

## Polygon Reduction Algorithm for Three-dimensional Surface Visualization

俞善國\* · 李景商\*\* · 裴秀賢\*\*\* · 金南鉉§  
(Sun K. Yoo · Kyong S. Lee · Soo H. Bae · Nam H. Kim)

**Abstract** - Surface visualization can be useful, particularly for internet-based education and simulation system. Since the mesh data size directly affects the downloading and operational performance, the problem that should be solved for efficient surface visualization is to reduce the total number of polygons constituting the surface geometry as much as possible. In this paper, an efficient polygon reduction algorithm based on Stokes' theorem, and topology preservation to delete several adjacent vertices simultaneously for past polygon reduction is proposed. The algorithm is irrespective of the shape of polygon, and the number of the polygon. It can also reduce the number of polygons to the minimum number at one time. The performance and the usefulness for medical imaging application was demonstrated using synthesized geometrical objects including plane, cube, cylinder, and sphere, as well as a real human data.

**Key Words** : surface visualization, arbitrary polygon, average plane, Stokes' theorem

### 1. 서 론

의료용 단층 사진 영상으로부터 3차원 영상으로 만드는 연구가 Herman에 의해 처음 시도된 이후 많은 연구가 있어 왔다[1, 2, 3]. 3차원 가시화 이론중 체적 가시화 (volume visualization) 방법은 물체를 구성하고 있는 각 체적소(voxel)가 최종 영상에 기여하는 정도를 나타내 주며, 표면 가시화 (surface visualization) 방법은 물체의 표면을 꼭지점(vertex), 선, 면 등으로 나타내는 방법이다 [4,5].

특히, 표면 재구성 방법은 물체의 표면을 찾은 후, 표면을 작은 다각형(polygon)으로 구성하여 최종적인 영상을 가시화한다[6,7]. 표면을 찾는 알고리즘은 일반적으로 matching cube algorithm이 사용되나[8,9], 이 방법은 가시화하기에 너무 많은 표면 다각형을 생성한다는 약점을 갖고 있다. 따라서 효율적인 3차원 표면 재구성에서 다각형 개수를 줄이는 것은 필수적이다. 특히, 표면을 구성하는 다각형 수는 가시화 시간과 영상의 질에 큰 영향을 준다. 다각형 수가 많으면 영상의 질은 좋아지지만 가시화 시간이 길어지게 되며 다각형 수가 적으면 가시화 시간은 짧아지지만 영상의 질이 나빠지게 된다. 의료영상은 특히 감소된 영상이 본 영상과 크게 차이가 나는 경우 진단 영상으로서의 가치가 없어진다. 따라서 영상의 질과 가시화 시간에 대한 적절한 조절이 필요하다[10].

Schroeder [11]에 의해 제안된 방법은 감소 대상이 되는 다각형 형태가 한 꼭지점을 공유하는 다각형들의 집합이다. Gieng [12] 방법은 하나의 다각형과 변을 공유하는 모든 다각형 집합이 감소 대상이 된다. 즉, 기존의 방법들은 감소 대상이 되는 다각형 형태가 일정하게 되어 있으며, 한번 알고리즘의 수행으로 줄어드는 다각형 수가 일정하므로 넓은 면을 구성하는 다각형을 감소하기 위해서는 여러 번의 반복된 작업이 필요하게 되는 단점이 있다.

본 논문에서는 감소 대상이 되는 다각형 집합의 형태에 관계없이 한번에 큰 평면을 구성하여 반복 작업을 줄여 속도 개선 효과를 얻을 수 있는 알고리즘을 제시하고자 한다. 임의 형태의 다각형 집합을 한번의 작업으로 감소하기 위하여 다각형 집합의 최 외곽 경계를 효율적으로 찾는 스토크스리(Stokes' Theorem)를 3차원 입체 좌표에 응용하였다 [13]. 또한 알고리즘은 3가지 조건을 만족하며 구성하였다. 첫째는 다각형 개수를 줄이는 시간을 단축하는 것이다. 둘째는 원 영상에서의 3차원 물체와 가시화한 후의 3차원 물체 간에 변화를 최소화하는 것이다. 마지막으로 줄어든 다각형과 남아있는 다각형의 개수 비율 높이는 것이다. 알고리즘은 Visual C++ 언어로 구현된 시뮬레이션 시스템에 의해 평면, 육면체, 구, 원기둥 등의 단순한 도형과 임상 데이터에 적용시켜 보고자 한다.

### 2. 다각형 감소 알고리즘

#### 2.1 알고리즘 구성

본 논문에서 제안하는 방법은 일반적인 Schroeder와 Gieng 방법의 단점을 개선하였다. Schroeder 방법은 감소 대상이 되는 다각형의 중심점을 감소한 후 re-tiling 하여 다각

\* 正 會 員 : 延世大學 醫學工學教室 副教授 · 工博

\*\* 正 會 員 : 延世大學 大學院 生體工學協同課程 · 工碩

\*\*\* 正 會 員 : 삼성종합기술원 · 工博

§ 正 會 員 : 延世大學 醫學工學教室 教授 · 工博

接受日字 : 2003年 12月 29日

最終完了 : 2004年 1月 13日

형 수를 줄인다. Gieng 방법은 내부의 삼각형이 중심점으로 바뀐 후 이 중심점과 스텐실의 경계를 연결해서 다각형수를 줄이고 re-tiling 한다. Gieng 방법은 중심점이 잘못 결정되는 경우 스텐실(stencil)의 경계와 연결된 삼각형이 겹치는 경우가 발생하게 되며, 중심점을 결정하는 알고리즘이 고려되지 않는다면 오류가 발생할 수 있다 (그림 1.). 따라서 특정한 모양의 다각형이 감소 대상이 되는 경우에는 같은 평면을 감소하는데 반복수행을 여러 번 하게 되므로 효율이 떨어진다고 볼 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 임의의 형태 표면에 한번의 알고리즘을 적용함으로써 원하는 평면을 얻을 수 있는 기법을 제시하였다.

제시된 알고리즘은 입력된 삼각형 메쉬(mesh)로부터 초기(seed) 삼각형을 선택한다. 3 단계가 모든 입력 메쉬의 삼각형을 포함할 때까지 반복한다. 첫째로 초기 삼각형으로부터 오차한계를 갖는 대표 평면을 선택한다. 둘째로 스톱정리를 적용하여 대표평면 경계선 안에 위치하는 꼭지점을 없앤다. 셋째로 임의형태의 경계선을 다시 삼각형으로 재분할(re tiling) 하며, 초기 삼각형을 이웃하는 임의의 삼각형으로 옮긴다.

### 2.2 감소대상 삼각형의 선정

기준이 되는 삼각형이 정해지면 이 삼각형을 포함하는 평면이 결정된다. 삼각형의 세 꼭지점을 이루는 점의 좌표를  $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3)$  라하고 평면 위의 arbitrary의 점을  $(x, y, z)$ 라 할 때 평면의 방정식은 아래와 같이 구해진다.

$$\vec{n} \cdot \vec{x} = 0 \tag{1}$$

단,  $\vec{x} = (x - x_m, y - y_m, z - z_m)$

$$\vec{n} = (x_3 - x_1, y_3 - y_1, z_3 - z_1) \times (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1)$$

$$= \begin{vmatrix} \vec{a}_x & \vec{a}_y & \vec{a}_z \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \end{vmatrix} = (n_x, n_y, n_z)$$

$$x_m = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}$$

$$y_m = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}$$

$$z_m = \frac{z_1 + z_2 + z_3}{3}$$

이렇게 구해진 평면을 평균 평면(averaging plane)이라 하자. 평균 평면은 감소대상이 되는 다각형을 선정하는 기준이며, 삼각형의 세 꼭지점이 평균 평면과 이루는 거리를 계산해서 기준보다 작은 경우 감소대상에 포함시키게 된다 (그림 2.). 평면의 방정식이  $x_1\vec{a}_x + y_1\vec{a}_y + z_1\vec{a}_z = 0$ 이라 하고 arbitrary의 점을  $(x, y, z)$ 라 하면 점과 평면과의 거리  $d$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$d = \frac{|x_1 \cdot x + y_1 \cdot y + z_1 \cdot z|}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}} \tag{2}$$

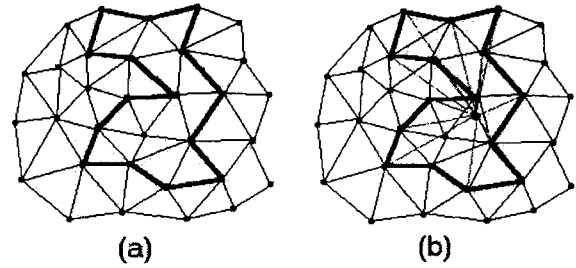


그림 1 임의모양의 다각형

(a) 임의의 모양의 다각형

(b) Gieng의 알고리즘으로 재구성이 되지 않는 경우.

Fig. 1 Arbitrary polygon

(a) arbitrary shaped polygon

(b) The non re-tiling case of Gieng algorithm

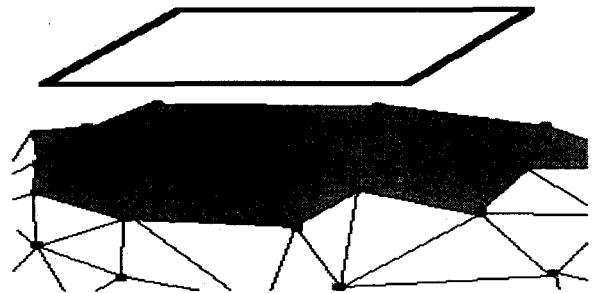


그림 2 평균 평면과 다각형 선정

Fig. 2 Averaging plane and chosen polygons

### 2.3 경계선 추출

감소대상이 되는 다각형이 결정되면, 다각형을 감소하기 위한 새로운 형태의 경계선 만으로 구성된 다각형을 생성한다. Schroeder나 Gieng의 algorithm과는 달리 본 방법은 스톱정리를 적용하여 중심점을 사용하지 않는다. 감소 대상에 선정된 다각형은 작은 삼각형으로 구성되어 있으며, 이 작은 삼각형을 미소 면적소라 하자.

미소경로  $C_j$ 에 의해 나누어진 작은 미소 면적소(small differential area)  $\Delta S_j$ 는  $\nabla \times \vec{A}$ 의 정의에 따라 아래와 같이 표현된다.

$$(\nabla \times \vec{A})_j \cdot (\Delta S_j) = \oint_{C_j} \vec{A} \cdot d\vec{l} \tag{3}$$

여기서  $\nabla \times \vec{A}$ 는  $\vec{A}$ 의 회전은 면적이 0에 접근하는 미소 면적에 대한 최대 순수 순환(net circulation)이며 방향은 최대 순수 순환을 갖는 면적에 수직인 벡터를 나타낸다. 면에 대해 수직인 방향은 두 방향이기 때문에 오른 손가락이  $d\vec{l}$ 의 방향을 따르고 있을 때 엄지손가락이 가리키는 방향이  $\vec{a}_n$ 인 오른

손 법칙을 따른다. 즉  $\nabla \times \vec{A}$ 은 벡터 함수이고 arbitrary의  $\vec{a}_u$  벡터 방향에서의 성분은  $\vec{a}_u \cdot (\nabla \times \vec{A})$ 이며 그것은 면적이 거의 0에 근접할 때  $\vec{a}_u$ 에 수직인 단위 면적(unit area)의 순환(circulation)으로부터 구해진다. arbitrary surface S를 N개의 매우 작은 미소 면적으로 잘게 나눌 수 있다. 식 (3)의 좌변은 면적  $\Delta S_i$ 를 통한  $\nabla \times \vec{A}$ 의 유선속(flux)이다. 식 (3)의 좌변의 식을 모든 미소 면적의 둘레를 따라 선적분한 값을 모두 더한다. 그러면 두 인접한 요소의 공통경로는 방향이 반대가 되어 합이 0이 된다. 즉 내부의 선 적분(line integral)의 총합은 0이 된다. 그리고 전체 면적 S의 경계에 대한 적분만 남게 된다.

$$\lim_{\Delta S_i \rightarrow 0} \sum_{i=1}^N (\nabla \times \vec{A})_j \cdot (\Delta S_i) = \int_S (\nabla \times \vec{A})_j \cdot d\vec{s} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)을 결합하면

$$\oint_S (\nabla \times \vec{A}) \cdot d\vec{s} = \oint_C \vec{A} \cdot d\vec{l} \quad (5)$$

이 된다. 개표면에 대한 벡터 계 회전의 면 적분은 그 면의 경로를 따라 벡터의 폐곡선 적분과 같다는 의미로 이것을 스톡의정리라 한다 [13]. 즉, 그림 3.과 같이 작은 삼각형을 면적소  $\Delta S_i$ 로 보고 감소대상 다각형을 라고 할 때 경계는 각 면적소의  $\nabla \times$ 연산에 의해 구해질 수 있다.

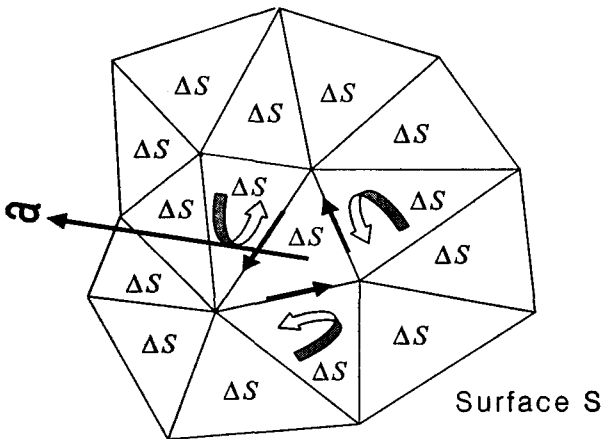


그림 3 스톡정리에 의한 다각형 감소  
Fig. 3 The triangular polygon reduction by Stokes' theorem

이렇게 찾아진 경로는 다시 한번 단순화하는 과정을 거치게 된다. 만약 경로 중에 3점 이상의 점이 같은 직선상에 연속되어 존재한다면 가장 처음 점과 마지막 점만을 남긴 나머지 점은 없앤다. 동일한 직선임을 판단하는 기준은 다음과 같다. 외곽 경로를 나타내는 점이 집합을 P라하고 i번째 점을  $P_i$ 라 하자. 그리고  $P_i$ 의 좌표를  $(x_i, y_i, z_i)$ 라 한다. 이때  $P_i, P_{i+1}, P_{i+2}$ 의 세 점이 동일한 직선 위에 있는지 여부를 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{P}_{i+1}P_i &= \vec{P}_i - \vec{P}_{i+1} \\ \vec{P}_{i+1}P_{i+2} &= \vec{P}_{i+2} - \vec{P}_{i+1} \end{aligned} \quad (6)$$

라 할 때,

$$D = \cos^{-1} \left( \frac{\vec{P}_{i+1}P_i \cdot \vec{P}_{i+1}P_{i+2}}{|\vec{P}_{i+1}P_i| |\vec{P}_{i+1}P_{i+2}|} \right)$$

$D=0$  : 직선  
 $D \neq 0$  : 직선이아님

### 2.4 다각형 재분할

경계선만의 임의 형태 경로는 그림 4.과 같이 재분할 한다. 재분할을 위해서는 그림 5.과 같이 우선 경로 중의 3점 ( $P_i, P_{i+1}, P_{i+2}$ )에 대하여 안으로 오목(concave)한 부분과 볼록(convex)한 부분으로 구분한다.  $P_i, P_{i+1}, P_{i+2}$  세 점으로 이루어지는 삼각형의 평면의 법선 벡터  $\vec{P}_n$ 을 구하면

$$\vec{P}_n = \vec{P}_{i+2}P_{i+1} \times \vec{P}_iP_{i+1} \quad (8)$$

이다 여기서 연산  $\times$ 은 외적을 나타낸다. 평균 평면의 법선 벡터가  $\vec{n}$  이라면 안으로 오목과 안으로 볼록을 판별하는 판별식 D는 다음과 같이 정의된다.

$$D = \cos^{-1} \left( \frac{\vec{P}_n \cdot \vec{n}}{|\vec{P}_n| |\vec{n}|} \right)$$

$D > \frac{\pi}{2}$  : 안으로볼록 convex  
 $D = \frac{\pi}{2}$  : 직선  
 $D < \frac{\pi}{2}$  : 안으로오목 concave

표 1. Arbitrary polygon을 삼각형으로 re-tiling하는 과정  
Table 1. The procedure of re-tiling arbitrary polygon

```

FIND START POSITION (CONVEX  $P_i, P_{i+1}, P_{i+2}$ )
DO{
    IF ( $P_{i+1}P_{i+2}, P_{i+3}$  == CONCAVE)
        MAKE TRIANGLE ( $P_{i+1}P_{i+2}, P_{i+3}$ )
    ELSE
        INCREASE STEP
}WHILE(REMAINED CONTOUR);
    
```

다각형 재분할은 안으로 볼록한 경로의 양 끝점 중 한 곳으로부터 시작한다. 점은 삼각형 타일이 될 수 없으며, 다음과

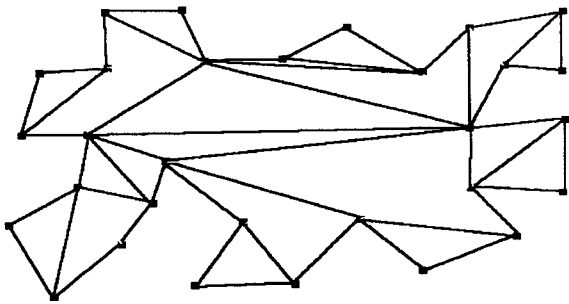


그림 4 임의의 다각형의 재분할  
Fig. 4 Re-tiling of arbitrary shaped polygon

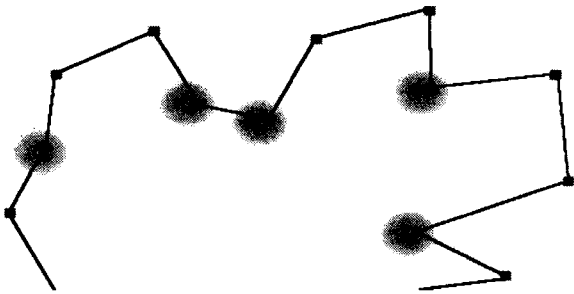


그림 5 안으로 오목과 안으로 볼록: 반투명한 검은 점이 안으로 오목한 부분을 나타낸다.  
Fig. 5 Concave and convex: Fogged points are concave.

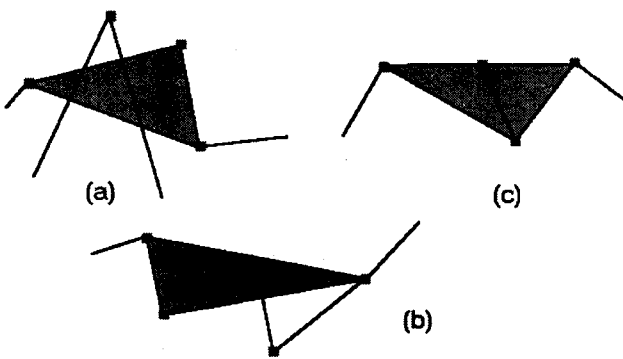


그림 6 잘못된 삼각형 재분할  
(a) 생성된 삼각형이 다른 삼각형의 변과 한 점에서 만났다.  
(b) 생성된 삼각형이 다른 경로의 점을 포함했다.  
(c) 생성된 삼각형의 변이 다른 경로의 점을 포함했다.  
Fig. 6 Failed cases of the re-tiling process  
(a) The side of a triangle is across the side of other triangle.  
(b) The triangle contains a point.  
(c) The side of a triangle contains a point.

같은 조건을 만족시키는 경로는 삼각형으로 변하여 다각형의 내부를 표 1.과 같이 재분할 한다. 위의 조건을 만족하지 않는 경우가 그림 6. 에 나타나 있다.

1. 삼각형으로 변환될 경로가 안으로 오목해야 한다.
2. 생성된 삼각형은 다른 삼각형의 변과 한 점에서 만날 수 없다.
3. 생성된 삼각형의 변은 다른 경로의 점을 포함할 수 없다.
4. 생성된 삼각형은 다른 경로의 점을 포함할 수 없다.

### 3. 실험 및 결과

실험을 위하여 몇 가지 입체 도형을 사용하였다. 실험에 사용된 도형은 2차원 평면, 육면체, 원기둥, 구 의 네 종류이다. 또한 입상 데이터에도 적용하였다. 각 도형을 본 논문에서 제안한 algorithm으로 polygon reduce를 하였다. 평균 평면과의 거리는 모두 점과 vertex 사이의 거리의 60%에 해당하는 값으로 고정시켰다.

표 2. 제안한 방법의 삼각형 감소비, 계산시간, 감소량  
Table 2. The total number of polygons, reduction ratio, and the number of polygons calculated for a second of the proposed method

	삼각형 수		감소비율 (%)	감소삼각형수 (계산시간: 초)
	전	후		
평면	6268	10	99.84	6268
육면체	4376	17	99.61	4376
원기둥	3112	260	91.65	3112
구	15080	2565	83.0	834
입상데이터	605114	137257	77.32	5327

많은 양의 삼각형으로 이루어진 2차원 평면은 본 논문이 제안한 알고리즘에 의해 단 두 개의 삼각형으로 변환되어 개수가 현저하게 줄어들었으며, 구, 원기둥, 육면체 등의 3차원 입체도형도 많은 양의 삼각형으로 이루어져 있었으나 표 2.과 같이 개수가 줄어들었다.

다각형 감소를 수행하는 속도는 각 물체의 형태에 따라 차이가 났다. 소요 시간에 따라 두 가지 부류로 나눌 수 있다. 평면의 요소가 많이 들어간 경우와 그렇지 않은 경우이다. 평면 요소가 많은 평면, 육면체, 원기둥은 많은 양의 삼각형을 줄이더라도 비교적 짧은 시간이 소요되었다. 그러나 구와 같이 곡면요소가 많은 경우는 비교적 긴 시간이 소요되었다.

줄어드는 비율도 평면 요소가 많은 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 졌다. 평면 요소가 많은 경우는 99%를 넘는 비율로 polygon이 감소하였다. 그러나 평면 요소가 적은 경우

는 90%에 미치지 못하는 결과를 나타내었다. 특히 임상데이터에 적용시킨 결과 다각형개수는 감소이전의 23%로 줄었지만 영상의 경우는 감소 이전과 차이가 없음을 그림 7과 그림 8의 가시적(주관적) 결과로 확인 할 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안한 다각형 감소 알고리즘은 여러 가지 모양의 2차원 및 3차원 물체에 적용시킬 수 있으며, 임의 형태의 다각형 감소에 적합함을 알 수 있다.

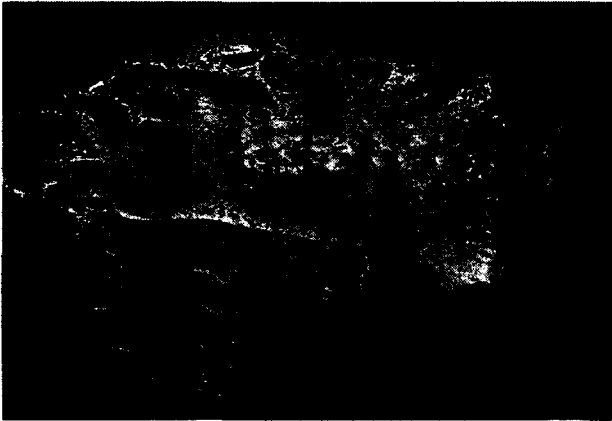


그림 7 제안한 방법의 다각형 감소 결과  
 Fig. 7 The result obtained from the proposed algorithm



그림 8 그림 7 의 음영처리 결과  
 Fig. 8 Shading result of the Fig.7.

#### 4. 결 론

기존의 다각형 감소 알고리즘은 일정한 형태의 다각형만을 선택적으로 감소하였다. 또한 넓은 평면의 다각형을 감소하기 위해 여러 번의 반복적인 수행을 통해 평면의 최종 결과에 도달하게 되었다. 본 논문에서는 기존 알고리즘의 이러한 단점을 극복코자 임의 모양의 다각형을 그 크기에 상관없이 한번에 최종 결과를 얻을 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

감소 대상이 되는 다각형은 평균평면이라는 대표 평면을 정의하고 이 평면과 다각형과의 거리를 측정하여 선정하였다. 그리고 선정된 다각형의 외곽 경계 정보를 이용하여 새로운 다각형을 구성하였다. 외곽 경계 정보는  $\nabla \times$  연산을 이용하여

구하는 새로운 알고리즘을 적용 하였다. 표면의 벡터 회전 면적분은 그 표면의 경로를 따라 선적분한 값과 같다는 스톡의 정리를 응용하여, 미소 면적의 회전을 따라 닫힌 경로의 합으로 전체 면적의 경로를 찾아내었다. 찾아진 경로를 이용하여 경로의 내부를 새로운 삼각형으로 재분할하는, 안으로 오목 또는 안으로 볼록한 경로를 구분하여 재분할하는 새로운 알고리즘을 제시하였다.

전산화 단층 촬영장치(CT)나 자기공명 영상 촬영장치(MRI) 등에서 얻어진 2차원 영상을 marching cube algorithm을 이용하여 표면 가시화하는 경우에는 다각형의 개수가 너무 많기 때문에 실시간 가시화에 어려움이 생긴다. 본 논문에서 제시하는 알고리즘을 이용하여 다각형의 개수를 줄이면 이러한 문제를 해결 할 수 있다. 기존 알고리즘들이 일정한 형태의 다각형에 의존하여 다각형 감소를 수행하는 반면 본 논문에서 제시하는 방법은 다각형의 형태에 상관없이 다각형 감소 알고리즘을 적용 할 수 있다. 특히 평면에 가까운 다각형의 개수가 많은 경우 본 논문에서 제시하는 알고리즘은 매우 높은 효율의 다각형 감소 성능을 나타냈다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2002-000-00205-0) 지원으로 수행되었음.

#### 참 고 문 헌

- [1] P.A. Warrick, W.R.J. Funnell, "VRML-based anatomical visualization tool for medical education," IEEE trans. Inform, Techno. Biomed., vol.2, pp.55-61, 1998.
- [2] G.T., Herman "Image Reconstruction from projection : Implementation and Applications," New York, Springer-Verlag, 1979
- [3] G.T., Herman "Three dimensional imaging on a CT and MR scanner," J. Comput. Assist. Tomogra. Vol. 12, pp. 450-458, 1988
- [4] Paolo Sabela, "A rendering Algorithm for Visualizing 3D scalar Fields," Computer Graphics, Vol. 22, No. 4, August, pp. 160-167, 1988
- [5] Stephen Bright and Susan Laflin, "Shading of Solid Voxel Models," Computer Graphics, Vol.5 No. 2, pp. 131-138, June, 1986
- [6] Robert R. Mercer, Gray M. Mccauley, Satich Anjilvel, "Approximation of Surfaces in Quantitative 3-D Reconstructions," IEEE Trans. of Biomedical Engineering, Vol. 37, No. 12, pp. 1136-1145, December, 1990
- [7] Bradley A Payne, Arthur W. Toga, "Surface Reconstruction by Multiaxial Triangulation," IEEE Computer Graphics and Applications, pp. 28-35, November, 1994
- [8] W.E Lorensen, and H.E. Cline, "Marching cubes: A High Resolution 3 D Surface Construction Algorithm,"

Computer Graphics, Vol. 25, No 3, July 1991.

[9] Will Schroeder, Hen Martin, Bill Lorensen, Visualization Toolkit, Prentice Hall, 1997

[10] Dennis D. Crouch, Richard A. Robb, " A New Algorithm for Efficient Polygon Decimation for virtual Reality Applications in Medicine," SPIE Vol. 3031, pp. 514-517

[11] William J. Schroeder, Jonathan A. Zarge, William E. Lorensen, "Decimation of Triangle Meshes," Computer Graphics, Vol. 26, pp. 65-70

[12] Tran S. Gieng, Bernd Hamann, Kenneth I. Joy, Gregory J. Schussman, Issac J. Trotts, "Smooth Hierarchical Surface Triangulation," IEEE, pp. 379-386

[13] David K. Cheng, "Fundamentals of Engineering Electromagnetics," Addison-Wesley, April, 1994

저 자 소 개

**유 선 국(兪善國)**



1959년 1월 8일 생. 1981년 연세대 전기공학과 졸. 1983년 동대학원 전기공학과(석사). 1989년 동대학원 전기공학과(박사). 1990-1995 순천향대 전기공학과 전임강사, 조교수. 1998-2000 The University of Iowa Visiting Associate. 1995-현재 연세대학교 의학공학 교실 조교수, 부교수

**배 수 현(裵秀賢)**



1969년 3월 8일 생. 1996년 연세대 전기공학과 졸. 1998년 연세대 대학원 생체공학과(공학석사). 2001년 동 대학원 생체공학과(공학박사) 2001 -2003 LG CNS 선임연구원, 2003년 - 현재 삼성종합기술원 전문연구원

**이 경 상(李景商)**



1974년 4월 13일 생. 1998년 연세대 전기공학과 졸. 2000년 동대학원 생체공학과(석사). 현, (주)네오파로스 소프트웨어 개발팀장

**김 남 현(金南鉉)**



1954년 8월 30일 생. 1977년 연세대 전기공학과 졸. 1982년 동대학원 전기공학과(석사). 1987년 동대학원 전기공학과(박사). 1988-현재 연세대학교 의학공학교실 전임강사, 조교수, 교수