

# 베지어 곡선을 활용한 육각 그리드의 그림자 생성 방법

(Hexagonal Grid Shadow Generation using Bézier Curves)

김민석\*, 남택관\*, 박영진\*\*

(Minseok Kim, Taekgwan Nam, Youngjin Park)

## 요약

육각 그리드(hexagonal grid) 구조는 지리정보시스템에서 공간정보 데이터를 처리하고 표현하기에 우수하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 육각 그리드를 이용한 시각화는 다른 그리드 표현 방법 대비 시인성이 높지만, 이에 표현된 공간정보 데이터에 따라 양적 정보와 그리드 간 데이터 차이를 효과적으로 전달하는 데 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 육각 그리드 외곽에 그림자를 생성하여 시각적으로 육각 그리드를 강조하는 방법을 제안한다. 이를 위해 강조하고자 하는 육각 그리드들의 최외곽 선분들을 오프셋 시키고, 그 정보를 바탕으로 베지어 곡선을 생성하여 최종적인 그림자 형상을 결정한다. 그림자는 육각 그리드에서 멀어질수록 서서히 없어진다는 특성을 활용하여, 그림자의 가장자리로 갈수록 투명도를 가변적으로 적용한다. 제안하는 방법을 이용하여 하나의 육각 그리드뿐만 아니라 여러 개의 육각 그리드가 주어지더라도 그림자 영역을 효과적으로 생성할 수 있음을 보였으며, 사용자 인터페이스의 입력에 따라 다양한 그림자 형상을 생성할 수 있다. 서울 특별시의 행정구 중 용산구에 제안하는 방법을 활용하여 그림자를 생성한 후 시각적으로 강조한 결과를 보인다.

■ 중심어 : 데이터 시각화 ; 지리정보시스템 ; 육각 그리드 ; 베지어 곡선 ; 그림자

## Abstract

The hexagonal grid structure has been studied for processing and representing spatial information data in Geographic Information Systems. Visualization using a hexagonal grid has high visibility compared to other grid representation methods. However, it is difficult to effectively convey quantitative data and differences between grids depending on the geospatial data represented. In this paper, we propose a method to visually emphasize the hexagonal grid by generating shadow on the outside of the hexagonal grid. To do so, we offset the outer line segments of the hexagonal grid to be emphasized and generate a Bézier curve based on that information to determine the final shadow shape. We also apply variable transparency toward the edges of the shadow because the shadow gradually fades away from the hexagonal grid. We have shown that the proposed method can effectively generate shadow areas given not only a single hexagonal grid but also multiple hexagonal grids and can generate various shadow shapes based on user interface inputs. We apply the proposed method to Yongsan-gu, one of the districts of Seoul, and show the results of visually emphasizing it after generating shadow using the proposed method.

■ keywords : data visualization ; GIS ; hexagonal grid ; Bézier curve ; shadow

## 1. 서론

지리정보시스템(GIS)에서 공간정보 데이터를 그리드를 이용하여 표현할 때, 육각형으로 구성된 육각 그리드(hexagonal grid)로 표현하는 방

\* 준회원, 동아대학교 컴퓨터공학과

\*\* 정회원, 동아대학교 컴퓨터공학과

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2022-00165809).

접수일자 : 2023년 04월 13일

게재확정일 : 2023년 05월 23일

수정일자 : 1차 2023년 05월 19일

교신저자 : 박영진 e-mail : yjpark@dau.ac.kr

법은 꾸준히 연구되어 온 주제이다[1]. 육각 그리드 구조는 이웃한 그리드와 중심점 사이의 거리가 일정하고, 직사각형 그리드 구조보다 우수한 시각적, 분석적 성능을 보여 많은 응용 분야에서 활용하고 있다[1]. 특히 육각 그리드를 이용한 지리정보 데이터 분석과 시각화 연구가 활발히 이루어지고 있으며 이는 입지 분석[2], 경로 탐색[3], 밀집도 분석[4] 등에 사용되고 있다. 이들은 공간정보가 밀집된 관심 영역에 대해서 육각 그리드를 이용해 지리정보 데이터의 일부 값을 반영하고 색상 범례를 이용해 시각화를 수행하였다. 하지만 색상 범례를 이용한 관심 영역의 시각화는 육각 그리드에 반영된 지리정보 데이터에 따라 양적 정보와 육각 그리드 간의 데이터 차이를 시각적으로 전달하지 못할 가능성이 있다[5].

Trautner 등은 관심 영역을 육각 그리드들을 이용해 효과적으로 시각화하는 새로운 표현 방법을 제안하였다. 그중 육각 그리드 간의 양적 정보 차이를 입체적으로 시각화하기 위해 관심 영역의 가장자리에 그림자를 생성하여 그리드를 강조하는 방법을 제시하였다. 구현 측면에서, 그림자는 육각 그리드에 앰비언트 오클루전(ambient occlusion)을 적용하여 실제 육각 그리드에 높이 정보를 부여하지 않고도 데이터의 상대적 양적 정보 차이를 명확하게 시각화하였다. 하지만 이 방법은 추가적인 그래픽스 연산이 필수적이며, 다른 그래픽스 연산과 결합할 때 예기치 못한 결과를 도출할 가능성이 있다[5].

본 논문은 앰비언트 오클루전을 사용하지 않고 그림자를 표현하기 위해 베지어 곡선과 텍스처 이미지를 활용하는 새로운 방법을 제시한다.

베지어 곡선은 컴퓨터그래픽스에서 벡터 이미지, 폰트 디자인, 애니메이션 등 다양한 분야에서 활용되는 곡선으로, 제어점(control point)에 의해 그 형상 및 차수가 결정되며 모든 제어점의 영향을 받으면서 곡선이 그려지게 된다[6]. 베지어 곡선의 제어점은 시작점과 끝점을 제외한 나머지 점들이 곡선이 일직선인 경우를 제외하고는 곡

선 위에 존재하지 않고, 항상 제어점의 convex hull 안에 곡선이 위치한다는 특징이 있다[7].

베지어 곡선으로 주어진 관심 영역의 그림자 영역을 정의한 다음, 알파 채널을 가지는 텍스처 이미지로 그림자 효과를 낸다. 이를 통해 앰비언트 오클루전과 같은 추가적인 후처리 연산을 사용하지 않고도 사용자가 원하는 관심 영역의 육각 그리드에 그림자를 배치할 수 있다. 본 논문이 제안하는 방법을 보이기 위해 서울특별시의 행정구를 분할하고 육각 그리드로 시각화하였으며, 그 중 용산구에 제안하는 방법을 적용하여 다른 행정구와 시각적으로 구분하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 관련 연구를 요약하며, 3장에서는 육각 그리드의 그림자를 시각화하는 방법을 설명한다. 4장에서는 실험 결과를 보이고, 5장에서는 결론을 제시한다.

## II. 관련 연구

### 1. Cesium을 활용한 데이터 시각화

Cesium은 개발 비용이 낮고, 확장성이 높아 상호작용할 수 있는 3D 객체를 시각화하는 데 우수한 성능을 보이는 지리정보 플랫폼이다[8]. Yuan과 Jianwei는 히트맵을 활용하여 대용량 인구위치 분포를 시각화하였다[9]. Hu 등은 위성 이미지를 표현하는 타일 데이터들을 시각화하고 데이터를 로드 하는 것을 단일, 다중으로 나누는 방법을 소개하였다[10]. Alattas 등은 IndoorGML 정보를 기반으로 실내 이동 경로 생성 및 시각화 방법을 제안하였다[11]. Chen 등은 지역별 통계 수치를 해당 지역에 3D 실린더와 색을 이용하여 직관적으로 보여주는 기능을 소개하였다[12]. 또한 Zhiyuan 등은 특정 지역의 자연재해 시나리오를 시각화하는 연구를 수행하였다[13].

### 2. 육각 그리드를 활용한 지리정보 분석

H3는 Uber에서 제안한 지도 그리드 분할 시스템으로, 육각 그리드로 지구상의 공간을 분할 한

것이 큰 특징이다[14]. 각각의 육각 그리드들은 탐색을 위한 고유한 번호가 부여되어 있으며, 공간자료구조가 그리드의 크기에 따라 계층구조로 구성되어 있어 효율적인 탐색이 가능하다. 또한 특정 위·경도 좌표를 입력으로 받아 해당 좌표를 포함하는 다양한 크기의 육각 그리드를 반환받을 수 있다. 또한 이웃하는 다른 육각 그리드, 서로 다른 육각 그리드 사이의 최단 경로 등 다양한 탐색 알고리즘을 지원하여 지리정보 데이터를 저장, 표현 및 처리에 유용하다[14].

정동원은 항공기의 경로 계획법에서 4방향 연결법을 사용하는 사각격자 방식에서 곡률의 변화가 커지는 단점이 있어 상대적으로 부드러운 경로 궤적을 만들기 위해 6방향 연결이 가능한 육각 그리드를 사용하는 방법을 제시하였다[3]. Aranha는 교통상황 분석을 위해 지리 공간을 분할할 때, 중점에서 이웃의 중심까지의 거리가 같다는 육각 그리드의 특징에 이점을 활용하여 네트워크 MFD를 구하는 방법을 제시하였다[15]. Elayam 등은 지구를 공간으로 분할할 때 지구의 곡률 때문에 생기는 왜곡이 다른 삼각, 사각 그리드보다 육각 그리드가 적다는 특징을 활용하여 해양 데이터 표현 및 분석에 활용하였다[16].

### 3. 육각 그리드를 이용한 시각화

이얼과 김영호는 흑두루미의 서식지를 잠자리, 먹이지역, 휴식지역으로 나누고 이를 육각 그리드로 시각화하였다[17]. 김나연과 강영옥은 관광객이 사진을 찍은 장소의 데이터를 수집하여, 관광객들이 자주 방문하는 지역을 육각 그리드로 시각화하는 방법을 연구하였다[18]. Hu는 승객의 대기시간을 최소화하기 위해 택시 요청 수요를 예측하였고, 향후 요청 수요가 많이 발생할 위치를 육각 그리드로 시각화하였다[4]. 이상재 등은 대중교통의 취약 지역을 분석하여 육각 그리드를 이용하여 퍼스널 모빌리티 서비스 도입지역을 육각 그리드로 시각화하였다[2]. Trautner 등은 육각형을 이용하여 지도 그리드 분할을 수행

할 때, 기하학적 측면에서 양적 정보를 제대로 표현하지 못할 수 있음을 지적하고, 렌더링 과정 중 후처리 단계에서 수행할 수 있는 앰비언트 오클루전 기법을 도입하여 육각 그리드의 양적 정보 차이를 더욱 명확하게 구분하는 방법을 제안하였다[5]. Ahadi 등은 전기자동차 충전소의 신규 설치 위치를 육각 그리드로 시각화하였다[19].

## III. 육각 그리드의 그림자 시각화

이 장에서는 관심 영역에 해당하는 육각 그리드의 시각적 강조를 위해 강조하고자 하는 그리드의 그림자 영역을 자동으로 계산하고 시각화하는 방법을 제안한다. 먼저, 하나의 육각 그리드에서 그림자를 표현하는 방법을 설명하고, 이어 여러 개의 육각 그리드에 적용하여 그림자들을 보간하는 방법과 광원의 위치에 따라 그림자의 위치와 길이를 가변적으로 제어하는 방법을 제시한다.

### 1. 단일 육각 그리드

표 1. 그림자 형성 기법에 사용된 기호

기호	의미
$L_n$	육각 그리드의 각 선분
$N_n$	$L_n$ 의 법선 벡터
$d$	$L_n$ 을 $N_n$ 방향으로 이동할 거리
$O_n$	$L_n$ 을 $N_n$ 방향으로 $d$ 만큼 이동한 선분
$P_n$	$O_n$ 을 연장하여 생긴 교차점
$E_n$	$O_n$ 을 교차점까지 연장한 선분
$A$	$L_n$ 과 $E_n$ 이 이루는 영역

표 1은 본 논문의 수식에서 사용하는 기호를 의미와 함께 나열하였다. 하나의 육각 그리드가 관심 영역으로 주어졌을 때, 육각형의 각 정점을 연결하여 선분  $L_n$ 을 만들고 선분의 중점과 육각형의 중심점으로 선분들의 법선 벡터  $N_n$ 을 계산한다. 법선 벡터의 방향으로 선분을 이루는 정점들 임의의 거리  $d$ 만큼 오프셋 시키면 그림자 영역 계산의 토대가 되는 선분  $O_n$ 을 구할 수 있다.

$$O_n = L_n + N_n d, (0 \leq n \leq 5) \quad (1)$$

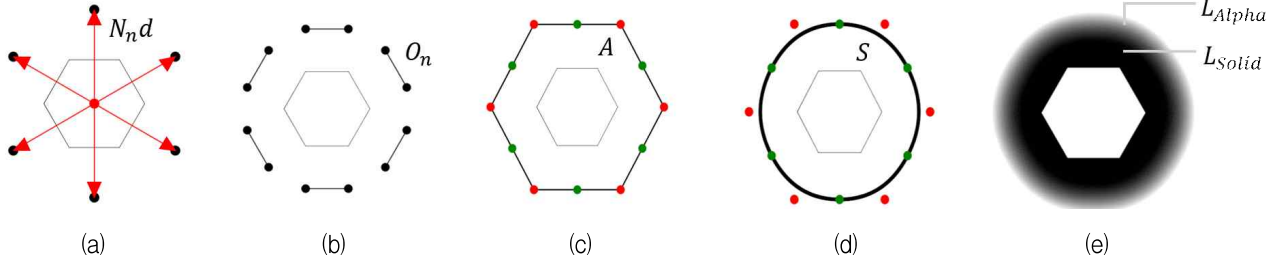


그림 1. 단일 육각 그리드에 대해 그림자를 생성하는 과정

선분  $O_n$ 을 서로 교차시키기 위해  $O_n$ 을 직선으로 간주하여 교차점  $P_n$ 을 계산한다. 계산된 교차점  $P_n$ 을 이용하여 선분  $O_n$ 을 확장한  $E_n$ 을 구할 수 있다. 초기 그림자 영역  $A$ 는 선분  $L_n$ 과  $E_n$ 을 조합한 다각형으로 표현된다.  $A$ 는 육각형의 선분들을 단순 오프셋 시킨 결과이므로, 육각형의 꼭짓점은 여전히 뾰족한 부분(cusp)이 존재한다. 뾰족한 부분을 부드럽게 표현하기 위해 직선의 일부분을 곡선으로 대체할 수 있으며, 이를 위해 베지어 곡선(Bézier curve)을 사용한다.  $n-1$ 차 베지어 곡선  $B(t)$ 를 수식으로 표현하면 다음과 같다[7].

$$B(t) = \sum_{i=0}^n b_{i,n}(t)P_i, \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (2)$$

$$b_{i,n}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \quad (3)$$

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!}, \quad (0 \leq i \leq n) \quad (4)$$

여기서  $P_i$ 는 베지어 곡선의 제어점을 의미하며 본 연구에서는 그림자 형상을 나타낼 곡선을 2차 베지어 곡선으로 한정한다. 베지어 곡선의 제어점은 이웃한 두 개의 선분  $E_n, E_{n+1}$ 을 각각 선형 보간하여 제어점의 시작점과 끝점으로 결정하고, 중간 제어점은  $P_n$ 으로 결정한다. 이를 통해 뾰족한 부분이 제거된 부드러운 그림자 영역  $S$ 을 계산할 수 있다.

앞서 구한 그림자 영역  $S$ 은 그림자의 특성에 따라 육각 그리드에서 멀어질수록 그림자가 서서히 열려져야 한다. 이를 위해 그림자 영역 내부를 두 개의 영역으로 구분한 뒤, 그리드와 가까운 어두운 단일 색으로 표현되는 영역은  $L_{Solid}$ 로 두

고 다른 영역은  $L_{Alpha}$ 로 둔다.  $L_{Alpha}$ 는 텍스처 이미지의 알파 채널을 활용하여 차등적으로 투명도가 증가하도록 하여, 서서히 열어지는 그림자의 특성을 반영할 수 있도록 한다.

그림 1(a)는 선분의 중점을 선분의 법선 벡터의 방향으로 오프셋 시킨 결과를 나타낸다. 그림 1(b)는 중점과 함께 오프셋 된 선분들을 나타내며. 그림 1(c)는 6개의 베지어 곡선을 정의하는데 필요한 제어점을 제어점의 시작점과 끝점은 초록색 점으로, 제어점의 중간점은 붉은색 점으로 나타내었으며, 그림 1(d)는 6개의 베지어 곡선을 이용하여 그림자 영역을 나타내었으며, 그림 1(e)는 그림자 영역에  $L_{Solid}$ 와  $L_{Alpha}$ 를 적용하여 시각화한 결과이다.

## 2. 다중 육각 그리드

관심 영역에 해당하는 육각 그리드가 하나가 아닌, 일정 영역으로 주어졌을 때 앞서 언급한 단일 육각 그리드에서의 그림자 생성 방법을 그대로 사용한다면 육각 그리드 영역 내부에 존재하는 모든 선분도 그림자를 그려야 할 선분으로 간주하기 때문에 잘못된 결과가 도출된다. 이를 해결하기 위해 육각 그리드 영역 중 영역의 경계에 있는, 최외곽 선분들만 오프셋 시켜야 한다. 따라서 영역을 구성하는 육각 그리드들의 선분 중 최외곽 선분들을 선별하고, 이웃한 선분끼리 서로 연결할 수 있도록 정렬한 후 앞서 언급한 방법에 따라 그림자를 생성한다.

육각 그리드 영역의 최외곽 선분을 선별하기 위해 다음과 같은 특징을 활용한다. 육각 그리드 하나는 여섯 개의 선분으로 표현되며, 영역 내 이

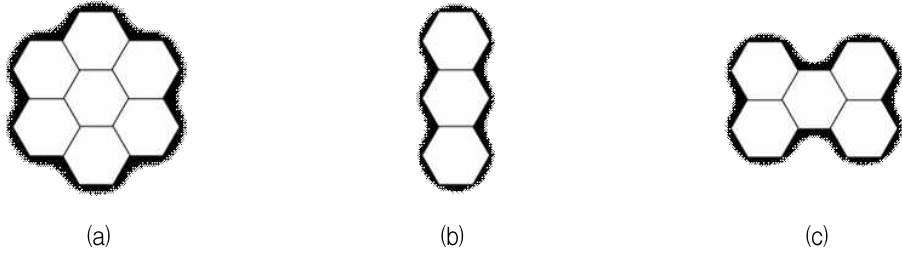


그림 2. 다양한 모양의 다중 육각 그리드에 그림자를 시각화한 결과

웃하는 다른 육각 그리드가 존재한다면 그 육각 형은 다른 하나의 육각 그리드와 선분을 공유한다. 이러한 특징을 활용하여 영역 내 모든 선분을 순회하면서 참조 횟수를 증가시킨다면, 최외곽 선분이 아닌 선분들은 2개 이상의 참조 횟수를 가지게 되고, 최외곽 선분들은 하나의 참조 횟수를 가지게 된다. 하나의 참조 횟수를 가지는 선분은 최외곽 선분임이 자명하다. Algorithm 1은 다중 육각형에서 최외곽 선분들만 선별하는 방법을 의사코드로 나타낸다.

```

Algorithm 1: GetOuterEdges
Input :  $H$  : hexagons
Output :  $L$  : lines
Function GetOuterEdges ( $H$ ):
  initialize  $visit[]$ 
  foreach hexagon  $h_i$  of  $H$  do
    foreach line  $l_j$  of  $h_i$  do
       $visit[l_j] += 1$ 
    end for
  end for
  foreach  $i$  of  $visit$  do
    if  $i$  is equal to 1 then
       $L.append(visit[i])$ 
    end if
  end for
  return  $L$ 
end Function

```

그림 2는 다양한 모양의 다중 육각 그리드 예제에 대해 그림자 효과를 시각화한 결과이다. 그림 2(a)는 육각 그리드 하나에 이웃한 6개의 육각 그리드를 포함하여 총 7개의 다중 육각 그리드에 대하여 그림자를 나타내었으며, 그림 2(b)는 3개의 육각 그리드를 세로로 연결하여 그림자를 표현한 결과이다. 그림 2(c)는 5개의 육각 그리드가

리본 형태를 구성할 때 그림자를 표현하였다. 그림자 영역의 크기는 다중 육각 그리드의 전체 크기를 고려하여 결정할 필요가 있다.

다중 육각 그리드의 크기 대비 그림자의 영역의 크기가 너무 작으면, 그림자 인식에 어려움이 있어 그리드를 강조하고자 하는 그림자의 역할을 제대로 수행할 수 없다. 반대로 그림자의 영역 크기가 비현실적으로 너무 크다면, 그림자가 또 다른 시각 데이터로 인식되어, 사용자에게 시각적으로 혼동을 주게 된다. 따라서 육각 그리드의 전체적인 크기를 파악하여, 그리드의 크기에 비례해서 그림자의 크기를 결정해야 한다.

본 연구에서는 육각 그리드를 이루는 정점들 중 가장 작은 위치 값과 가장 큰 위치 값을 이용해 AABB(Axis-Aligned Bounding Box)를 생성하고 AABB의 대각선 길이에 특정 배율을 적용하여 그림자 길이를 결정한다. 이를 이용하면, 육각 그리드 영역의 크기에 따라 그림자의 크기도 가변적으로 결정할 수 있다.

### 3. 광원의 위치에 따른 그림자 영역 변화

현실 세계에서 그림자는 광원이 물체에 부딪혀 통과하지 않는 부분에서 발생하기 때문에 광원의 위치를 토대로 그림자 영역을 계산한다면 더욱 사실적인 그림자 형상을 얻을 수 있다. 하지만 앞서 소개한 그림자 생성 방법들은 광원의 위치를 특별히 고려하지 않고 강조하고자 하는 단일 육각 그리드, 다중 육각 그리드의 중심에 광원이 존재하는 것으로 간주하고 최외곽 선분들을 모두 일정 크기만큼 오프셋 시켜 그림자 영역을 결

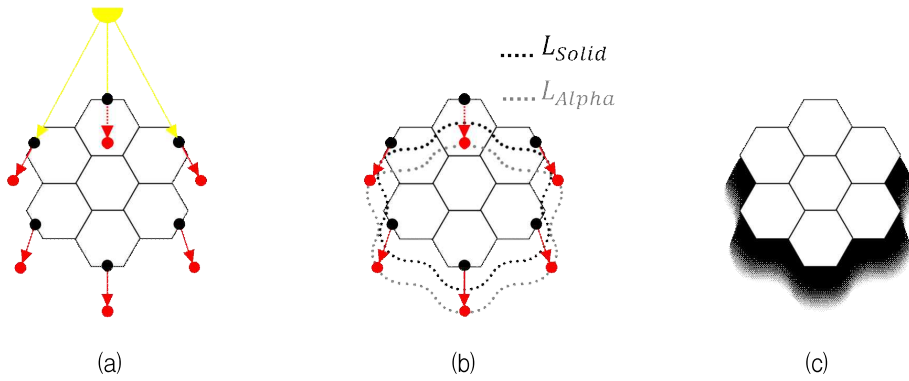


그림 3 광원의 위치에 영향을 받아 그림자를 생성하는 과정을 시각화

정하였다.

앞선 방법에서는 육각 그리드를 구성하는 최외곽 선분들의 법선 벡터를 이용하여 그림자 영역을 단순히 결정했다면, 광원의 위치를 반영하기 위해서는 육각 그리드를 구성하는 각 선분  $L_n$ 의 중점과 광원의 위치의 차를 구해 그림자 영역을 정의하는 벡터를 생성해야 한다. 이 벡터를 이용하여 최외곽 선분들을 오프셋 시키고, 마찬가지로 베지어 곡선을 활용하여 그림자 영역을 계산할 수 있다. 그림 3(a)에서 광원은 노란색 반원으로 나타나고 있다. 광원이 다중 육각 그리드의 북쪽에 위치했을 때, 검정색 점으로 나타나는  $L_n$ 이 빨간색 점으로 나타나는  $O_n$ 의 중점으로 이동한 모습이다. 그림 3(b)는 그림자 영역이 생성되었을 때,  $L_{Solid}$ 를 검은 점선으로 표현하고  $L_{Alpha}$ 를 회색 점선으로 표현한 모습이며, 그림 3(c)는 이에 따른 그림자를 시각화한 결과이다.

#### 4. 사용자 인터페이스(UI) 구성

앞 절까지 단일 육각 그리드, 다중 육각 그리드, 광원의 위치에 대하여 그림자를 생성하는 방법을 소개하였다. 그러나 그림자를 생성할 때 광원의 위치, 그림자의 길이,  $L_{Solid}$ 와  $L_{Alpha}$  비율에 따라 같은 육각 그리드 영역이라도 그림자의 형상이 나타날 수 있는 경우의 수는 다양하다. 따라서 강조하고자 하는 육각 그리드 영역을 효과적으로 강조하기 위해서는 앞서 설명한 값들을 적절히 제어하는 기능이 필요하다. 실험의 상황과 목적에 따라서 같은 그림자를 시각화하더라도

결과가 다르게 인식될 수 있어 그림자의 길이,  $L_{Solid}$ 와  $L_{Alpha}$ 의 비율, 광원의 위치를 사용자가 제어하는 UI를 구성하였다.

그림자 영역을 결정할 때, 오프셋 거리  $d$ 는 (다중) 육각 그리드를 감싸는 AABB의 대각선 길이에 10%의 해당하는 값을 기본값으로 사용한다. 이에 가중치  $S_{weight}$  ( $0 \leq S_{weight} \leq 1$ )를 곱하여 최종적인 길이를 선택하여 그림자 영역의 크기를 결정하고, 영역을 내분하여  $L_{Solid}$ 와  $L_{Alpha}$ 가 점유하는 영역을 조절할 수 있도록 하였다. 사용자는 UI를 활용하여 다양한 모양의 그림자를 생성할 수 있다. 그림 4는 이를 지원하는 UI를 나타낸다. 그림자의 길이, 그림자의 투명 영역을 구분하는 비율, 광원의 위치를 UI의 슬라이드 바를 이용하여 조절할 수 있다.

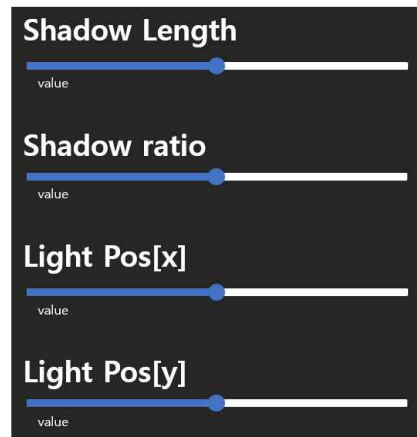


그림 4 사용자 인터페이스

#### IV. 실험 결과

이 장에서는 관심 영역 육각 그리드의 그림자 시각화 방법을 제안하는 방법에 따라 구현한 결과를 제시한다. 먼저 다중 육각 그리드에 대하여 다양한 매개변수에 따라 나타나는 그림자 형상을 보인다. 또한 더욱 향상된 시각화를 위해, 광원의 위치에 따른 그림자의 영역 변화 결과와 서울특별시 행정 지리정보를 활용한 응용을 보인다. 그림자 영역의 매개변수들을 결정하는 실험은 HTML5 Canvas[20]에서 진행하였으며, 제안하는 방법의 응용 사례를 보이기 위하여 Cesium[8]과 H3[14]를 사용하였다.

##### 1. 베지어 곡선의 제어점에 따른 형상 비교

베지어 곡선으로 생성되는 그림자 영역의 형상은 베지어 곡선의 제어점 위치에 영향을 받으므로, 효과적인 그림자 영역의 형상을 결정하기 위해 최적의 제어점 위치를 결정해야 한다. 2차 베지어 곡선의 제어점 3개 중 중간 제어점은 선분이 교차하는 지점으로 결정되었기 때문에, 제어점의 시작점과 끝점만 선분  $E_n$  과 이웃한 선분  $E_{n+1}$  의 각 내분점을 활용하여 변경할 수 있다.

그림 5는 제어점의 시작점과 끝점을 선분의 내분 비율에 따라 다양한 내분 비율을 시각화한 결과이다. 그림 5(a)는 시작점과 끝점이 두 개의 선분의 각자 중심에 위치하도록 내분 비율을 (0.5,0.5)로 설정하였으며 그림 5(b)는 (0.4,0.6), 그림 5(c)는 (0.3,0.7), 그림 5(d)는 (0.2, 0.8), 그림 5(e)는 (0.1, 0.9), 그리고 그림 5(f)는 (0.0, 1.0)으로 설정한 결과이다. 실험 결과 제어점의 시작점과 끝점의 위치가 각 선분의 중심에서 멀어질수록 제어점이  $P_n$  에 근접하여 그림자의 형상이 부자연스러운 형상으로 나타난다. 따라서 가장 부드러운 형상을 나타내는 (0.5, 0.5)를 기본 매개변수로 결정하였다.

##### 2. 그림자 영역의 길이에 따른 형상 비교

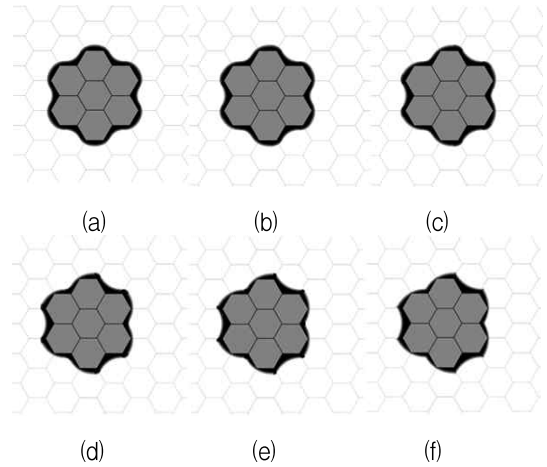


그림 5. 베지어 곡선의 제어점 위치에 따른 결과

그림 6은 그림자 영역의 길이를 관심 영역의 육각 그리드로 생성할 수 있는 AABB의 대각선 길이로 결정된  $d$ 에 다양한 배율을 적용한 결과를 나타낸다. 그림 6(a)는  $d$ 의 1%를 적용하였으며, 그림 6(b)는 3%, 그림 6(c)는 5%, 그림 6(d)는 7%, 그림 6(e)는 9%, 그리고 그림 6(f)는 10%를 적용한 결과이다. 실험 결과 그림 6(a)의 그림자 영역은 그림자의 길이가 짧아 그림자를 식별하는 데 어려움이 있어 관심 영역 구분에 효과적이지 못하다. 반면 그림 6(f)의 그림자 영역의 길이는 이웃한 육각 그리드를 가리게 된다. 따라서 기본 매개변수는 5%로 결정하였으며, 사용자의 필요에 따라 0%부터 10%까지 적절한 배율을 UI를 통해 제어할 수 있도록 하였다.

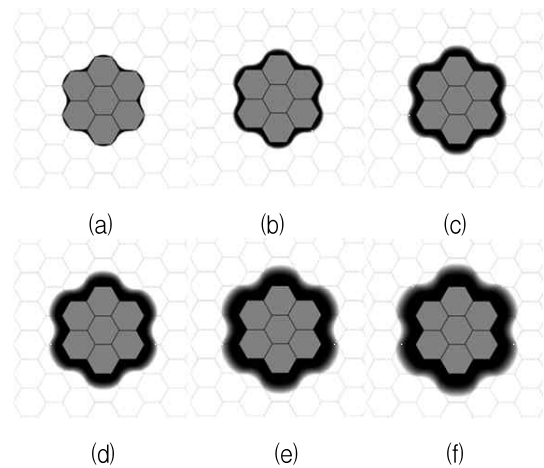


그림 6. 오프셋 거리  $d$ 에 따른 결과

##### 3. 그림자 영역 내분 비율에 따른 형상 비교

생성되는 그림자가 자연스러운 형상이 되도록

록, 단일 색 영역인  $L_{Solid}$ 와 차등 투명 영역인  $L_{Alpha}$ 의 상대적인 비율을 조절할 필요가 있다. 그림 7(a)는  $L_{Solid}$ 와  $L_{Alpha}$ 의 비율을 0 : 1로 적용한 결과이며, 그림 7(b)는 0.5 : 0.5, 그리고 그림 7(c)는 1 : 0으로 적용했을 때의 결과이다. 이에 따라 그림자 영역 내부 비율의 기본값은 0.5 : 0.5로 결정하였고 이를 UI를 통해 적절히 제어할 수 있도록 하였다.



(a) (b) (c)  
그림 7.  $L_{Solid}$ 와  $L_{Alpha}$  비율에 따른 결과

#### 4. 광원의 위치에 따른 결과

그림자의 방향과 영역은 광원의 위치에 따라 결정되므로 육각 그리드를 중심으로 다양한 위치에 광원을 배치하고, 그림자 형상을 서로 비교하였다. 그림 8은 광원이 그림의 정중앙에 있다고 가정했을 때 9개의 육각 그리드에 대한 그림자가 광원에 대비되는 위치에 생성되는 결과를 나타낸 것이다. 육각 그리드와 광원의 위치에 따라 그려지는 그림자가 서로 다른 방향에 위치한 것을 확인하였다. 광원의 위치는 사용자가 최적의 위치에 배치할 수 있도록 UI를 제공하여 관심 영역의 AABB의 2배 크기에 해당하는 영역 안에서 제어할 수 있도록 하였다.

#### 5. 응용

제안하는 방법의 응용으로, Cesium[8]과 Uber H3[14]를 활용하여 관심 영역의 육각 그리드를 강조하는 실험을 수행하였다.

실험 대상지는 서울특별시로 선정하였으며, 용산구에 대하여 제안하는 방법을 적용하였다. 각 행정구의 행정 경계는 ESRI Shapefile[21]로 주어지며, 이 데이터를 QGIS[22]를 활용하여 분석하고 Mapshaper[23]를 이용해서 간소화하여

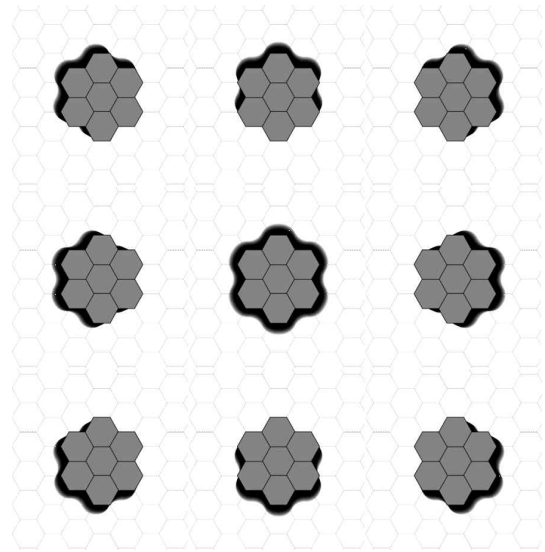


그림 8. 광원의 위치에 따른 그림자 형상 비교

GeoJSON 형식으로 저장한다. 이후 H3를 사용하여 행정 경계 위·경도 좌표를 기반으로 육각 그리드의 정점 정보를 획득하고, 제안하는 방법으로 그림자를 생성하였다. 광원의 초기 위치는 용산구의 중심으로 결정하였다. H3는 계층구조에 따라 다양한 크기의 육각 그리드를 제공하므로, 서울특별시에 해당하는 육각 그리드들의 크기를 변경하며 실험을 수행하였다.

그림 9는 용산구의 행정구역 경계선의 그림자를 투영한 결과이다. 그림 9(a)는 H3의 7계층의 육각 그리드들을 사용했으며 그림 9(b)는 8계층의 육각 그리드를 사용한 결과이다. 이 결과를 보면, 용산구의 행정구역이 속한 육각 그리드는 그림자의 효과로 인해 다른 육각 그리드보다 높이 위치한 것처럼 보인다. 육각 그리드 영역만 서로 다른 색으로 구분하여 그렸을 때 보다, 그림자를 함께 시각화하였을 때 관심 영역을 더 쉽게 파악할 수 있는 장점이 있다.

광원의 위치에 따라 그림자의 형상이 다르게 시각화되는 결과를 확인하기 위해서, 광원을 용산구의 북동쪽에 배치한 후 시각화하였다. 그림 10은 앞선 실험에서 광원의 위치만 변경하여 관심 영역(용산구)을 강조한 결과이며, 노란색 구체는 광원의 위치를 나타낸다. 용산구의 육각 그리드가 그림자로 인해 더 효과적으로 강조되는

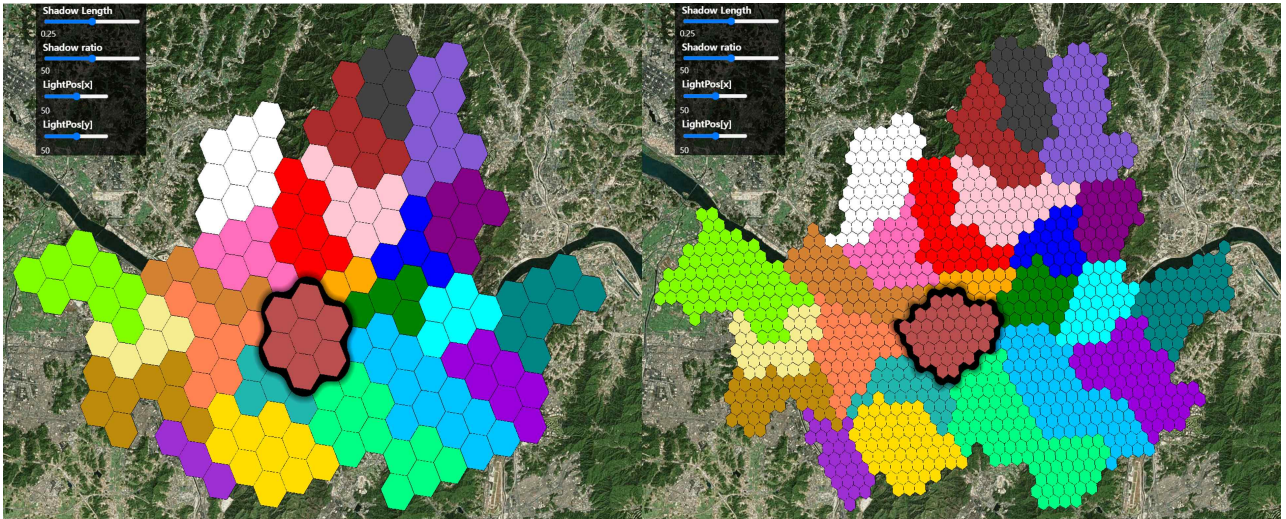


모습을 확인할 수 있다.

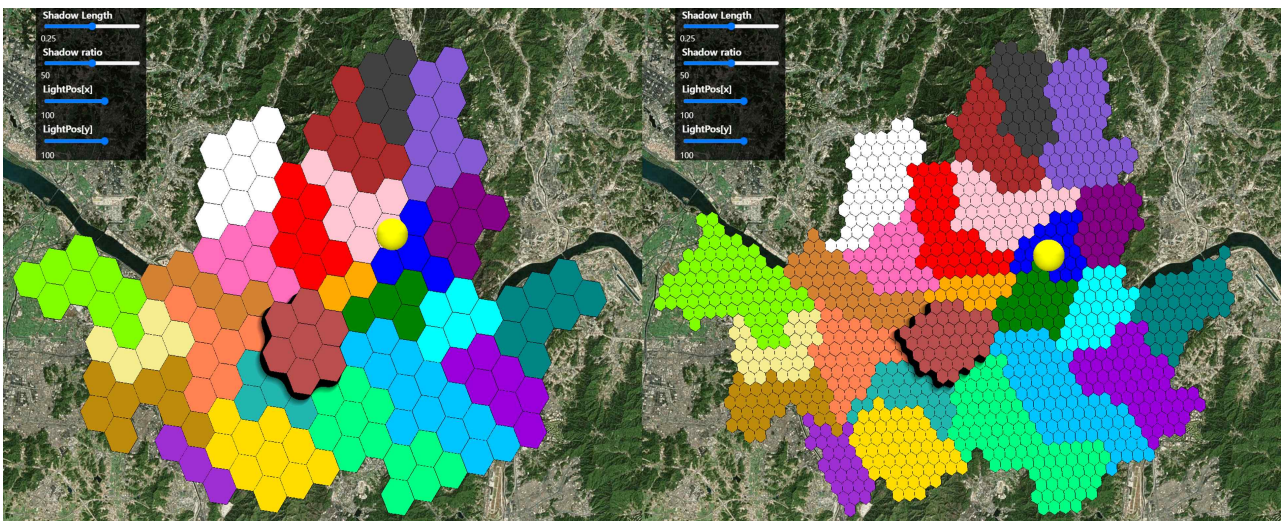
## V. 결론

본 연구에서는 관심 영역에 해당하는 육각 그리드를 강조하기 위해 육각 그리드의 정점 위치와 베지어 곡선을 활용하여 자연스러운 그림자를 위해 그림자를 생성하는 새로운 방법을 제안한다. 베지어 곡선과 텍스처 이미지의 알파 채널을 활용하여 그림자의 투명도를 차등적으로 부여하며 사용자의 입력에 따라 다양한 광원 환경에 따른 그림자 위치를 결정할 수 있다. 제안하는

방법의 유용성을 확인하기 위해 Cesium과 H3 자료구조를 서울특별시 행정구 중 용산구를 강조하여 시각화하였으며, 그 결과를 제시하였다. 제안하는 방법으로는 강조하고자 하는 그리드들의 외부로만 그림자가 생성되며 그리드 안쪽으로는 효과를 효율적으로 부여할 수 없는 한계가 있다. 후속 연구에서는 그리드의 내부에 그림자 위치를 투영하여, 더욱 효과적인 구분이 가능하도록 고도화하고자 한다. 이를 활용한다면 추가적인 사용자 입력 없이도 다양한 공간정보 연구 [24,25]와 결합하여 효과적으로 시각화할 수 있을 것으로 기대한다.



(a) (b)  
그림 9. 다양한 계층구조의 육각 그리드를 이용해 용산구에 그림자를 적용 한 결과



(a) (b)  
그림 10. 광원의 위치에 따라 그림자의 형태가 바뀌는 것을 시각화

## REFERENCES

- [1] X. He and W. Jia, "Hexagonal Structure for Intelligent Vision," *2005 International Conference on Information and Communication Technologies (ICICT)*, pp. 52-64, Karachi, Pakistan, Aug. 2005.
- [2] 이상재, 손승오, 박준영, "빅데이터 기반 최적 퍼스널 모빌리티 서비스지역 도출 연구," *대한교통학회 제 84회 학술대회*, 293-294쪽, 서울, 한국, 2021년 2월
- [3] 정동원, "육각형 격자를 사용한 부드러운 경로 생성," *한국항공우주학회지*, 제39권, 제12호, 1124-1132쪽, 2011년 12월
- [4] Q. Hu, L. Ming, R. Xi, L. Chen, C. S. Jensen and B. Zheng, "SOUP: A Fleet Management System for Passenger Demand Prediction and Competitive Taxi Supply," *2021 IEEE 37th International Conference on Data Engineering (ICDE)*, pp. 2657-2660, Chania, Greece, Apr. 2021.
- [5] T. Trautner, M. Sbardellati, S. Stoppel and S. Bruckner, "Honeycomb Plots: Visual Enhancements for Hexagonal Maps," *Vision, Modeling, and Visualization 2022 (VMV2022)*, pp. 65-73, Sep. 2022.
- [6] T. Akenine-Möller, E. Haines, N. Hoffman, A. Pesce, M. Iwanicki, S. Hillaire, *Real-time rendering*, CRC Press, pp. 717-781, 2019.
- [7] G. Farin, D. Hansford, *The Essentials of CAGD*, CRC Press, pp. 33-90, 2000.
- [8] Cesium(2011). <https://cesium.com> (accessed Feb., 15, 2023).
- [9] W. Yuan and S. Jianwei, "Research on Visualization Method of Large-scale User Location Distribution Based on CesiumJS," *2021 International Conference on Computer Engineering and Application (ICCEA)*, pp. 126-130, Kunming, China, Jun. 2021.
- [10] T. Hu, J. Fan, H. He, L. Qin and G. Li, "Mashup Scheme Design of Map Tiles Using Lightweight Open Source Webgis Platform," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS)*, vol. 42, no. 3, pp. 565-571, Apr. 2018.
- [11] A. Alattas, M. de Vries, M. Meijers, S. Zlatanova and P. van Oosterom, "3D pgRouting and visualization in Cesium JS using the integrated model of LADM and IndoorGML," *FIG Working Week 2021*, Jun. 2021.
- [12] C. Wu, M. Chen, D. Wu, J. Ma, J. Xu and B. Ma, "Work-in-Progress-Design Method of a Real-Time Monitoring System for ICT Evaluation Process in Education Based on CesiumJS 3D Visualization," *2021 7th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)*, Eureka, CA, USA, Jun. 2021.
- [13] Z. Yang, J. Li, J. Hyppä, J. Gong, J. Liu and B. Yang, "A Comprehensive and Up-to-Date Web-Based Interactive 3D Emergency Response and Visualization System Using Cesium Digital Earth: Taking Landslide Disaster as an Example," *BIG Earth Data*, pp. 1-23, Feb. 2023.
- [14] H3(2018) <https://h3geo.org> (accessed Feb., 16, 2023).
- [15] R. Aranha, "A Method to Estimate the Macroscopic Fundamental Diagram Using Bus GPS Data", *Master Thesis of Escola de Economia de São Paulo (FGV)*, 2019. 10.
- [16] M. Elayam, G. Kerhoas, V. de Cursay, C. Ray, A. Ménard, "On the Interest of Hexagonal Abstraction of Maritime Information," *OCEANS 2022*, Hampton Roads, Oct. 2022.
- [17] 이 열, 김영호, "순천만의 시공간적 흑두루미 서식지 적합도 분석," *국토지리학회지*, 제49권, 제4호 465-478쪽, 2015년 12월
- [18] 김나연, 강영옥, "지오테깅된 사진 데이터를 활용한 서울방문 관광객의 주요 관광지 분석," *한국지도학회지*, 제19권, 제1호, 35-46쪽, 2019년 4월
- [19] R. Ahadi, W. Ketter, J. Collins and N. Daina, "Siting and Sizing of Charging Infrastructure for Shared Autonomous Electric Fleets", *AAMAS-2021*, pp. 88-96, Online, May 2021.
- [20] S. Fulton, J. Fulton, *HTML5 Canvas: Native Interactivity and Animation for the Web*, O'Reilly Media, pp. 27-68, 2013.
- [21] GIS DEVELOPER(2023). <http://www.gisdeveloper.co.kr/?p=2332> (accessed Feb., 19, 2023).
- [22] QGIS(2002). <https://qgis.org> (accessed Feb., 19, 2023).
- [23] Mapshaper(2014). <https://mapshaper.org> (accessed Feb., 19, 2023).
- [24] 옥 현, 김성진, "건설사업정보시스템의 고도화를 위한 공간정보(GIS) 적용방안에 관한 연구," *스마트미디어저널*, 제4권, 제4호, 70-79쪽, 2015년 12월
- [25] 정재호, 김승현, 김대진, 양승원, "농경지 수재해 선제적 대응을 위한 공간정보기반 시뮬레이션 활용 연구," *스마트미디어저널*, 제11권, 제7호, 52-60쪽, 2022년 08월

---

저 자 소 개

---



김민석(학생회원)

2018년~현재 동아대학교 컴퓨터공학과  
학사과정

<주관심분야 : 데이터시각화,  
컴퓨터그래픽스, 리얼타임 렌더링>



남택관(학생회원)

2018년~현재 동아대학교 컴퓨터공학과  
학사과정

<주관심분야 : 데이터시각화, VR/AR,  
컴퓨터그래픽스>



박영진(정회원)

2016년 부산대학교 정보컴퓨터공학부  
학사 졸업

2021년 서울대학교 컴퓨터공학부 박사  
졸업

2022년~현재 동아대학교  
컴퓨터AI공학부 조교수

<주관심분야 : 데이터시각화, 기하  
모델링, 컴퓨터그래픽스>