DOI: 10.3745/KIPSTA.2008.15-A.5.295

단순 다각형 계층구조에서의 삼각화와 경비가능충분집합

양 태 천†

요 약

본 논문은 화랑문제 분야에 관한 것으로, 다각형의 계층구조에서 경비충분집합에 될 수 있는 기하학적인 요소들에 관해 다루었다. 경비충분집합이 될 수 있는 기하학적인 요소로 다각형의 삼각화를 고려하였고, 다각형의 삼각화한 대각선분에 대해 완전가시성으로 양쪽을 다 감시할 경우 경비충분집합이 되는 삼각형의 부류가 볼록 다각형, 단변단조 다각형, 소용돌이 다각형임을 보였고, 그 외의 별모양 다각형, 단조 다각형, 완전외부가시성 다각형에서는 경비충분집합이 되지 못함을 보였다.

키워드 : 계산기하, 화랑문제, 가시성, 경비충분집합, 다각형 계층구조, 삼각화, 완전가시성

A Triangulation and Guard Sufficiency Set of the Hierarchy of Simple Polygons

Tae-Cheon Yang†

ABSTRACT

In this paper, we consider a characterization of a Guard Sufficiency Set(GSS) in the hierarchy of simple polygons. we propose the diagonals of a arbitrary triangulation of a polygon as a GSS when guards see the diagonals with completely visibility and both sides of the diagonal. we show that this can be a GSS in convex polygons, unimodal polygons, spiral polygons but this can not be a GSS in star-shaped polygons, monotone polygons, completely external visible polygons.

Keywords : Computational Geometry, Art Gallery Problem, Visibility, Guard Sufficiency Set, Polygon Hierarchy, Triangulation, Completely Visibility

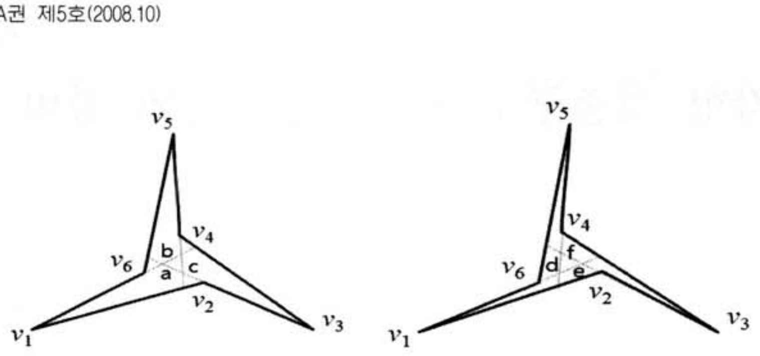
1. 서 론

1.1 화랑문제와 경비가능충분집합

계산 기하(Computational Geometry)는 기하학적인 속성을 갖는 문제의 효율적인 알고리즘을 개발하는 분야로, 컴퓨터 그래픽 분야와 영상 분석 및 게임 프로그래밍분야 등에 효율적인 알고리즘들을 제공한다[3,8]. 계산 기하에서도 화랑문제(Art Gallery Problem)는 '보는(see)'것과 관련된 문제를 주로 다루는 가시성(Visibility) 분야에 속한 문제로 많은 연구자들의 관심을 끌어왔다[2,4,5,6,8]. 화랑문제는 화랑에 전시된 작품의 보호를 위해 화랑전체를 감시할 수 있는 경비원의 최소 인원수를 구하는 문제로부터 출발을 하였다. 다시 말하면, 이차원 평면에 n개의 꼭짓점으로 구성된 단순다각형(simple polygon) P의 내부나 경계에 최소 인원의 경비원을 배치하여 다각형의 전체를 '보는' (감시하는) 문제이다. 다각형 P의 내부나 경계에 주어진 두 점이 서로 보인다는 것은 두 점을 연결한 선분이 다각형의 외부와 만나지 않음을 의미한다.

경비가능충분집합(Guard Sufficiency Set, 줄여서 GSS라 표기) G는, 다각형 P의 부분 집합으로, 경비원들의 위치가 어디든 상관없이 경비원이 이 부분집합 G를 감시하면 다각형 전체를 감시하는 것을 보장하는 집합이다[1]. (그림 1)의 (a)의 경우는 꼭짓점의 집합 $\{v_1, v_3, v_5\}$이 GSS인 경우이다. 즉, 경비원이 어디에 위치하든지 꼭짓점 v_1, v_3, v_5를 감시하면 삼각형 Δ(abc)부분을 포함하여 다각형의 모든 내부를 감시할 수 있다. (그림 1)의 (b)의 경우에는 꼭짓점의 집합 $\{v_1, v_3, v_5\}$이 GSS가 되지 못하는 경우이다. 경비원들이 꼭짓점 v_1, v_3, v_5에 위치하고 있는 경우 모든 꼭짓점과 경계를 감시할 수 있지만 삼각형 Δ(def)부분은 경비원이 감시하지 못한다. 이와 같이 다각형의 부분집합으로 이 부분집합만 감시하면 다각형 전체를 감시하게 되는 것을 경비가능충분집합(GSS)라 부른다. (그림 1)에서 보듯이 보기에는 비슷해도 전혀 다른 결과를 갖는 것을 볼 수 있다.

※ 이 논문은 2005학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.
† 정 회 원 : 경성대학교 컴퓨터정보학부 교수
논문접수 : 2008년 6월 24일, 심사완료 : 2008년 8월 18일



(a) (b)

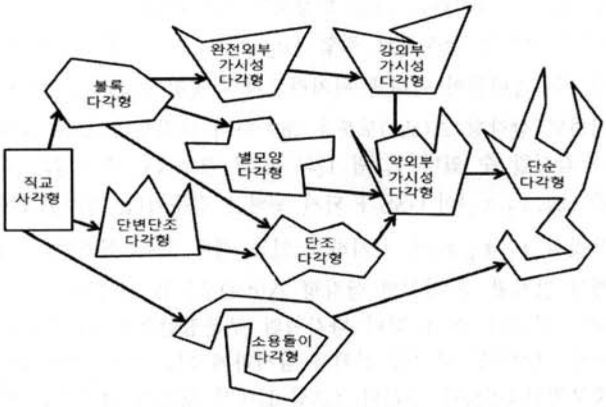
(그림 1) (a) 집합 $\{v_1, v_3, v_5\}$이 GSS인 경우 (b) 집합 $\{v_1, v_3, v_5\}$이 GSS가 아닌 경우

1.2 다각형 계층구조와 경비가능충분집합

다각형 계층구조와 각 부류의 다각형에 대한 GSS에 관한 일부 연구결과가 알려져 있다[1]. 이 연구 결과에서는 다각형의 꼭짓점들이 다각형의 GSS인 경우의 다각형 부류와 다각형의 경계가 GSS인경우의 다각형의 부류에 관해 보여주고 있다. (그림 1)의 두 다각형에 대해서 하나는 꼭짓점의 일부가 GSS가 되고, 하나는 되지 못하는 이유가 보기에는 매우 비슷하게 보이지만 (그림 1)의 (a)는 별모양 다각형이고, (그림 1)의 (b)는 별모양 다각형이 아닌 완전외부가시성 다각형으로 서로 다른 부류의 다각형에 속하기 때문이다. 이와 같이 다각형의 부류에 따라 GSS의 특성은 달라질 수 있다.

(그림 2)는 다각형의 계층구조를 나타내며 Toussaint[7]이 밝힌 다각형의 계층구조에 소용돌이 다각형을 더 추가하였다. 이 그림에서 화살표는 포함관계를 의미하며 각 다각형들에 대한 정의는 다음과 같다. 다각형을 완전히 포함하는 볼록 외피(Convex Hull)에서 다각형에지에 포함되지 않는 볼록 외피에 속하는 에지를 '뚜껑(lid)'이라 한다.

- 볼록 다각형 (Convex Polygon): 볼록 꼭짓점들만으로 구성된 다각형.
- 별모양 다각형 (Star-shaped Polygon): 다각형 내부의 한 점에서 다각형 전체를 볼 수 있는 다각형.
- 소용돌이 다각형 (Spiral Polygon): 볼록 꼭짓점으로 구성된 하나의 볼록체인과 오목 꼭짓점들로만 구성된 다른 하나의 오목체인으로 구성된 다각형.



(그림 2) 다각형의 계층구조[7]

- 단변단조 다각형 (Unimodal Polygon): 하나의 선분 s와 s의 양 끝점을 연결하는 s에 대하여 단조한 체인으로 구성된 다각형.
- 단조 다각형 (Monotone Polygon): 하나의 임의의 축에 대해 단조한 두 개의 체인으로 구성된 다각형.
- 단순 다각형 (Simple Polygon): 다각형의 에지가 서로 교차하지 않는 다각형.
- 완전외부가시성 다각형 (Completely Externally Visible Polygon): 뚜껑과 함께 이루어진 볼록 외피부분의 다각형이 완전가시성인 다각형.
- 강외부가시성 다각형 (Strongly Externally Visible Polygon): 뚜껑과 함께 이루어진 볼록 외피부분의 다각형이 강가시성인 다각형.
- 약외부가시성 다각형 (Weakly Externally Visible Polygon): 뚜껑과 함께 이루어진 볼록 외피부분의 다각형이 약가시성인 다각형.

이전 연구[1]에서 다각형의 꼭짓점의 집합은 볼록 다각형과 단변단조 다각형의 GSS가 됨을 보였고, 다각형의 경계(혹은 다각형을 이루는 에지)는 볼록 다각형, 단변단조 다각형, 별모양 다각형, 소용돌이 다각형의 GSS가 됨을 보였다. 본 논문에서는 알려진 GSS인 다각형의 꼭짓점의 집합과 다각형의 경계이외의 다른 부류의 GSS를 제안하고, 이 GSS가 성립하는 다각형의 부류가 무엇인지를 밝힌다.

2. 삼각화 대각선분과 경비가능충분집합

본 절에서는 2차원적인 기하학적인 요소가 아니라 1차원적인 기하학적인 요소가 GSS가 되는 경우를 고려하고자한다. 그러나 서론 부분의 (그림 1)의 (b)의 다각형에서는 이미 밝힌바와 같이 다각형의 모든 꼭짓점의 집합이 GSS가 되지 못하며 더 나아가 모든 에지(경계)도 GSS가 되지 못한다. (그림 1)의 (b)의 다각형에서는 GSS=$\{v_1, v_3, v_5, \triangle(def)\}$가 되는데, 이는 꼭짓점 v_1, v_3, v_5의 각도가 0도에 가까워지면 다각형의 거의 모든 영역이 GSS가 됨을 의미한다.

1차원적인 GSS를 찾아내기 위해 다각형의 삼각화(triangulation)과정 중에 생성되는 대각선분(diagonal)을 고

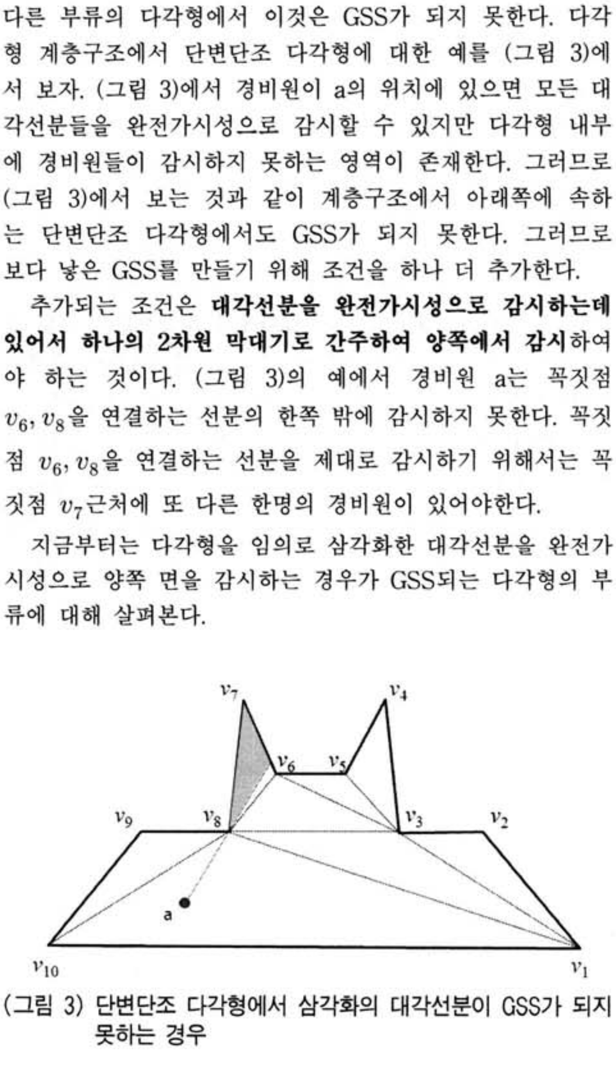
려한다. 다각형의 삼각화는 주어진 단순다각형의 꼭짓점들을 연결하는 선분들을 이용하여 삼각형으로 분할하는 것이다. 하나의 다각형을 삼각화를 하는 방법의 수는 아주 많기 때문에 본 절에서는 특정한 삼각화가 아니라 임의의 어떤 삼각화에 대해서도 GSS가되는 경우를 고려한다. (삼각화의 방법에 따라 GSS가 되기도 하고, 되지 않기도 하는 예는 [1]에서 찾아볼 수 있다. 이 논문에서는 삼각화의 대각선분이 GSS가 될 가능성이 있다는 가설을 소개하고 있고, 이를 대체 경비가능충분집합(GSS)라고 했으나, 본 논문에서는 그냥 GSS로 표기하기로 한다.)

삼각화를 한 후의 대각선분은 다각형의 경계와는 꼭짓점만 만나며, 다각형의 경계와는 꼭짓점만을 제외하고는 서로소(disjoint)이다. 즉, 다각형의 경계와 삼각화의 대각선분과는 서로 포함관계가 존재하지 않는다.

삼각화의 대각선분을 GSS로 사용하기 위해 각각의 대각선분을 완전가시성으로 감시하여야한다는 제약 조건을 추가한다. 완전가시성으로 감시하여야한다는 것은 경비원이 움직이지 않는 상태에서 하나의 대각선분 전체를 감시하여야 한다는 것을 의미한다. 그러나 이와 같은 조건은 아직 GSS의 역할을 하기에는 부족하다. 볼록다각형을 제외한 모든 다른 부류의 다각형에서 이것은 GSS가 되지 못한다. 다각형 계층구조에서 단변단조 다각형에 대한 예를 (그림 3)에서 보자. (그림 3)에서 경비원이 a의 위치에 있으면 모든 대각선분들을 완전가시성으로 감시할 수 있지만 다각형 내부에 경비원들이 감시하지 못하는 영역이 존재한다. 그러므로 (그림 3)에서 보는 것과 같이 계층구조에서 아래쪽에 속하는 단변단조 다각형에서도 GSS가 되지 못한다. 그러므로 보다 낳은 GSS를 만들기 위해 조건을 하나 더 추가한다.

추가되는 조건은 **대각선분을 완전가시성으로 감시하는데 있어서 하나의 2차원 막대기로 간주하여 양쪽에서 감시**하여야 하는 것이다. (그림 3)의 예에서 경비원 a는 꼭짓점 v_6, v_8을 연결하는 선분의 한쪽 밖에 감시하지 못한다. 꼭짓점 v_6, v_8을 연결하는 선분을 제대로 감시하기 위해서는 꼭짓점 v_7근처에 또 다른 한명의 경비원이 있어야한다.

지금부터는 다각형을 임의로 삼각화한 대각선분을 완전가시성으로 양쪽 면을 감시하는 경우가 GSS되는 다각형의 부류에 대해 살펴본다.



(그림 3) 단변단조 다각형에서 삼각화의 대각선분이 GSS가 되지 못하는 경우

정리 1: 볼록다각형과 단변단조 다각형, 소용돌이 다각형에 속하는 다각형 P에서 다각형을 임의로 삼각화한 대각선분을 완전가시성으로 양쪽 면을 감시하는 경우 P에 대한 GSS이다.

증명: 이 정리를 증명하는 것은, GSS 정의에 의해, 다각형 P의 임의의 삼각화한 대각선분을 완전가시성으로 양쪽을 모두 감시하는 경우 경비원들의 위치와 상관없이 다각형 P의 내부전체를 감시할 수 있음을 증명하는 것과 같다. 다각형 P의 에지들은 다각형의 경계를 따라 반 시계방향으로 구성되어 있다고 가정한다.

만약 경비원들이 삼각화한 모든 대각선분을 완전가시성으로 양쪽 면을 감시하는 경우에도 경비원에 의해 감시되지 못하는 영역이 존재한다면 경비원들은 적어도 대각선분들의 양쪽을 감시하기 때문에 감시되지 못하는 영역은 절대로 삼각화한 두 삼각형 사이에 걸쳐서 존재할 수 없다. 그러므로 다각형의 삼각화는 세 가지 경우에 대해 각 삼각형 내에 주어진 다각형 부류의 특성을 따라 감시하지 못하는 영역이 존재하는지 존재하지 않는지에 대해 증명할 수 있다.

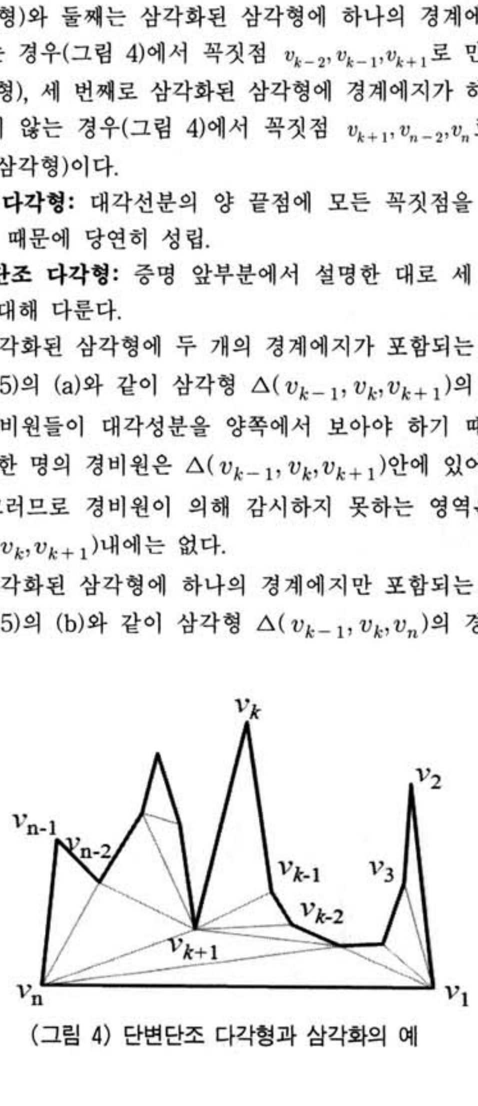
세 가지 경우의 첫째는 삼각화된 삼각형에 경계에지가 두 개 포함된 경우(그림 4)에서 꼭짓점 v_{k-1}, v_k, v_{k+1}로 만들어진 삼각형)와 둘째는 삼각화된 삼각형에 하나의 경계에지만 포함되는 경우(그림 4)에서 꼭짓점 $v_{k-2}, v_{k-1}, v_{k+1}$로 만들어진 삼각형), 세 번째로 삼각화된 삼각형에 경계에지가 하나도 포함되지 않는 경우(그림 4)에서 꼭짓점 v_{k+1}, v_{n-2}, v_n로 만들어진 삼각형)이다.

볼록 다각형: 대각선분의 양 끝점에 모든 꼭짓점을 가지고 있기 때문에 당연히 성립.

단변단조 다각형: 증명 앞부분에서 설명한 대로 세 가지 경우에 대해 다룬다.

1) 삼각화된 삼각형에 두 개의 경계에지가 포함되는 경우 : (그림 5)의 (a)와 같이 삼각형 $\Delta(v_{k-1}, v_k, v_{k+1})$의 예를 보면 경비원들이 대각성분을 양쪽에서 보아야 하기 때문에 적어도 한 명의 경비원은 $\Delta(v_{k-1}, v_k, v_{k+1})$안에 있어야만 한다. 그러므로 경비원이 의해 감시하지 못하는 영역은 $\Delta(v_{k-1}, v_k, v_{k+1})$내에는 없다.

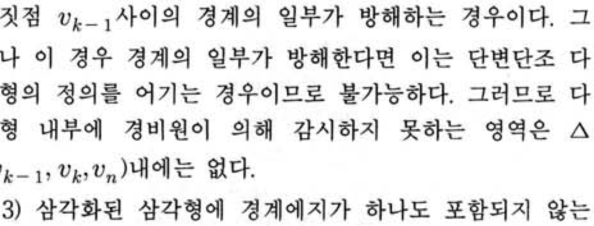
2) 삼각화된 삼각형에 하나의 경계에지만 포함되는 경우 : (그림 5)의 (b)와 같이 삼각형 $\Delta(v_{k-1}, v_k, v_n)$의 경우를



(그림 4) 단변단조 다각형과 삼각화의 예

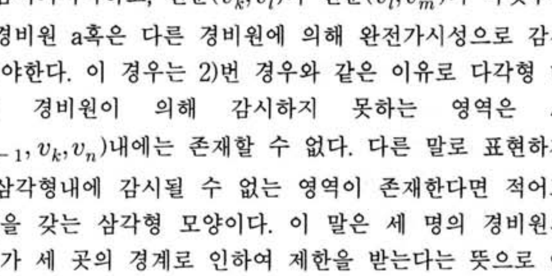
보면 선분(v_{k-1}, v_n)의 윗부분은 경비원 a에 의해 완전가시성으로 감시되어야하고, 선분(v_k, v_n)의 아랫부분은 경비원 b에 의해 완전가시성으로 감시되어야한다. 경비원 a가 선분(v_{k-1}, v_n)의 윗부분을 완전가시성으로 감시해야 하는 경우에도 불구하고 $\triangle(v_{k-1}, v_k, v_n)$내부에 경비원이 감시하지 못하는 영역이 존재한다면, 경비원 a를 꼭짓점 v_k와 꼭짓점 v_{n-2}사이의 경계의 일부가 방해하는 경우이다. 그러나 경비원 b가 선분(v_k, v_n)의 아랫부분을 완전가시성으로 감시해야 하는 경우에는 $\triangle(v_{k-1}, v_k, v_n)$내부에 경비원이 감시하지 못하는 영역이 존재한다면, 경비원 b를 꼭짓점 v_1와 꼭짓점 v_{k-1}사이의 경계의 일부가 방해하는 경우이다. 그러나 이 경우 경계의 일부가 방해한다면 이는 단변단조 다각형의 정의를 어기는 경우이므로 불가능하다. 그러므로 다각형 내부에 경비원이 의해 감시하지 못하는 영역은 $\triangle(v_{k-1}, v_k, v_n)$내에는 없다.

3) 삼각화된 삼각형에 경계에지가 하나도 포함되지 않는 경우 : (그림 6)과 같이 삼각형 $\triangle(v_l, v_k, v_m)$의 경우를 보면 선분(v_k, v_m)의 윗부분은 경비원 b에 의해 완전가시성으로 감시되어야하고, 선분(v_k, v_l)와 선분(v_l, v_m)의 아랫부분은 경비원 a혹은 다른 경비원에 의해 완전가시성으로 감시되어야한다. 이 경우는 2)번 경우와 같은 이유로 다각형 내부에 경비원이 의해 감시하지 못하는 영역은 $\triangle(v_{k-1}, v_k, v_n)$내에는 존재할 수 없다. 다른 말로 표현하자면 삼각형내에 감시될 수 없는 영역이 존재한다면 적어도 세면을 갖는 삼각형 모양이다. 이 말은 세 명의 경비원의 감시가 세 곳의 경계로 인하여 제한을 받는다는 뜻으로 이는 단변단조 다각형의 정의로 볼 때 불가능하다.



(a) (b)

(그림 5) 첫 번째 (a) 와 두 번째 (b) 경우의 단변단조 다각형에 대한 증명



(그림 6) 세 번째 경우의 단변단조 다각형에 대한 증명

소용돌이 다각형: 단변단조 다각형과 마찬가지로 세 가지 경우에 대해 다룬다.

1) 삼각화된 삼각형에 두 개의 경계에지가 포함되는 경우 : (그림 7)의 (a)와 같이 단변단조 다각형과 같은 이유로 경비원이 의해 감시하지 못하는 영역은 $\triangle(v_m, v_{m+1}, v_{m+2})$내에는 존재하지 않는다.

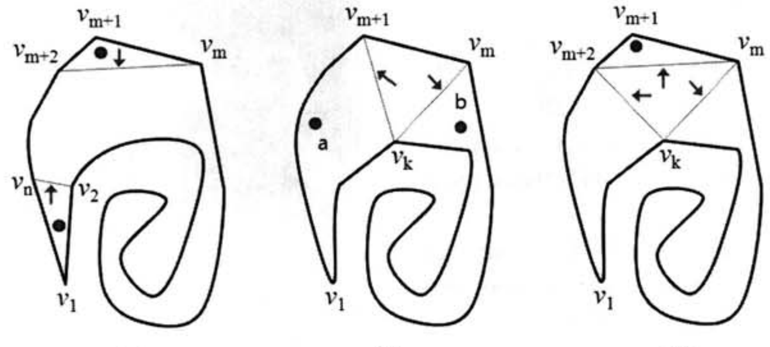
2) 삼각화된 삼각형에 하나의 경계에지만 포함되는 경우 : (그림 7)의 (b)와 같이 삼각형 $\triangle(v_k, v_m, v_{m+1})$의 경우를 보면 선분($v_k, v_m$)의 왼쪽부분은 경비원 a에 의해 완전가시성으로 감시되어야하고, 선분(v_{m+1}, v_k)의 오른쪽부분은 경비원 b에 의해 완전가시성으로 감시되어야한다. 경비원 a가 선분(v_k, v_m)의 왼쪽부분을 완전가시성으로 감시해야 하는 경우에도 불구하고 $\triangle(v_k, v_m, v_{m+1})$내부에 경비원이 감시하지 못하는 영역이 존재한다면, 경비원 a를 꼭짓점 v_{m+1}와 꼭짓점 v_n사이의 경계의 일부가 방해하는 경우이다. 같은 이유로 경비원 b가 선분(v_{m+1}, v_k)의 오른쪽 부분을 완전가시성으로 감시해야 하는 경우에 $\triangle(v_k, v_m, v_{m+1})$내부에 경비원이 감시하지 못하는 영역이 존재한다면, 경비원 b를 꼭짓점 v_m으로부터 시계방향쪽의 경계의 일부가 방해하는 경우이다. 그러나 이 두 경우 모두 경계의 일부가 방해하는 경우가 존재한다면 이는 소용돌이 다각형의 정의를 어기는 경우이므로 불가능하다. 그러므로 다각형 내부에 경비원이 의해 감시하지 못하는 영역은 $\triangle(v_k, v_m, v_{m+1})$내에는 존재하지 않는다.

3) 삼각화된 삼각형에 경계에지를 하나도 포함하지 않는 경우 : (그림 7)의 (c)와 같이 삼각형 $\triangle(v_k, v_m, v_{m+2})$의 경우를 보면 화살표로 표시된 방향에서 대각선분을 모두 각각 완전가시성으로 감시하여야 하지만, 감시여부와 관계없이 다각형($v_k, v_m, v_{m+1},, v_{m+2}$)가 소용돌이 다각형의 정의에 따라 항상 볼록 다각형이므로, 선분(v_m, v_{m+2})의 윗부분을 감시하기위해 다각형(v_m, v_{m+1}, v_{m+2})에 경비원이 번드시 있어야 하므로 $\triangle(v_k, v_m, v_{m+2})$의 내부에는 경비원이 의해 감시하지 못하는 영역이 존재할 수 없다. □

정리 2: 단조 다각형, 별모양 다각형, 완전외부가시성 다각형, 단순다각형에 속하는 다각형 P에서 다각형을 임의로 삼각화한 대각선분을 완전가시성으로 양쪽 면을 감시하는 경우 P에 대한 GSS가 되지 않는다.

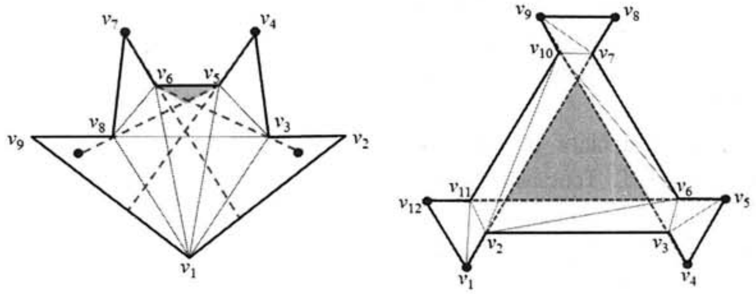
증명: 이 정리를 증명하는 것은 각 부류의 다각형의 삼각화에서 삼각화한 대각선분을 완전가시성으로 양쪽 면을 감시하는 경우에도 경비원에 의해 감시되지 않는 다각형 내부의 영역이 존재함을 보임으로 증명할 수 있다.

단조 다각형 : (그림 8)에서 경비원이 꼭짓점 v_4와 꼭짓점 v_7, 그리고 꼭짓점 v_3, v_8근처에 있을 때 삼각화한 대각선분을 완전가시성으로 양쪽 면을 감시할 수 있으나 선분(v_5, v_6)근처에 경비원에 의해 감시되지 않는 부분이 존재한다.



(a) (b) (c)

(그림 7) (a) 첫 번째 , (b) 두 번째 , (c) 세 번째 경우의 소용돌이 다각형



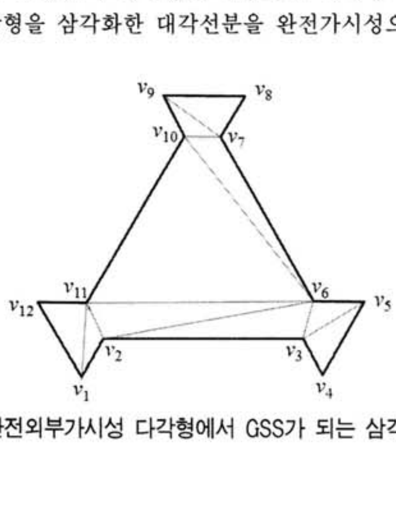
(a) (b)

(그림 8) (a) 단조다각형 (b) 완전외부가시성 다각형

별모양 다각형: (그림 8)의 (a)는 단조다각형인 동시에 별모양 다각형이다. 그러므로 단조다각형과 동일한 결과를 얻을 수 있다.

완전외부가시성 다각형: (그림 8)의 (b)는 완전외부가시성 다각형이지만 단조다각형도 아니고 별 모양 다각형도 아니다. 경비원이 꼭짓점 $v_1, v_4, v_5, v_8, v_9, v_{12}$에 있을 때 삼각화한 대각선분을 완전가시성으로 양쪽 면을 감시할 수 있으나, 그림에서 보는 것처럼 다각형의 중앙에 아주 큰 경비원이 감시하지 못하는 영역이 존재한다. □

강외부가시성 다각형은 완전외부가시성 다각형을 포함하는 다각형 부류이고, 약외부가시성 다각형은 단조다각형, 단순 다각형은 소용돌이 다각형을 포함하는 다각형 부류이기 때문에 다각형을 삼각화한 대각선분을 완전가시성으로 양쪽을 감시하는 것으로는 강외부가시성 다각형과 약외부가시성 다각형, 단순 다각형에서 GSS가 되지 않는다.



(그림 9) 완전외부가시성 다각형에서 GSS가 되는 삼각화의 예

(그림 8)의 (b)의 완전외부가시성 다각형에서 임의의 삼각화에 대한 대각선분들은 GSS가 되지 못했지만, 아래의 (그림 9)의 삼각화에서는 대각선분들은 GSS가 되는 경우이다. 그러므로 다각형의 부류에 속하는 다각형들에 대해서 GSS가 될 수 있는 삼각화를 구하는 알고리즘을 찾는 것이 향후 연구과제가 될 것이다.

3. 결 론

본 논문에서는 화랑문제 분야에서 다양한 다각형의 부류에서 경비충분집합에 될 수 있는 기하학적인 요소들에 관해 다루었다. 경비충분집합이 될 수 있는 기하학적인 요소로 다각형의 삼각화에 대해서 다루었고, 다각형의 삼각화한 대각선분에 대해 완전가시성으로 양쪽을 다 감시할 경우 경비충분집합이 되는 삼각형의 부류가 볼록 다각형, 단변단조 다각형, 소용돌이 다각형임을 보였고, 그 외의 별모양 다각형, 단조 다각형, 완전외부가시성 다각형에서는 경비충분집합이 되지 못함을 보였다.

향후 연구과제로 임의의 삼각화의 대각선분은 경비충분집합이 되지 못하는 다각형 부류에 대해, 경비충분집합이 되는 삼각화의 대각선분을 구하는 알고리즘을 찾는 것이다.

참 고 문 헌

[1] 양태천, 신찬수, "단순다각형에서의 경비 가능 충분 집합," 한국정보과학회 논문지, 제28권 제1.2호, 2001.

[2] A. Aggarwal, The art gallery problem: Its variations, applications, and algorithmic aspects. PhD thesis, Johns Hopkins University, 1984.

[3] S. Eidenbenz, C. Stamm, and P. Widmayer, "Inapproximability results for guarding polygons and terrains," Algorithmica, 31(1):79-113, 2001.

[4] D. T. Lee and A. K. Lin, "Computational complexity of art gallery problems," IEEE Transactions on Information Theory, 32:276-282, 1986.

[5] J. O'rourke, Art Gallery Theorems and Algorithms, Oxford University Press, New York, 1987

[6] T. Shermer, Recent Results in Art Galleries. Proceedings of the IEEE 80: 1384-1399, 1992

[7] G. T. Toussaint, "Movable separability of sets," in Computational Geometry, Ed., G. T. Toussaint, North-Holland, 1985, pp.335-375.

[8] J. Urrutia, "Art Gallery and Illumination Problems" Handbook on Computational Geometry, Elsevier Science Publishers, J.R. Sack and J. Urrutia eds. pp.973-1026, 2000.

양 태 천

e-mail : tcyang@ks.ac.kr

1982년 경북대학교 전자공학과 전자계산전공(학사)

1984년 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)

1994년 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)

1985년~현 재 경성대학교 컴퓨터정보학부 교수

관심분야 : 계산기하, 그래프 알고리즘, 컴퓨터그래픽스 등