. 예를 들어, Fig. 4(a)의 아래에서 8번째 행의 경우 6, 7, 8번째에 있는 요소들이 부품 1과 부품 2의 '부분' 요소들 사이에 있고, 10, 11, 12번째에 있는 요소들이 부품 2와 부품 3의 '부분' 요소들 사이에 있으므로 이들을 '내부 공간' 요소로 분류한다. 이러한 과정을 Fig. 4(b)와 같이 Y 축 방향에도 동일한 과정으로 실행한 후 '내부 공간' 요소로 분류된 요소들의 합집합을 구하면 Fig. 4(c)와 같이 자유 곡면의 형상을 가진 부품들 사이의 공간이 탐색된다.

4. 역류 경로 탐색 및 모사 알고리즘

자동차 차체 부품들 사이로 빗물이 유입되었을 때 배출이 원활하지 못하면 차체 부품들 사이의 공간에서 역류가 발생할 수 있다. 이 경우 역류에 의해 빗물이 정해진 배수 경로가 아닌 다른 공간으로 유입될 경우 누선이나 부식 등 여러 가지 문제를 야기시킬 수 있다. 따라서 설계단계에서 이러한 비정상적인 빗물의 역류를 모사하여 예측할 수 있어야 설계 수정 등의 조치를 취할 수 있다. 본 장에서 이러한 빗물의 역류 경로를 탐색하고 모사하는 알고리즘을 설명한

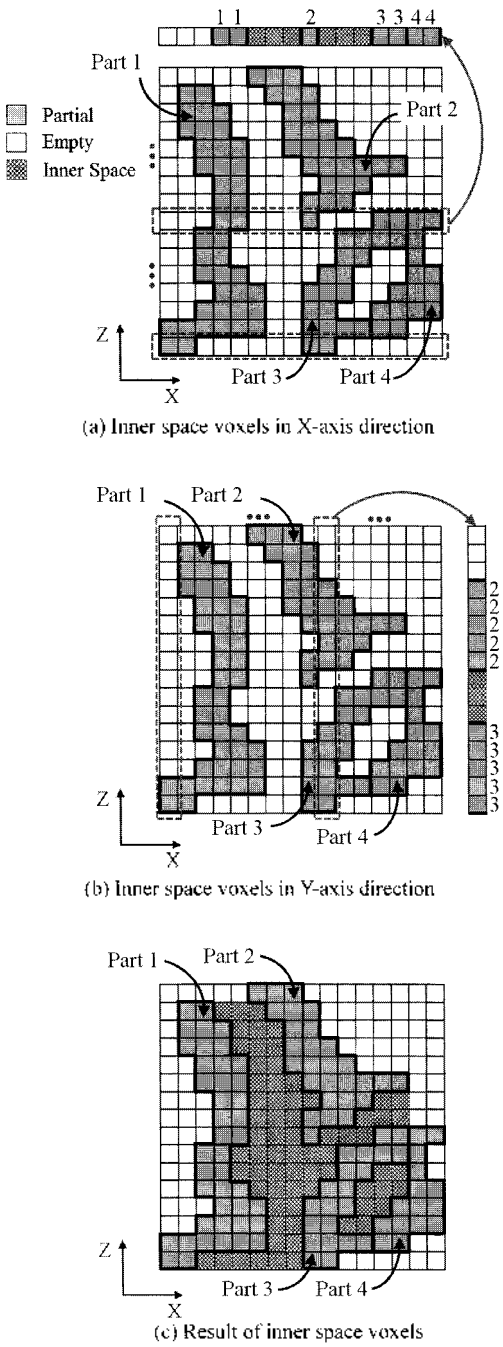


Fig. 4. Inner space voxels among parts.

다. 단, 본 연구에서는 차체 부품들 사이의 배수로에서의 역류 경로를 탐색하는 것이 목적이므로, 유속과 내부 공간의 기하학적 형상에 의한 저항 등은 고려하지 않는다. 본 논문에서 개발한 배수로에서의 역류 경로를 탐색하고 모사하는 알고리즘의 개요는 Fig. 5와 같다.

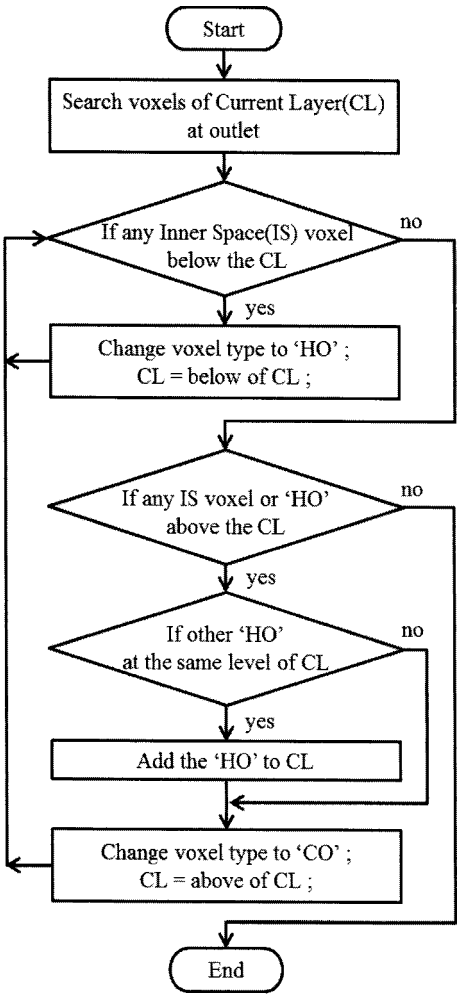
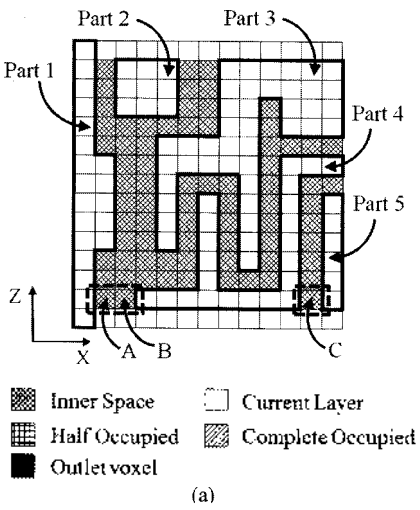


Fig. 5. Backflow simulation on algorithm.

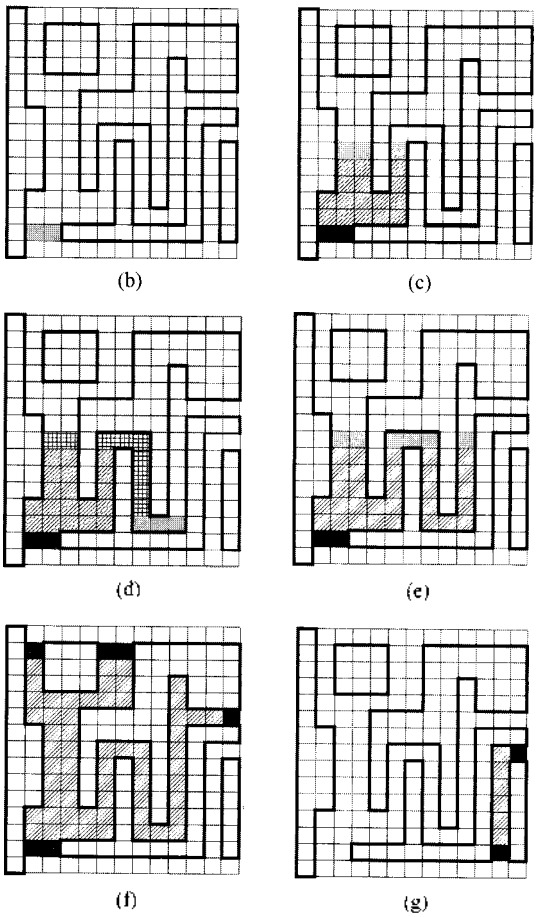
먼저 본 연구에서의 역류 모사를 위하여 빗물이 채워지고 있거나 흘러가는 복셀을 'HO'(Half Occupied) 요소로, 빗물이 이미 채워진 복셀을 'CO'(Complete Occupied) 요소로 분류한다. 먼저 배출구에 해당하는 복셀을 자동으로 찾는다. 즉, 조립체 복셀 모델의 최하위 행부터 검사하여 최하위의 '내부 공간' 요소 또는 '외부' 요소의 위에 존재하는 '내부 공간' 요소를 찾고, 같은 층(행)에 존재하는 이웃하는 '내부 공간' 요소들을 모두 찾아 '현재 층'(Current Layer, CL)을 형성한다. '현재 층'을 형성하는 알고리즘은 본 장의 후반부에 소개한다.

'내부 공간' 요소에서 'HO' 요소로 변경하고, 찾아진 아래의 '내부 공간' 요소들의 층을 '현재 층'으로 설정한다. 그러나 처음 형성한 '현재 층'의 아래에 '내부 공간' 요소가 없고 '현재 층'의 위에 '내부 공간' 요소 또는 'HO' 요소가 존재하면 '현재 층'을 'CO' 요소로 분류한다. 그리고 '현재 층' 위의 '내부 공간' 요소 또는 'HO' 요소를 모두 찾아 새로운 '현재 층'으로 설정한다. 이때, 만약 같은 높이에 있는 다른 'HO' 요소가 있으면 이들을 모두 '현재 층'에 포함시킨다. 이러한 과정을 '현재 층'의 위쪽에 'HO' 요소 또는 'IS' 요소가 존재하지 않을 때까지 반복하면 여러 경로로 갈라진 배수로에 대해서도 역류 현상을 모사할 수 있다.

이해를 돕기 위해, 본 연구에서 제안한 Fig. 5의 역류 모사 알고리즘을 Fig. 6(a)와 같이 5개의 부품으로 조립된 조립체에 적용하였을 때 이차원의 경우를 예를 들어 설명하겠다. Fig. 6(a)와 같이 먼저 최하위 층부터 탐색하여 '외부' 요소의 위에 존재하는 '내부 공간' 요소(A, B, C)를 찾으면 이들이 배출구에 해당하는 복셀들이다. 사용자가 이 중 하나(A 또는 B)를 선택하면 Fig. 6(b)와 같이 '현재 층'이 형성된다. 그 다음, '현재 층'의 아래에 '내부 공간' 요소가 없으므로 '현재 층'의 위에 있는 '내부 공간' 요소를 찾아 '현재 층'으로 변환하고, '현재 층'의 아래는 물이 채워진 요소(CO)로 변환하는 과정을 7번째 층까지 반복하면 Fig. 6(c)와 같이 모사된다. 8번째 층의 경우 '현재 층'의 아래에 '내부 공간' 요소가 존재하므로, 바닥에 닿을 때까지 그 아래 층을 탐색하는 과정을 반복하면 Fig. 6(d)와 같이 모사된다. 그 다음, Fig. 6(d)의 '현재 층'에서 아래에 '내부 공간' 요소가 없으므로 다시 위의 층으로 진행하는 과정을 반복하면 Fig. 6(e)와 같이 모사된다. 이 때, 같은 높이에 있는 다른 'HO' 요소가 있으면 이들도 '현재 층'에 포함한다. 그 다음 '현재 층'의 위쪽에 'HO' 또는 '내부 공간' 요소가 존재하지 않을 때까지 다시 반복하면, Fig. 6(f)와 같이 빗물로 채워지는 과정을 모사할 수 있다. 뿐만 아니라 이러한 역류 모사 과정 중 '외부' 요소 또는 조립체 복셀의 경계와 만나는 요소도 찾아지는데, 이러한 요소는 역류에 의한 빗물의 배출 위치가 된다. 만약 처음 요소로 C를 선택하면 알고리즘에 의해 Fig. 6(g)와 같은 결과가 나온다.



(a)



(b) (c) (d) (e) (f) (g)

Fig. 6. Example of backflow simulation.

한편, 같은 높이에서 빗물이 채워지는 '현재 층'을 형성하는 모든 복셀을 탐색하는 과정은 Fig. 7과 같다. 즉, Fig. 7과 같이 임의의 높이에 있는 층에서 빗물이 채워지는 하나의 복셀이 탐색되었을 때, 이를 '시작 복셀'로 하여 이웃하는 좌측, 전방, 우측, 후방의 '내부 공간' 요소를 순차적으로 찾는 과정을 반복한다. 만약 이웃하는 '내부 공간' 요소가 없을 경우, 이전의 복셀로 돌아와 탐색하지 않은 다른 방향에 있는 이웃 요소를 찾는 과정을 반복하면 빗물이 채워지는 모든 복셀을 탐색하여 '현재 층'을 형성할 수 있다. Fig. 7에서 실선의 화살표는 순차적으로 찾아지는 방향을 나타내며, 점선의 화살표는 이웃하는 '내부 공간' 요소가 없을 경우 이전의 복셀로 돌아오는 과정을 나타낸다.

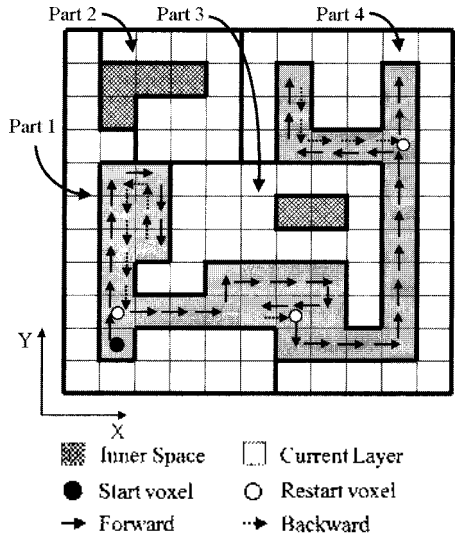
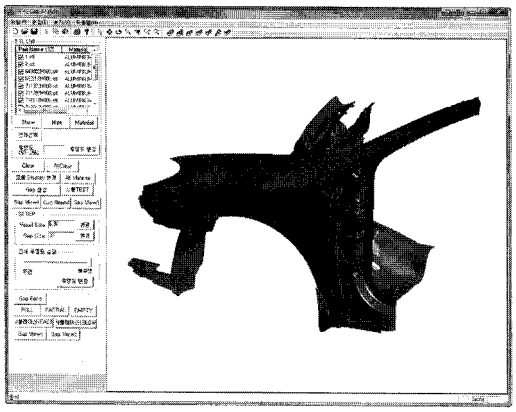


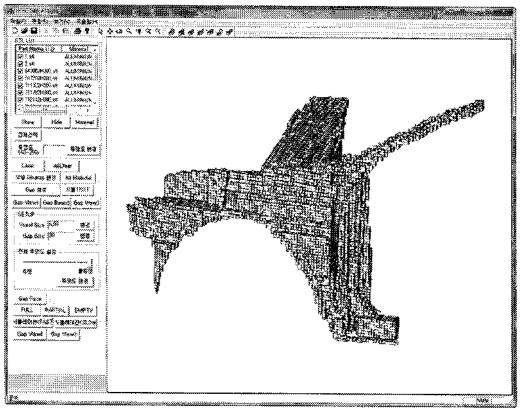
Fig. 7. Current Layer.

5. 적용 및 결과

본 연구에서 제안한 알고리즘을 구현하여 실제 자동차의 차체 부품으로 된 조립체에 적용하여 프로그램의 유용성을 검증하였다. Fig. 8(a)는 자동차 차체 중 Front Pillar, Cowl 및 Dash 부위의 STL data를 입력 받은 조립체를 나타내며, Fig. 8(b)는 이 부품들 사이의 공간이 탐색된 결과이다. 그리고 Fig. 9는 Fig. 8의 조립체에서 유입구(Inlet)로 유입된 빗물이 설계한 배출구(Designed outlet)에서 배수가 원활하지 못하여 발생한 역류를 모사한 결과를 보인 것인데, 실제 프로그램에서는 빗물이 공간 내에서 역류되어 차 올라가는 현상이 동영상처럼 사실적으로 모사된다. 모사 과정에서 설계 오류로 인한 부품들 사이의 틈새로 빗물



(a) STL data of parts



(b) Inner space voxels

Fig. 8. Example of inner space.

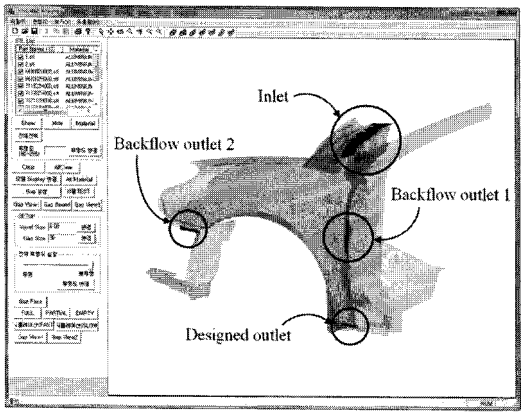


Fig. 9. Example of backflow simulation.

이 유출되는 위치(Backflow outlet 1)를 확인할 수 있으며, 역류로 인한 빗물의 다른 배출 위치(Backflow outlet 2)도 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 자동차 차체 부품들 사이의 공간을 분할 모델로 가시화하고, 원활한 배수가 이루어지지 않아 차체 부품들 사이의 공간을 통하여 빗물이 역류하는 과정을 모사하는 방법과 프로그램을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 방법은 다음과 같은 장점이 있다.

본 연구에서 채택한 옥트리와 복셀을 혼합한 방법은 모든 부품들과 공간을 복셀로 표현함으로써, 복셀로만 표현하는 방법보다 계산시간이 빠르며 옥트리만으로 표현한 방법보다 사실적으로 역류를 모사할 수 있다. 그리고 본 연구에서 제안한 조립체 복셀 모델의 배수로에서 빗물이 채워지는 같은 높이의 복셀들을 찾는 방법은 어떠한 복잡한 형상이라도 적용 가능하며 정확하게 찾을 수 있다. 또한 본 연구에서 제안한 역류 모사 알고리즘은 빗물이 차 올라가거나 다시 흘러 내려가는 경우도 모사할 수 있으며, 여러 경로로 분할되거나 합쳐지는 유동 경로에 대해서도 사실적으로 모사할 수 있다. 뿐만 아니라 빗물이 부품들 사이의 공간이나 설계 오류로 인한 틈새를 통하여 빗물이 흘러가거나 차실 내부로 유입되는 위치를 자동으로 탐색할 수 있다.

이와 같은 장점을 가진 본 연구의 역류 모사 프로그램을 사용하면, 설계자는 설계 단계에서 빠른 시간에 역류 경로와 차실 내부로의 유입 위치를 시각적으로 확인할 수 있어 설계 단계에서 수정이 가능하므로 전체 개발 기간을 단축할 수 있다. 또한 본 연구에서 제안한 방법은 자동차 차체뿐만 아니라 비행기나 선박의 경우에도 적용 가능하다.

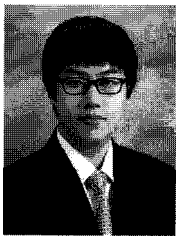
감사의 글

본 연구는 현대자동차㈜의 지원으로 수행되었으며 관계자들께 감사 드립니다.

참고문헌

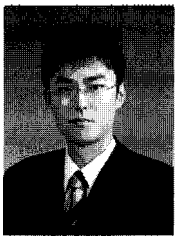
1. Park, I. S. and Chung, T. Y., "The Study on Effect of Collision Safety by Corrosion of Body Structure." *Transactions of KSAE*, Vol. 10, No. 4, pp. 141-148, 2002.
2. Kim, J. Y., Lee, K. W. and Jung, Y. H., "Efficient Calculation of Trapped Volumes in Layered Manufacturing Process," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 15, No. 2, pp. 154-

161, 1998.
3. Premoze, S., Tasdizen, T., Bigler, J., Lefohn, A. and Whitaker, R. T., "Particle-Based Simulation of Fluids", *Eurographics*, Vol. 22, No. 3, pp. 401-410, 2003.
4. Foster, N. and Metaxas, D., "Realistic Animation of Liquids," *Graphics Models and Image Processing*, Vol. 58, No. 5, pp. 471-483, 1996.
5. Losasso, F., Gibou, F. and Fedkiw, R., "Simulating Water and Smoke with an Octree Data Structure," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 23, No. 3, pp. 457-462, 2004.
6. Ramaswamy, B. and Kawahara, M., "Lagrangian Finite Element Analysis Applied to Viscous Free Surface Fluid Flow," *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol. 7, pp. 953-984, 1987.
7. Harlow, F. H. and Welch, J. E., "Numerical Calculation of Time-Dependent Viscous Incompressible Flow of Fluid with Free Surface," *The Physics of Fluids*, Vol. 8, No. 12, pp. 2182-2189, 1965.
8. Broyer, E., Gutfinger, C. and Tadmor, Z., "A Theoretical Model for the Cavity Filling Process in Injection Molding," *Transactions of the Society of Rheology*, Vol. 19, No. 3, pp. 423-444, 1975.
9. Voros, J., "Low-cost Implementation of Distance Maps for Path Planning Using Matrix Quadtrees and Octrees," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 17, pp. 447-459, 2001.
10. Kaufman, A., Cohen, D. and Yagel, R., "Volume Graphics," *IEEE Computer*, Vol. 26, No. 7, pp. 51-64, 1993.
11. Steadman, P. and Rooney, J., Principles of Computer-Aided Design, Pitman Publishing/Open University, London, Great Britain, pp. 1-11, 1987.
12. Rodriguez, A., "Automatic Extraction of the Topology of 3D Electrical Mock-ups Using a Mixed Octree-voxel Method," *Advances in Engineering Software*, Vol. 40, pp. 570-582, 2009.



이 정 운

2009년 부산대학교 기계공학부 학사
2011년 부산대학교 기계공학부 석사
관심분야: Assembly Modeling, Computational Geometry



윤 재 득

2007년 부산대학교 기계공학부 학사
2009년 부산대학교 기계공학부 석사
2009년~현재 부산대학교 기계공학부 박사과정
관심분야: 5-axis high-speed machining, Computational Geometry

박 성 배

1986년 부산대학교 기계공학부 학사
1985년~1999년 현대중공업 엔진사업부 근무
2000년~2004년 현대자동차 공작기계 사업부 근무
2005년~현재 현대자동차 현대생기센터
관심분야: Fixtureless Assembly, Light weight vehicle manufacturing

정 용 호

1983년 부산대학교 기계공학과 학사
1990년 서울대학교 기계설계학과 석사
1993년 서울대학교 기계설계학과 박사
1993년~1996년 삼성항공(주) 수석연구원
1996년~현재 부산대학교 기계공학부 교수
관심분야: Geometric Modeling, 5-axis High-speed Machining, Assembly Modeling, Mesh generation