

**은평한옥마을 내 소방차의 효율적 배치 연구**  
**- 페르마 포인트 및 프로그래밍적 구현을 중심으로**

**고유건 · 배성훈 · 서용준 · 송시현**

하나고등학교

**Study on the Efficient Placement of Fire Trucks in Eun-pyeong Hanok Village**  
**- Focusing on the Fermat Point and Programmatic Implementation**

**Yoo-Gun Go · Seong-Hoon Bae · Yong-Jun Seo · Si-Hyun Song**

Hana Academy Seoul

**Abstract** Eun-pyeong Hanok Village is a member-type Hanok dense area of Seoul, built in 2014, and Korean traditions have supplied power to the beautiful natural scenery of Bukhan Mountain and the tourism resources of Eun-pyeong-gu. However, Hanok speaks of the left and right conflicts of people who are shaking, and especially, Eun-pyeong Hanok Village is expected to be more severe in scale because it is the only place where ethnic minority concentration exists. Therefore, this study applies the concept of a Fermat point where the sum of the three distances from each of the three vertices of the triangle to the point is the smallest, and aims to establish the location of the pump truck and tank truck dispatch to suppress the fire in Eun-pyeong Hanok Village. The research was processed with a site recce to Hanok Village and an interview with Eun-pyeong Fire Station, an investigation of the location of indoor and underground greetings, satellite photo analysis, and programming algorithm using mathematical concepts. Finally, we were able to develop the program that sets the coordinate system under the Eun-pyeong Hanok Village exploration, and finding the Fermat point of the triangle that has the hydrant and two blocks as the vertex. This study is significant in that it helps to protect and explore the potential of Eun-pyeong-gu's tourism industry, as well as to preserve more traditional cultural tourism industries through traditional methods.

**Key words:** Fermat point, triangle, Eun-pyeong Hanok Village, pump truck,

## 1. 서론

한옥은 한민족의 전통적인 주거 형태로 한반도 특유의 자연환경 및 생활양식을 고려하여 형성된 한국만의 독창적인 건축양식이다. 자연과의 조화를 이루는 설계와 독특한 미적 요소를 갖춘 한옥은 한민족의 건축 발전의 상징물로서 산업화를 거치며 서양의 건축양식이 대부분을 차지한 현재에도 한옥마을 등의 형태로 꾸준히 그 가치를 인정받아 큰 관심을 받고 있다. 최근에는 오히려 한옥의 단점을 보완한 변화된 건축양식의 등장으로 재평가 받고 있으며 한옥마을과 같은 형태를 통해 한국의 전통문화에 대한 관심을 꾸준히 불러일으키고 있다. 한옥마을 등의 한옥 관광지는 국내·외 관광객들의 큰 인기를 얻고 있다. 특히 한옥이 생소한 외국인 관광객들은 한국만의 전통적인 주거문화 뿐만 아닌 한복, 김치 등의 특유의 전통문화를 체험할 수 있는 기회에 큰 매력을 느껴 한국의 역사와 문화를 널리 알리고 있다.

은평한옥마을은 많은 지정문화재를 보유하고 있는 진관사와 함께 은평구에 최고의 관광 명소로서 자리잡고 있다. 하지만 은평한옥마을은 한옥 전용 주거단지로 목재 구조의 특성 상 화재에 매우 취약하다. 목재는 화재 진행 시간이 빠르고, 한옥이 밀집한 한옥마을은 주거 세대간 간격이 좁아 화재의 전파가 쉽다는 점이 한계로서 작용한다. 실제 2024년에는 안동한옥마을에서 화재가 발생하는 등 한옥마을의 화재 취약성이 대두되어 역사적, 문화적 가치를 지니는 한옥마을의 보존에 대한 필요성이 부각되고 있다. 이에 본 연구는 페르마 포인트라는 수학적 개념과 이를 이용한 프로그래밍적 구현을 중심으로 화재 발생 시 소방차가 가장 빠르게 대응할 수 있는 위치를 계산할 수 있다. 따라서 본 연구의 궁극적인 목적은 은평한옥마을에서의 화재 발생 시 빠른 대응을 통한 한국의 문화, 역사적 관광 명소 보존에 있다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 한옥마을의 개념

한옥(韓屋)이란 ‘한(韓)’과 ‘옥(屋)’의 합성어로, 한반도에 정착한 한민족의 고유한 주거 형태를 서양식 가옥과 구분하여 총칭하는 용어이다.<sup>1</sup> 모든 전통 한옥은 기본적으로 목조 골격으로 이루어졌으며, 용도 또는 지방에 따라 전체적인 형태 면에서 차이가 드러난다. 한옥의 기본 구조는 나무 기둥 위에 보를 걸고, 그 위에 소로, 첨차, 도리와 서까래를 맞추는 구조형태를 갖추고 있다.<sup>2</sup> 기둥은 다양한 종류가 있으나 공통적으로 지붕의 하중을 중력방향으로 지면에 전달하며, 보는 여러 위치에 놓여 지붕의 하중을 분산한다. 그리고 도리는 기둥과 기둥을 길게 이어 서까래를 받치는 역할을 하며, 서까래는 지붕을 이룸과 동시에 한옥에 한국 특유의 장식적미를 더한다. 전통적인 한옥은 목조 구조에 흙과 기와를 더해 만들어지며, 따라서 습기와 화재, 병충해 등에 취약하다. 오늘날 한옥은 목조 구조와 한식 기와를 바탕으로, 전통미와 자연미를 띠고 있는 건축물

<sup>1</sup> 서울한옥포털 . (n.d.). <https://hanok.seoul.go.kr/front/kor/info/infoHanok.do?tab=1>.

<sup>2</sup> 서울한옥포털 . (n.d.). <https://hanok.seoul.go.kr/front/kor/info/infoHanok.do?tab=2>.

을 포괄하여 부르는 명칭으로 활용되고 있다.

근대화 및 도시화 과정을 거치며 전통적인 한옥은 근대적 건축 자재 및 시공 기술을 접목하여 도시 한옥으로 재탄생하였다. 도시 한옥은 벽돌, 유리 등 새로운 건축 자재를 통해 기능성을 획득한 것은 물론, 콘크리트 건물이 뻗뻗한 현대 도시 경관과도 잘 어우러지며 우리 주거양식의 정체성을 지키는 상징물로서 기능하였다.

한옥 마을은 이러한 한옥이 집단적으로 모여 있는 지역을 일반적으로 통칭하는 개념으로, 대표적으로 서울특별시 종로구의 북촌한옥마을, 경상북도 안동시의 안동 하회마을, 전라북도 전주시의 전주한옥마을, 서울특별시 은평구의 은평한옥마을이 있다. 한국의 도심형 한옥마을은 일제강점기 중 부동산 개발업자 정세권이 일제의 수탈을 막고자 청계천 북쪽의 토지를 매입하여 조성한 것이 그 시초이다.<sup>3</sup> 그 이후 도심형 한옥마을은 한민족의 정체성을 드러내고 관광수입을 마련하는 등 다양한 목적에서 꾸준히 지어져 왔다. 현대에 들어서도 한옥마을은 과거 생활사에 대한 향수를 지닌 중장년층, 그리고 독특한 체험과 경험을 통한 차별화를 중시하는 청년층에게 큰 인기를 끌며 도시형 문화관광의 중심지로 자리매김하고 있다.

은평한옥마을은 2014년 12월 은평 뉴타운 개발 사업의 일환으로 조성한 수도권 내 최대 규모의 도심형 한옥 전용 주거단지이다.<sup>4</sup> 은평 한옥마을은 한민족의 정체성이 담긴 전통 가옥의 아름다움과 북한산의 고즈넉한 경치가 어우러져 은평구의 대표 관광 명소로 자리잡았다. 매년 수많은 내국인 및 외국인 관광객을 받아들인 은평 한옥 마을은 그 문화적 가치를 고려하였을 때 세계화의 흐름 속 주요 관광거점으로서 무궁한 발전 가능성을 지니고 있다고 볼 수 있다.

## 2.2 한옥마을의 화재 취약성

대부분의 목재는 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스, 리그닌으로 이루어지며 목조 건축물의 연소 및 진압 과정은 목재의 종류와 수분 함유량 등에 따라 상이하지만, 대체로 목조의 가열 → 수분 증발 → 목재 성분 분해 → 탄화 종류 → 발화 → 성장기 → 최성기 → 연소낙하 → 진화의 과정을 거친다.<sup>56</sup> 목재의 연소 특성은 ‘고온 단기형’으로 분류되며, 따라서 화재의 지속 시간은 평균 30분 정도로 짧으며, 최고 온도는 기타 건축물에서 보다 높다. 강한 복사열이 발생하고 지붕 또는 천장의 붕괴 가능성이 높은 최성기까지의 도달 시간이 여타 건축 자재에 비해 짧다는 것 역

<sup>3</sup> 김우창. (2022). 도심 한옥 밀집지역 화재예방에 관한 연구 -서울 북촌한옥마을과 익선동을 중심으로(석사). 경기대학교 공학대학원, n.p..

<sup>4</sup> 은평. (n.d.). <https://hanok.seoul.go.kr/front/kor/town/town07.do>.

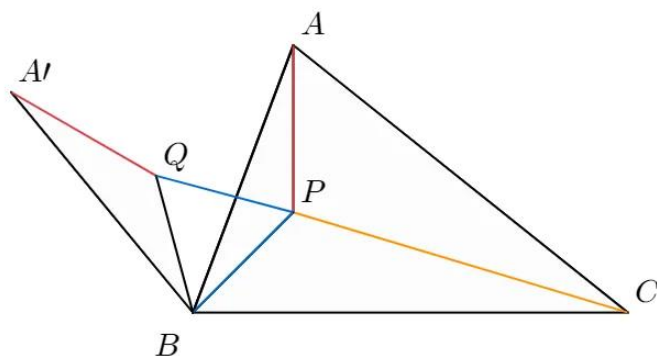
<sup>5</sup> 김우창(2022), 도심 한옥 밀집지역 화재예방에 관한 연구 -서울 북촌한옥마을과 익선동을 중심으로(석사). 경기대학교 공학대학원, n.p..

<sup>6</sup> 문태휴. (2011). 화재로부터의 목조문화재 보호에 관한 연구(학위논문(석사)). 東新大學校 大學院, 消防學科, 나주.

시 목재 건축물의 특성 중 하나이다. 특히 한옥의 경우 기둥과 서까래, 도리, 서까래를 비롯한 중심 구조의 대부분이 목재로 이루어져 있으며, 한옥마을의 특성상 기와가 인접한 형태가 많아 화재가 날 경우 단기간 내에 화재가 크게 번질 위험이 있다. 실제로 2021년 전주 한옥마을에서 발생한 화재로 인해 천만 원 상당의 재산 피해가 난 바 있으며, 2019년 북촌 한옥마을에서도 주거용 한옥주택에서 발생한 화재가 2시간 여만에 진압되며 3천만 원 상당의 재산 피해를 낸 바 있다.

## 2.3 페르마 포인트의 정의와 수학적 개념

페르마 포인트에 관한 논의는 페르마가 에반젤리스타 토리첼리에게 보낸 한편의 편지에 적힌 삼각형의 각 꼭짓점으로부터의 거리의 합이 최소가 되는 점을 구하는 것으로부터 시작되었다. 이러한 논의는 후에 다각형으로 확장되어 n각형의 각 꼭짓점으로부터의 거리의 합이 최소가 되는 ‘한 점’을 찾는 기하중양값 문제나 여러가지 점을 연결하는 경로 중 가장 최단 경로를 찾는 스타이너-트리 문제로도 확장되었다. 또한, 페르마 포인트는 표면적을 최소화하는 비눗방울의 표면장력 특성을 이용하여 여러 입체도형에서 육안으로 관찰할 수도 있다. 페르마 포인트의 가장



<그림 1>

큰 특징은 경로가 최단이 되는 점을 찾을 수 있다는 것이다. 따라서 이러한 특성은 ‘비용’이나 ‘시간’과 밀접하게 연관이 될 수 있다. 본 연구에서는 삼각형의 페르마 포인트의 특징을 활용하여 소화전을 기준으로 화재 발생시 탱크차와 소방차의 가장 효율이 높은 위치를 연구할 것이다. 삼각형의 페르마 포인트를 작도하는 방법은 크게 두가지로 나뉜다. 한 내각이  $120^\circ$  이상인 경우와 모든 내각이  $120^\circ$ 보다 작은 경우이다. 두 가지 경우 모두 작도의 아이디어는 동일 경로 작도를 위한 삼각형의 회전합동이다. 다음 그림에서 그 증명 과정을 살펴보도록 하겠다.

<그림 1>과 같이  $\triangle ABC$ 와 그와 같은 평면 위에 있는 점 P에 대해,  $\triangle ABP$ 를 점 B를 기준으로 시계 반대 방향으로  $60^\circ$  회전시켜 점 A,P가 이동하는 점을 각각 A',Q라 하자.

$$\triangle ABP \equiv \triangle A'BQ,$$

$$\therefore BP = BQ, \angle QBP = 60^\circ$$

$$\therefore \triangle QBP$$

는 정삼각형

$$\therefore AP + BP + CP = A'Q + QP + CP \geq A'P$$

에서 등호 성립 조건은 네 점 A', Q, P, C가 모두 한 직선 위에 있는 것이다.

$$\therefore \angle A'QP = \angle BQP + \angle A'QB = 60^\circ + \angle APB = 180^\circ$$

$$\therefore \angle APB = 120^\circ$$

비슷한 방법과 이유로

$$\angle BPC = 120^\circ$$

따라서 세 점으로부터의 거리의 합이 최소가 되는 P는

$$\angle APB = \angle BPC = \angle CPA = 120^\circ$$

를 만족한다. 단, 세 개의 내각의 크기가 모두  $120^\circ$ 보다는 작아야만 이 조건이 성립한다.

한 내각이  $120^\circ$  이상인 삼각형에서는 같은 방법으로 작도했을 때 페르마 포인트가 삼각형 외부에 생기게 되지만 삼각부등식에 의하여  $120^\circ$  이상인 해당 점이 페르마 점일 때의 경로가 더 최소가 되므로  $120^\circ$  이상인 내각의 점이 페르마 점이 된다.

## 2.4 페르마 포인트 계산 알고리즘

정리한 수학적 이론을 이용한 페르마 포인트 계산 알고리즘을 Python 코드로 구현하기 위해서는 컴퓨터가 도형의 회전과 교점 등을 이해할 수 있어야 한다. 하지만 컴퓨터로 직접 기하학적인 계산을 다루는 것은 매우 어렵기 때문에 점, 선, 면 등의 도형을 좌표 평면 위에서 다루는 해석 기하를 사용하였다. 좌표 변환 식

$$x' = x \cos \theta - y \sin \theta$$

$$y' = x \sin \theta + y \cos \theta$$

을 이용해 점을 한 점을 기준으로 회전시켜주는 함수와, 두 직선의 교점을 찾아주는 함수를 정의하고 이론에서 언급하였던 페르마 포인트 찾는 방법을 컴퓨터로 옮기면 하면 페르마 포인트 계산 알고리즘이 완성된다. 하지만, 컴퓨터 알고리즘에서는 한 원 위의 네 점을 찾아 페르마 포인트를 찾는 방법보다 컴퓨터가 쉽게 이해할 수 있는 방법으로 페르마 포인트를 찾을 것이다. 삼각형의 세 꼭짓점을 A, B, C라 했을 때, A를 C에 대해서 시계 방향으로  $60^\circ$  회전한 점을  $P_1$ , B를 C에 대해서 반시계 방향으로  $60^\circ$  회전한 점을  $P_2$ 라 할 때 선분  $AP_2$ , 선분  $BP_1$ 의 교점이 페르마 포인트가 된다는 점을 이용한 것이다. 또한 삼각형의 한 내각의 크기가  $120^\circ$  이상이면 해당 점이 페르마 포인트가 된다는 것도 코드로 구현할 수 있다. 이를 정리하여 위 두 함수를 포함하는 삼각형을 이루는 세 점이 주어졌을 때 페르마 포인트를 찾아주는 페르마 포인트 계산 함수를 완성할 수 있다.

## 3. 연구 방법 및 절차

### 3.1. 답사 및 데이터 수집

연구를 진행하기에 앞서 은평한옥마을에 지리적 특성과 소화전의 배치를 파악하기 위해

사전 답사를 진행하였다. 은평한옥마을은 중간중간 큰 도로가 위치하고 있으며, 여러 건물들이 조밀하게 좁은 골목을 끼고 위치하였다는 점을 발견하였고, 이러한 특징은 여러 건물이 위치한 구역의 무게중심에 해당하는 점을 그 구역의 대표점으로 보아 연구를 진행하는 것이 타당하다고 판단하였다. 또한, 사전답사 결과 소화전은 한가지 종류만 있는 것이 아니라 옥외와 옥내로 구분이 되며 소화전 종류에 따라 관할을 담당하는 부서도 다 다르다는 사실을 알게 되었다. 본 연구에서는 소방서에서 관할하는 소방용수 시설의 지상식 소화전을 기준으로 연구를 진행할 것이다.

한옥마을 답사 이후 서울시 은평구 진관동에 위치한 은평 소방서에 방문하여 이창민 소방관님과 인터뷰를 진행하였다. 다음은 주요 인터뷰 내용이다.

연구자 1: 소방서에서 관할하는 소화전은 어떤 종류인가요?

이창민 소방관: 소방서에서 관할하는 소화전은 지상식과 지하식 두 가지입니다. 옥내소화전은 해당 건물에서 관리하며, 소방서는 허가 당시 기준 준수 여부만 확인합니다.

연구자 1: 한옥마을에는 왜 지상식 소화전이 많은가요?

이창민 소방관: 목조 건물이 많아 화재 확산 속도가 빠르기 때문입니다. 지상식 소화전은 사용이 편리해 신속한 대응이 가능합니다.

연구자 2: 화재 현장에서 소방차들은 어떻게 협력하나요?

이창민 소방관: 펌프차가 화재 초기 진압을 담당하고, 탱크차가 물을 보충하며 인근 소화전과 연결됩니다.

연구자 1: 차량이 적은 한옥마을에서는 대응이 더 쉽겠네요?

이창민 소방관: 네, 차량 통행이 적어 소화전 개수 부족을 장비 협력으로 보완할 수 있습니다.

연구자 1: 페르마 점을 이용한 소화전 배치가 효과적일까요?

이창민 소방관: 효율적이지만, 예산 문제로 실현 가능성이 낮습니다.

연구자 1: 예산 확보가 어려운 이유는 무엇인가요?

이창민 소방관: 재난이 없을 때 소방 조직의 필요성이 적게 느껴져 예산 증액이 어렵습니다.

요약하자면 소화전을 통한 화재 진압은 소화전→ 탱크차→ 펌프차 순으로 물이 이동하여 화재를 진압하고 본 연구의 효율성은 입증되었지만 예산상의 장애물이 있다는 점을 알게 되었다.

### 3.2. 위성사진을 활용한 도식화

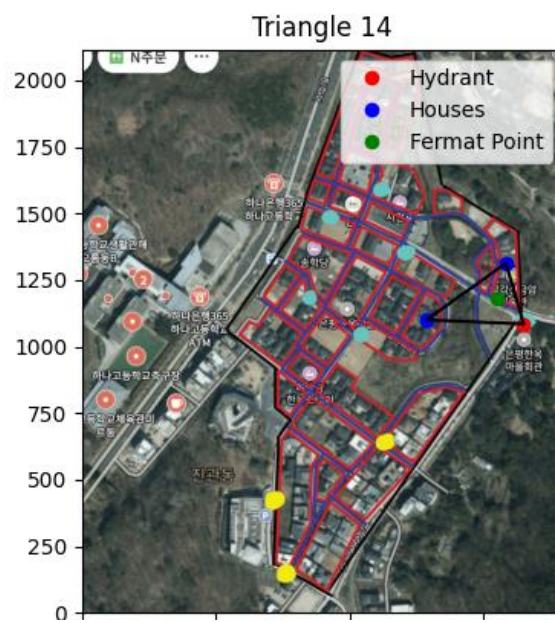
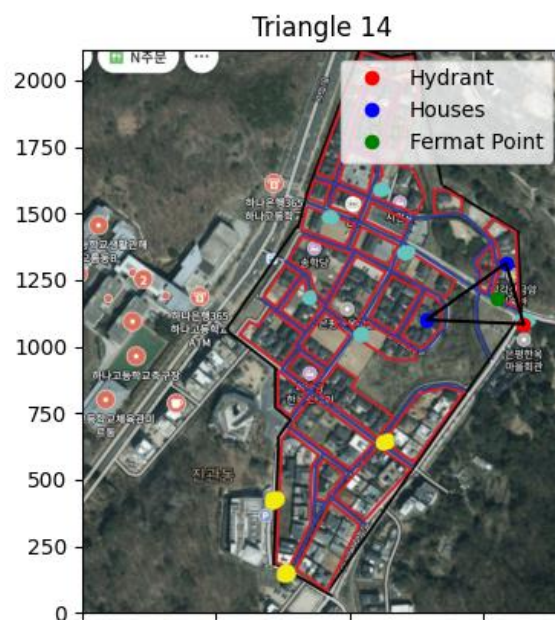
구현에 앞서, 프로그래밍을 위한 도식화를 할 필요가 있었다. 은평한옥마을 답사와 위성 사진을 바탕으로 한옥마을의 경계를 설정하였다. 다음은 한옥 여러 세대가 모여 있으며 이러한 블록이 도로를 기준으로 분리되어 있다는 점에서 파란색 도로를 기준으로 분리된 한옥 단지를 빨간색으로 묶어 구역을 구분하였다. 옥외소화전은 지하식을 하늘색, 지상식을 노란색으로 표기하였다.



### 3.3. 프밍

먼저, <그림 2>를 Python 코드를 실행했을 때 띄워주는 코드를 완성하였다. 이는 matplotlib이라는 그래프 시각화 라이브러리를 사용하였다. matplotlib.pyplot과 matplotlib.image를 main.py로 불러와 사진의 왼쪽 아래 끝을 원점으로 하는 하나의 좌표계를 설정한 후 개발을 진행하였다.

<그림 2>에서 분할한 구역과 소화전의 위치의 설정한 좌표계에 대한 좌표를 구한 후, 이를 각각 선형자료구조에 저장해야 한다. 그리고 점과 점 사이의 거리 공식을 사용하여 소화전 당 고려할 가까운 구역의 개수를 지정해준다. 해당 코드에서는 소화전 당 세 개의 구역을 고려하





였다. 2.4.1에서 언급한 페르마 포인트 계산 알고리즘 함수를 포함하는 feramat.py라는 모듈을 정의해준다. feramat.py를 main.py에서 불러와 matplotlib의 plot 기능을 통해 한 개의 소화전, 두 개의 구역에 따른 페르마 포인트 즉, 펌프차의 위치를 출력할 수 있고 이를 반복문을 이용해 모든 경우를 탐색하여 모든 경우의 수를 시각화 할 수 있다. 출력된 plot의 예시는 다음과 같다.

## 4. 연구 결과



위의 총 27개의 plot이 출력되었다.

## 5. 결론 및 논의

### 5.1. 연구 요약

본 연구는 은평한옥마을이 지니는 문화, 역사적 가치와 구조적 화재 취약성에서 시작되어 한옥마을 내 화재 시 빠른 대응을 위해 페르마 포인트라는 거리의 합의 최소가 되는 수학적 개념과 도식화된 위성 사진에서 페르마 포인트의 모든 경우의 수를 찾는 프로그래밍적 구현을 바탕으로 화재 진압 과정에서의 펌프차의 신속하고 효율적인 배치를 찾는 연구로 <그림 3>이 최종 결과물의 일부이다.

### 5.2. 한계점 및 향후 연구 방향

본 연구에서 산출한 코드의 알고리즘은  $O(n^3)$ 의 시간 복잡도를 가진다. 이는 빠르다고 보긴 힘든 시간 복잡도이지만, 한옥 마을이라는 작은 범위에서의 간단한 삼중 반복문의 형태를 지니고 있으므로 알고리즘은 큰 시간 지연 없이 빠른 속도로 실행될 수 있었다. 그렇기 때문에



고급 언어인 Python으로도 높은 속도를 보일 수 있으며 이를 프로그래밍화 시켜 실제 소방차 등의 장비에 사용할 수 있게 배포하려면 알고리즘 코드는 Python을 쓰되, C/C++, Rust 등의 저급 언어로 프로그램의 뼈대를 만들어 하드웨어에서도 빠르게 돌아갈 수 있도록 개발해야 한다.

또한 본 연구에서는 은평한옥마을에 한정되어 펌프차의 배치를 찾을 수 있는 프로그램을 만들었으나 향후 연구를 통해 발전된다면 소방차 등의 장비에 도입되어 은평한옥마을 뿐만 아니라 주거 단지가 밀집된 지역에서 화재가 발생했을 때 빠르고 효율적인 대응을 위해 사용될 수 있다. 이를 위해서는 본 연구에서는 도로를 기준으로 구역을 나누어 직접 그려 도식화한 절차를 프로그래밍적으로 수행해 화재 지역을 자동적으로 도식화할 수 있는 기능이 필수적이다.

## 참고문헌

서울한옥포털 . (n.d.). <https://hanok.seoul.go.kr/front/kor/info/infoHanok.do?tab=1>.

서울한옥포털 . (n.d.). <https://hanok.seoul.go.kr/front/kor/info/infoHanok.do?tab=2>.

김우창. (2022). 도심 한옥 밀집지역 화재예방에 관한 연구 -서울 북촌한옥마을과 익선동을 중심으로(석사). 경기대학교 공학대학원, n.p..

문태휴. ( 2011). 화재로부터의 목조문화재 보호에 관한 연구(학위논문(석사)). 東新大學校 大學院 , 消防學科 , 나주.

은평 . (n.d.). <https://hanok.seoul.go.kr/front/kor/town/town07.do>.