韓國컴퓨터情報學會 論文誌
第16卷 第6號, 2011. 6.

2011-16-6-5-1

# 화랑 문제의 최소 정점 경비원 수 알고리즘

이 상 운*

# Minimum number of Vertex Guards Algorithm for Art Gallery Problem

Sang-Un, Lee*

## 요 약

본 논문은 화랑 문제의 최소 정점 경비원 수를 구하는 알고리즘을 제안하였다. $n$개의 사각형 방으로 구성된 화랑의 최소 경비원수는 정확한 해를 구하는 공식이 제안되었다. 그러나 단순하거나 장애물이 있는 다각형 또는 직각 다각형에 대해 최대 경비원수를 구하는 공식만이 제안되었으며, 최소 경비원수를 구하는 근사 알고리즘만이 제안되고 있다. $n$개의 정점으로 구성된 다각형 $P$에 대한 최대 정점 경비원 수를 구하는 방법은 Fisk가 다음과 같이 제안하였다. 첫 번째로, $n-2$개의 삼각형으로 구성된 삼각분할을 수행한다. 두 번째로 3색-정점 색칠을 한다. 세 번째로 최소 원소를 가진 채색수를 정점 경비원의 위치로 결정한다. 본 논문에서는 지배집합으로 최소 정점 경비원 수를 구한다. 첫 번째로, 가능한 모든 가시적인 정점들 간에 간선을 그린 가시성 그래프를 얻는다. 두 번째로, 가시성 그래프로부터 직접 지배집합을 얻는 방법과 가시성 행렬로부터 지배집합을 얻는 방법을 적용하였다. 다양한 화랑 문제에 적용한 결과 제안된 알고리즘은 단순하면서도 최소 정점 경비원 수를 얻을 수 있었다.

▸ 키워드 : 화랑 문제, 다각형, 직각 다각형, 정점 색칠, 삼각분할, 지배집합

## Abstract

This paper suggests the minimum number of vertex guards algorithm. Given $n$ rooms, the exact number of minimum vertex guards is proposed. However, only approximation algorithms are presented about the maximum number of vertex guards for polygon and orthogonal polygon without or with holes. Fisk suggests the maximum number of vertex guards for polygon with $n$ vertices as follows. Firstly, you can triangulate with $n-2$ triangles. Secondly, 3-chromatic vertex coloring of every triangulation of a polygon. Thirdly, place guards at the vertices which have the minority color. This paper presents the minimum number of vertex guards using dominating set. Firstly, you can obtain the visibility graph which is connected all edges if two vertices can be visible each other. Secondly, you can obtain dominating set from visibility graph or visibility matrix. This algorithm applies various art galley problems. As a results, the proposed algorithm is simple and can be obtain the minimum number of vertex guards.

▸ Keywords : art gallery problem, polygon, orthogonal polygon, vertex coloring, triangulation, dominating set

• 제1저자 : 이상운
• 투고일 : 2011. 01. 14, 심사일 : 2011. 02. 02, 게재확정일 : 2011. 02. 21
* 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 (Dept. of Multimedia Science, Gangneung-Wonju National University)

# I. 서 론

화랑 문제 (art gallery problem)는 정점 (꼭지점, 또는 모서리, $n$)과 간선 (벽, $m$)으로 구성된 평면상의 닫힌 볼록 다각형 (convex polygon, $P$) 화랑 (art gallery)에 대해 벽에 걸린 고가의 그림을 동시에 모두 감시하기 위해 필요로 하는 고정 배치 경비원 (guards) 수 또는 감시 카메라 (CCTV) 수를 찾는 문제로 1976년도에 빅터 클리 (Victor Klee)에 의해 처음 제기되었다.[1-4] 이 문제는 화랑의 형태에 따라 다각형 (polygon), 직각형 (orthogonal)과 방 (rooms)으로 구분되며, 다각형 공간 내부에 장애물 (hole)이 없는 단순 다각형 (simple polygon or a polygon without holes)과 장애물이 있는 경우 (with holes)로 다시 구분된다. 또한, 경비원을 고정 배치하는 경우 점 경비 (point guards)와 정점 경비 (vertex guards), 이동을 허용하는 경우 간선 경비 (edge guards)와 이동 경비 (mobile guards)로 분류된다. 경비원이 다각형 내부의 어떠한 지점에도 고정 배치될 수 있는 경우를 점 경비, 정점에만 고정 배치되는 경우 정점 경비, 간선을 따라 이동하면서 순찰을 허용하는 경우를 간선 경비, 다각형 내부의 선분 (간선 또는 대각선)을 따라 이동하면서 순찰을 허용하는 경우를 이동 경비라 한다.[2-4] 본 논문은 정점 경비에 초점을 맞춘다.

화랑 문제와 관련하여 Chvátal 정리[1-4]가 있다. Chvátal 화랑 정리는 Vaclay Chvatal의 이름을 따서 부르는 것으로 경비원 수의 상한값 (upper limit)을 제시하였다. 그는 n개의 정점으로 구성된 단순 다각형을 경비하기 위해서는 $\left\lfloor \frac{n}{3} \right\rfloor$의 정점 경비원이면 충분하고 제시하였다. Shermer[2-4,5]는 $h$개의 장애물이 있는 단순 다각형의 경우 $\left\lfloor \frac{n+h}{3} \right\rfloor$의 정점 경비원이면 항상 감시할 수 있다고 제시하고 있다. 직각 단순 다각형은 $\left\lfloor \frac{n}{4} \right\rfloor$, 장애물이 있는 직각 다각형은 $\left\lfloor \frac{n}{3} \right\rfloor$이면 충분하다. 또한, $n$개의 방으로 구성된 직사각형 화랑의 경우 정확히 $\left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil$의 인원이 필요하다.

지금까지의 연구 결과는 충분한 인원 즉, 최대 인원수를 찾는 방법은 제시되었다. 그러나 우리가 찾고자 하는 궁극적인 목표는 최소 인원수이다. 화랑 문제의 최소 인원수를 찾기 위한 알고리즘으로는 근사 알고리즘들이 제안되었다. 이들 알고리즘들은 집합 피복 (set cover) 문제[6,7]로 해답을 얻고자 하였다. 그러나 이 문제 자체도 NP-완전 (NP-complete)으로 쉽지 않다.

결국, $n$개의 방으로 구성된 직사각형 화랑의 경우에만 정확한 최소 인원수가 결정되었으며, 다각형과 직각형에 대해서는 최대 인원수는 연구되었지만 최소 인원수를 가능한 정확히 찾는 알고리즘은 제시되지 않고 있다. 따라서 본 논문에서는 다각형, 직각형의 화랑에 대해 최소 정점 경비원수를 정확히 찾는 알고리즘을 제안한다. 2장에서는 충분한 경비원수를 찾는 방법을 고찰한다. 3장에서는 최소 경비원수를 찾는 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안된 알고리즘의 적합성을 검증한다.

# II. 화랑 경비원 수

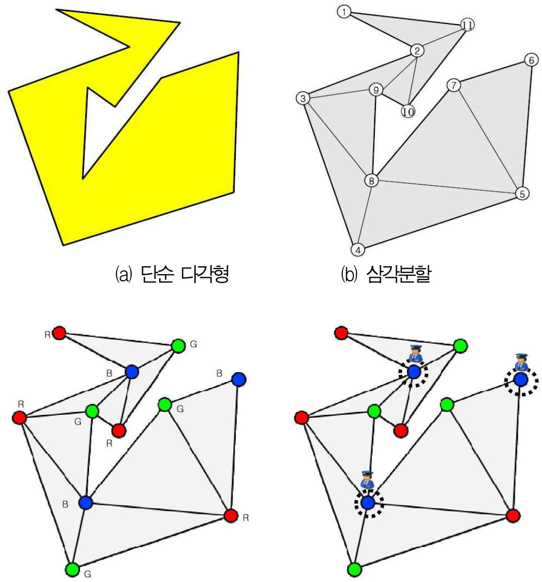
n개의 정점으로 구성된 단순 다각형의 경우 Chvátal 정리에 따르면 $\left\lfloor \frac{n}{3} \right\rfloor$의 인원으로 충분하다. 이 정리는 Fisk[3,4,8]에 의해 다음과 같이 증명되었다. 여기서 경비원은 자신의 위치에서 모든 방향 (360°)을 감시할 수 있다고 가정한다.

(1) $n$개 정점으로 구성된 $P$ 다각형에 대해 서로 볼 수 있는 두 정점 을 잇는 간선 (선분, line segment)을 그린다. 이를 삼각분할법 (triangulation)이라 하며, 삼각형의 개수가 $n-2$개가 되는 가시성 그래프 (visibility graph)를 얻는다.
(2) 가시성 그래프에 대해 3색-정점 색칠 (vertex coloring)을 한다.
(3) 최소 채색수 집합의 각 정점에 경비원을 배치시킨다.

모든 알고리즘은 항상 (1)의 삼각분할 법으로 가시성 그래프를 구한 후 (2)와 (3)을 다르게 수행한다.

그림 1은 13개의 정점 $(n=13)$들로 구성된 단순 다각형 $P_1$으로 Wikipedia[1]에서 인용되었다. 다각형의 내부를 (b)와 같이 삼각분할하면 $n-2$개의 삼각형을 얻는다. (c)는 정점 색칠을 한 경우로 $R=\{1,3,5,10\}$, $G=\{4,7,9,11\}$, $B=\{2,6,8\}$을 얻었다. (d)는 $R,G,B$의 채색수 집합에서 원소 개수가 최소인 $B$를 선택하고 경비원을 비치한 경우로 경비원 수는 3명이 된다.

그림 2의 $P_2$는 단순 직각 다각형으로 Urrutia[4]에서 인용되었다. 16개의 정점들 중에서 16개의 간선 (벽)을 동시에 모두 감시할 수 있는 경비원 수는 $\left\lfloor \frac{n}{4} \right\rfloor$ 명임을 보여주고 있다.



(a) 단순 다각형 (b) 삼각분할

(c) 정점 색칠 (d) 정점 경비원 배치

그림 1. 단순 다각형 화랑의 경비원 수
Fig. 1. Number of Guards for Simple Polygon Art Gallery

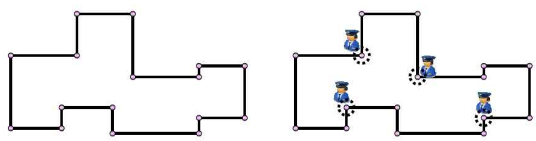


그림 2. 직각 다각형 화랑의 경비원 수
Fig. 2. Number of Guards for Simple Orthogonal Art Gallery

지금까지의 이론에 따르면, 정점 경비원 수는 $P_1$은 3명, $P_2$는 4명이 필요하다. 이는 충분한 인원이며, 실제로는 보다 적은 인원으로 경비를 할 수 있다. 따라서 3장에서는 지배집합(dominating set) 방법을 적용하여 최소 경비원수를 구하는 알고리즘을 제안한다.

## III. 화랑 문제의 최소 경비원수 알고리즘

본 장에서는 지배집합 (dominating set)[9]을 적용하여 최소 경비원수를 구한다. 적용되는 그래프 알고리즘 개념은 다음과 같다. 그래프 $G=(V,E)$에서 정점 $v$의 차수 (부속 간선 수)를 $d_G(v)$라 한다. 그래프의 최소 차수 정점을 $\delta(G)$, 최대 차수 정점을 $\Delta(G)$라 하며, 정점 $v$에 인접 (이웃)하는 정점을 $N_G(v)$, 닫힌 이웃을 $N_G[v]=v+N_G(v)$라 한다. 단순 또는 장애물을 가진 다각형과 직각 다각형의 경우 정점 경비원 수 알고리즘은 다음과 같이 수행된다.

(1) $n$개의 정점을 가진 다각형 $P$에 대해 각 정점 $u$에서 다각형 내부에 볼 수 있는 모든 다른 정점 $v$로 간선을 연결한 가시성 그래프를 얻는다.

(2) **[방법 1]**

while $d_G(v) \neq \varnothing$
/* 가시성 그래프의 간선이 모두 삭제될 때까지 수행
do
$\delta(G)$ 정점 $v$의 인접 정점 $N_G(v)$중 최대차수 $\Delta(N_G(v))$ 정점 $u$ 선택.
$G \leftarrow \{u\}$. /* 경비원 집합
$N_G[u]$의 간선 $\{v,w\}$, $(v \in N_G[u], w \in N_G[u])$ 삭제.
/* $u$에 위치한 경비원이 볼 수 있는 가시적인 벽(간선).
return $G$.

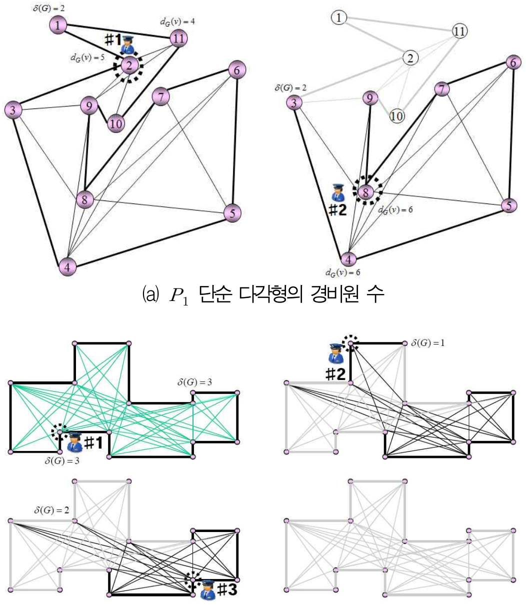
**[방법 2]**

각 정점 $u$의 가시성 벽 $e_w$에 대해 행을 $e_w$, 열을 $u$로 하는 가시성 행렬 (visibility matrix) 작성. /* 만약 $e_w=\{u,v\}$의 2개 정점을 모두 볼 수 있으면 "1", 1개 정점만 볼 수 있거나 2개 정점 모두 볼 수 없으면 "0"으로 표기.
while $d_G(v) \neq \varnothing$
do
$\delta(G)$ 정점 $v$의 인접 정점 $N_G(v)$중 최대차수 $\Delta(N_G(v))$ 정점 $u$ 선택.
$G \leftarrow \{u\}$. /* 경비원 집합
$u$ 열이 "1"인 행 $e_w$ 삭제.
return $G$.

$P_1$과 $P_2$에 제안 알고리즘의 [방법 1]을 적용하면 그림 3과 같다. 먼저, 주어진 다각형 $P$의 각 정점에서 상호간에 볼 수 있는 상대 정점으로 간선을 모두 연결한 가시성 그래프를 그린다. 다음으로 $P_1$의 경우, $\delta(G)$는 $d_G(1)=2$인 정점 ①이다. ①의 이웃 정점 ②와 ⑪의 $d_G(2)=5$, $d_G(11)=4$ 중에서 $\Delta(N_G(1))$은 ②로 경비원 #1의 위치가 결정된다. ② 정점의 이웃 정점들 간의 간선과 부속 간선을 모두 삭제한다. 경비원 #2는 ③과 ⑨가 $\delta(G)$ 정점이며 인접 정점들 중 $\Delta(N_G(3))$, $\Delta(N_G(9))$는 ④와 ⑧의 $d_G(4)=6$, $d_G(8)=6$로 동일하므로 임의의 정점을 선택하고 모든 간선들을 삭제하면 알고리즘이 종료된다. 따라서 이 화랑에 대한 최소 경비원 수는 2명이다. $P_2$의 직각 다각형의 경우도 동일

한 방법으로 수행하면 최소 경비원의 수는 3명이 된다. 즉, 제안된 알고리즘은 삼각분할과 정점색칠을 수행하지 않으면서도 최소 경비원 수를 구하는 장점을 갖고 있다.

$P_1$에 제안 알고리즘의 [방법 2]를 적용하면 다음 가시성 행렬에서 최소 차수인 ① 의 이웃 정점 중 최대 차수인 ② 를 경비원 #1으로 선택하고 "1"인 $e_w$를 지운다. 다시 최소 차수인 ③ 또는 ⑨의 이웃 정점 중 최대 차수인 ④ 또는 ⑧을 경비원 #2로 선택하면 모든 벽을 감시할 수 있다.




(a) $P_1$ 단순 다각형의 경비원 수

(b) $P_2$ 직각 다각형의 경비원 수

그림 3. 제안 알고리즘 [방법 1] 적용 화랑의 경비원 수

Fig. 3. Number of Guards for Method-1 of Proposed Algorithm

| | | $u$ | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| $e_w$ | {1,2} | 1 | 1 | | | | | | | | | 1 |
| | {2,3} | | 1 | 1 | | | | | | 1 | | |
| | {3,4} | | | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | | |
| | {4,5} | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| | {5,6} | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| | {6,7} | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| | {7,8} | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| | {8,9} | | | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | | |
| | {9,10} | | 1 | | | | | | | 1 | 1 | 1 |
| | {10,11} | | 1 | | | | | | | 1 | 1 | 1 |
| | {11,1} | 1 | 1 | | | | | | | | | 1 |
| | 계 | **2** | **5** | **3** | **6** | **4** | **4** | **4** | **6** | **5** | **2** | **4** |

| | | $u$ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| $e_w$ | {3,4} | 1 | 1 | | | | 1 | 1 |
| | {4,5} | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | {5,6} | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | {6,7} | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | {7,8} | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | {8,9} | 1 | 1 | | | | 1 | 1 |
| | 계 | **2** | **6** | **4** | **4** | **4** | **6** | **2** |

사각형의 방으로 구성된 화랑의 경우 경비원 수 알고리즘은 다음과 같이 수행된다. 이 경우, 경비원은 2개 방의 출입문에 위치하는 것으로 가정한다.

(1) $n$개의 방 (정점)으로 구성된 다각형 $P$에 대해 각 정점 $u$에서 다른 정점으로 출입문이 있는 경우 간선으로 연결한 가시성 그래프를 얻는다.

(2) while $d_G(v) \neq \varnothing$ /* 모든 간선이 삭제될 때까지 수행

do

임의의 간선 $\{u,v\}$ 선택.

$G \leftarrow \{u,v\}$. /* 경비원 집합

$u$와 $v$의 인접 간선 삭제.

return $G$.

만약, 최종적으로 1개의 정점이 남는 경우 이 정점의 임의의 간선에 경비원 추가 배치.

제안된 알고리즘을 Ghosh[3]와 Urrutia[4]에서 인용된 그림 4의 8개 사각형의 방으로 구성된 $P_3$ 화랑에 적용하여 보면 적확히 $\left\lceil \frac{n}{2} \right\rceil = 4$명이 필요하다. 즉, 임의의 간선을 선택하고 인접한 간선을 지우는 방법을 4회 계속하여 수행하면 간선이 0이 된다. 이때 선택된 간선의 개수가 최소 경비원의 수이다.

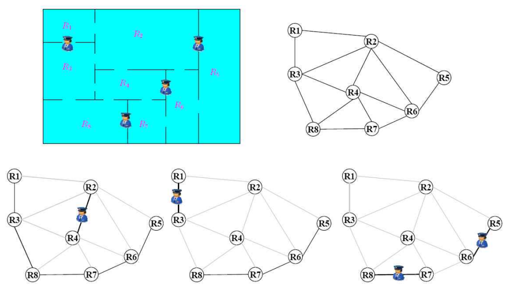


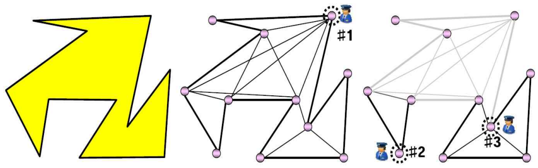
그림 4. $P_3$ 사각형 방 화랑의 경비원 수

Fig. 4. Number of Guards for $P_3$ Rectangular Art Gallery

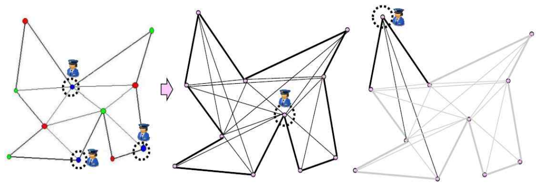
## IV. 알고리즘 적용 및 결과 분석

본 장에서는 다각형, 직각 다각형과 사각형 방에 대해 제안된 알고리즘을 적용하여 본다. $P_4$는 Peterson[10]에서, $P_5, P_{12}, P_{20}$은 Barrow[2]에서, $P_6, P_8, P_9, P_{17}$는 Urrutia[4]에서, $P_7$은 Do[11]에서, $P_{10}$은 Ghosh[3]에서, $P_{11}, P_{21}$은 Shermer[5]에서, $P_{13}, P_{14}$는 Ghosh[3], Urrutia[4]와 Shermer[5]에서, $P_{15}$는 Ghosh[3], Urrutia[4]와 Laurentini[12]에서, $P_{16}$은 Barrow[2], Urrutia[4], Shermer[5]와 Do[11]에서, $P_{18}$은 Ghosh[3]와 Urrutia[4]에서, $P_{19}$는 Wikipedia[1]에서 인용되었다.

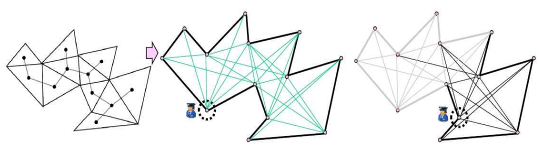
다각형의 경우 제안된 알고리즘을 적용하여 최소 경비원 수를 구한 결과는 그림 5에 제시되어 있다. $P_{16}$은 Hole이 있는 다각형이며, 나머지는 모두 Hole이 없는 단순 다각형이다. 다각형의 경우 기존의 삼각분할법에 비해 간단하면서도 특별한 어려움 없이 모두 최소 경비원수를 구할 수 있었다.



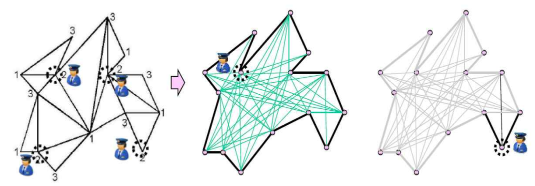

(a) $P_4$ (2명)



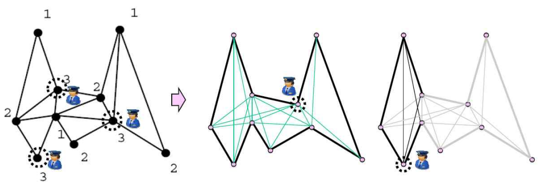
(b) $P_5$ (2명)



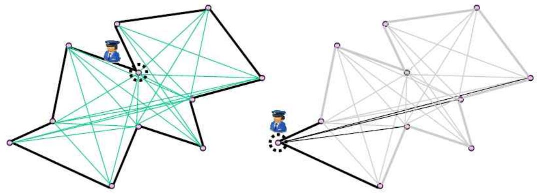
(c) $P_6$ (2명)



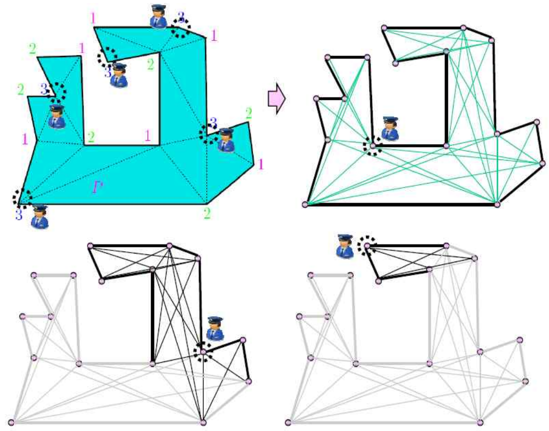
(d) $P_7$ (2명)



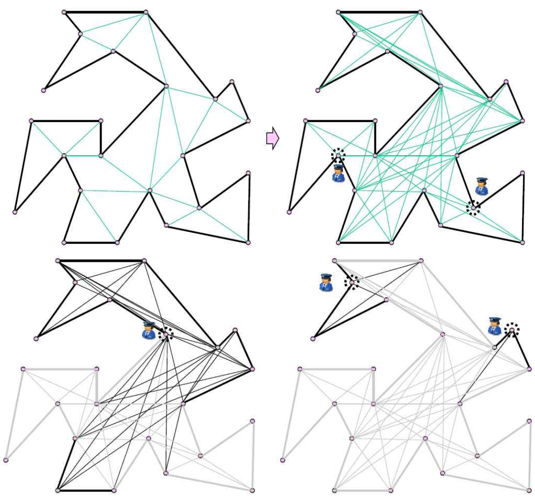
(e) $P_8$ (2명)



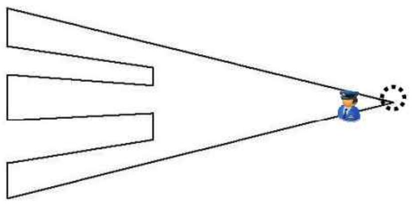
(f) $P_9$ (2명)



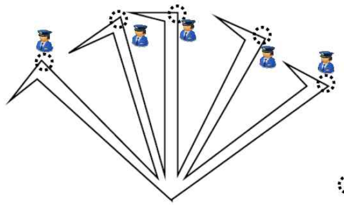
(g) $P_{10}$ (3명)



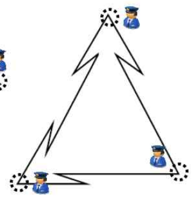
(h) $P_{11}$ (5명)



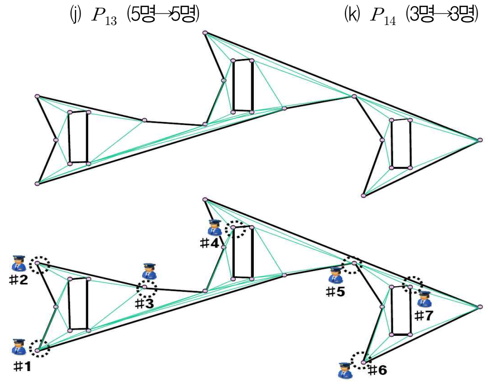
(i) $P_{12}$ (1명→1명)



(j) $P_{13}$ (5명→5명)



(k) $P_{14}$ (3명→3명)



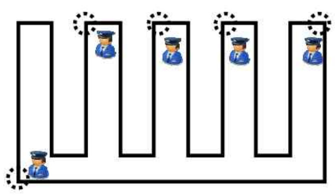

(l) $P_{15}$ (9명→7명)

그림 5. 다각형 화랑의 최소 경비원 수

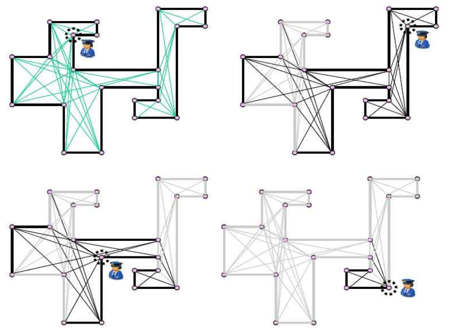
Fig. 5. Minimum Number of Guard for Polygon Art Gallery

직각 다각형의 경우 제안된 알고리즘을 적용한 결과는 그림 6에 제시하였다. $P_{19}$의 경우, 장애물이 있는 경우로, 사각형 방과 직각 다각형의 혼합된 형태로 볼 수 있다. 또한, 특이한 점은 1개 벽은 경비원 #2와 경비원 #3가 중첩되어 감시가 가능하여 경비원 수는 4명이 된다.

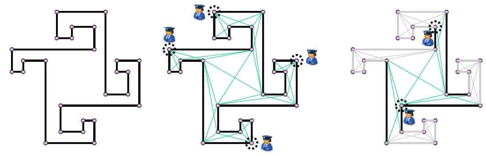
사각형 방의 경우 제안된 알고리즘을 적용한 결과는 그림 7에 제시되어 있다. 제안된 알고리즘은 다각형과 직각 다각형의 경우 정점 지배집합으로 최소 경비원 수를 쉽게 구할 수 있었으며, 사각형 방의 경우 방 경계 간선에 대한 간선 지배 집합으로 최소 경비원 수를 구할 수 있었다.



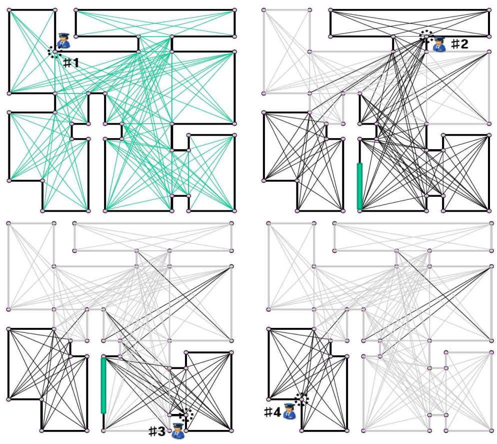
(a) $P_{16}$



(b) $P_{17}$



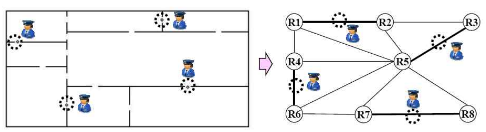
(c) $P_{18}$



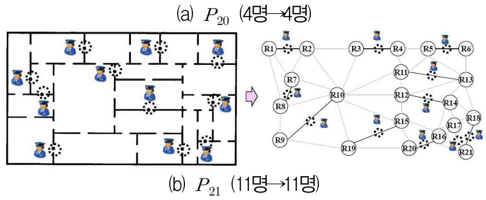

(d) $P_{19}$

그림 6. 직각 다각형 화랑의 최소 경비원 수

Fig. 6. Minimum Number of Guard for Orthogonal Art Gallery



(a) $P_{20}$ (4명→4명)



(b) $P_{21}$ (11명→11명)

그림 7. 사각형 방 화랑의 최소 경비원 수

Fig. 7. Minimum Number of Guard for Rectangular Art Gallery

본 논문에서 거론된 예시들에 대해 최대 경비원수와 제안된 알고리즘으로 구한 최소 경비원수를 비교한 결과는 표 1과 같다. 제안된 알고리즘은 거의 모든 예시들에 대해 기존의 이론으로 구한 경비원 수를 감소시키는 결과를 얻었다. 예로, $P_4$에서 $P_{11}$, $P_{15}$와 $P_{17}$의 10개 데이터에 대해서는 참고문헌에서 제시한 값에 비해 경비원 수를 보다 감소시킬 수 있었으며, 나머지 11개 데이터에 대해서는 참고문헌에서 제시한 값과 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

표 1. 경비원 수 비교
Table 1. Compare with Number of Guards

| 사례 | $n$ | 최대 경비원수 | | 참고문헌 제시 값 | 제안 알고리즘 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 기준 | 값 | | |
| $P_1$ | 10 | $\lfloor n/3 \rfloor$ | 3 | 3 | 3 |
| $P_4$ | 11 | | 3 | 3 | 2 |
| $P_5$ | 11 | | 3 | 3 | 2 |
| $P_6$ | 13 | | 4 | 4 | 2 |
| $P_7$ | 15 | | 5 | 4 | 2 |
| $P_8$ | 10 | | 3 | 3 | 2 |
| $P_9$ | 11 | | 3 | 3 | 2 |
| $P_{10}$ | 17 | | 5 | 5 | 3 |
| $P_{11}$ | 23 | | 7 | 7 | 5 |
| $P_{12}$ | 11 | | 3 | 1 | 1 |
| $P_{13}$ | 20 | | 6 | 5 | 5 |
| $P_{14}$ | 11 | | 3 | 3 | 3 |
| $P_{15}$ | 24+3 | $\lfloor (n+h)/3 \rfloor$ | 9 | 9 | 7 |
| $P_2$ | 16 | $\lfloor n/4 \rfloor$ | 4 | 3 | 3 |
| $P_{16}$ | 20 | | 5 | 5 | 5 |
| $P_{17}$ | 22 | | 5 | 5 | 4 |
| $P_{18}$ | 26 | | 6 | 6 | 6 |
| $P_{19}$ | 42 | | 10 | 4 | 4 |
| $P_3$ | 8 | $\lceil n/2 \rceil$ | 4 | 4 | 4 |
| $P_{20}$ | 7 | | 4 | 4 | 4 |
| $P_{21}$ | 21 | | 11 | 11 | 11 |

## V. 결론 및 추후 연구과제

본 논문은 화랑의 최소 경비원 수를 구하는 알고리즘을 제안하였다. 지금까지 화랑의 최대 경비원 수를 구하는 공식은 단순 다각형에 대해서는 Chvátal 정리인 $\left\lfloor \frac{n}{3} \right\rfloor$ 이 있으며, 이는 Fisk에 의해 $n-2$개의 삼각형으로 삼각 분할법을 적용하고, 3색-정점 색칠 방법으로 증명되었다. 제안된 알고리즘은 가능한 모든 가시성 간선을 그린 가시성 그래프로부터 직접 지배집합을 구하는 [방법 1]을 적용하거나 가시성 그래프로부터 가시성 행렬을 구하여 지배집합을 구하는 [방법 2]를 적용하였다. 제안된 알고리즘은 단순 또는 장애물이 있는 다각형이나 직각 다각형에 대해 최소 정점 경비원 수를 구할 수 있었다. 4각형 방으로 구성된 화랑의 경우 간선 지배집합을 구하는 방법을 적용하였다.

제안된 알고리즘은 정점 경비 문제에 대해 최소 경비원 수를 구할 수 있었다. 제안된 방법으로 얻은 정점 경비원의 위치에 기반하면 경비원의 최소 이동 거리를 구할 수 있어 이동 경비 (mobile guard)나 최단 경비원 경로 (watchman route)를 구하는데 적용할 수 있을 것이다. 따라서 추후 이 문제를 연구하고자 한다.

## 참고문헌

[1] Wikipedia, “Art Gallery Problem,” http://en.wikipedia. org/wiki/Art_gallery_problem, 2010.
[2] J. Barrow, "The Maths of Pylons, Art Galleries and Prisons Under the Spotlight," Gresham College, http://www.gresham.ac.uk/event.asp?Pageid=45&Eventid=819, 2008.
[3] S. K. Ghosh, "Art Gallery Theorems and Approximation Algorithms," School of Technology & Computer Science, Teta Institute of Fundamental Research, Mumbai, India, http://www.tcs.tifr.res.in/~ghosh/artgallery.pdf. 2010.
[4] J. Urrutia, "Art Gallery and Illumination Problems," Handbook of Computational Geometry, Department of Computer Science, University of Ottawa, Canada, www.matem.unam.mx/~urrutia/online_papers/Art-Galleries.ps. 1996
[5] T. C. Shermer, "Recent Results in Art Galleries," Proceedings of the IEEE, Vol. 80, No. 9, 1992.
[6] Wikipedia, “Set Cover Problem,” http://en.wikipedia. org/wiki/Set_cover_problem, 2010.
[7] A. Deshpande, T. Kim, E. D. Demaine, and S. E. Sarma, "A Pseudopolynomial Time $O(\log n)$-Approximatiom Algorithm for Art Gallery Problems," Proc. Workshop Algorithms and Data Structures, Lecture Notes in Computer Science, 4619, Springer-Verlag, pp. 163-174, 2007.
[8] S. Fisk, "A Short Proof of Chvatal's Watchman Theorem," Journal of Combinatorial Theory,"

Series B, Vol. 24, No. 3, 1978.
[9] Wikipedia, "Dominating Set," http://en.wikipedia.org/ wiki/Dominating_set, 2010.
[10] I. Peterson, "Problem at the Art Gallery," http://www. maa.org/mathland/mathland_11_4.html, 1996.
[11] N. Do, "Art Gallery Theorems,"www.austms.org.au/Publ/Gazette/2004/Nov04/mathellaneous.pdf, 2004.
[12] A. Laurentini, "Guarding the Walls of an Art Gallery," The Visual Computer, Vol. 15, pp. 265-278, 1999.

## 저 자 소 개

이 상 운

1983년~1987년 : 한국항공대학교 항공전자공학과(학사)
1995년 ~ 1997년 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (석사)
1998년 ~ 2001년 : 경상대학교 컴퓨터과학과 (박사)
2003년 : 강원도립대학 컴퓨터응용과 전임강사
2004년 ~ 2007.2 : 국립 원주대학 여성교양과 조교수
2007.3 ~ 현재 : 강릉원주대학교 과학기술대학 멀티미디어공학과 부교수
관심분야 : 소프트웨어 프로젝트 관리, 소프트웨어 개발 방법론, 소프트웨어 척도 (소프트웨어 규모, 개발노력, 개발기간, 팀 규모), 분석과 설계 방법론, 소프트웨어 시험 및 품질보증, 소프트웨어 신뢰성, 신경망, 뉴로-퍼지, 그래프 알고리즘
e-mail : sulee@gwnu.ac.kr