

북한산 최적의 등산로에 대한 고찰

-경사도, 멧돼지 분포, 침수 위험도를 중심으로-

권준민 · 김강언 · 전예성 · 차민서

하나고등학교

Bukhan Mountain is the only mountain in Seoul that can be hiked for a long time, and because of its size and scenery, it is a loved mountain for many hikers in Seoul. Bukhan Mountain is located in Eunpyeong-gu, so it acts as a factor to revitalize Eunpyeong-gu's economy and society. However, due to the rough terrain and slopes of Bukhansan Mountain, there is a need for a somewhat safe and efficient hiking trail. Therefore, the purpose of this study is to find the best hiking trail for safety and efficiency that exceeds existing hiking trails.

Through analyzing the 13 hiking trails on Bukhansan Mountain, we can directly measure and guide the degree of less effort and difficulty with the course to help visitors. It would be even better if you found a path that is more efficient than these.

Key words: Bukhan Mountain, Dijkstra algorithm, 3D modeling, Maxent model, DEM

1. 서론

북한산은 서울 도심에서 유일하게 장시간 등산이 가능한 산으로, 그 규모와 경관 때문에 서울의 많은 등산객들이 즐겨 찾는 산이라고 볼 수 있다. 따라서 전문적인 등산객을 제외하고도 학생 또는 가족 단위의 등산객들이 찾을 수 있으며, 북한산이 은평구에 위치해있기에 은평구의 경제와 사회를 활성화시키는 하나의 요인인 셈이다. 하지만 북한산은 서울 산악사고 최다 발발 지역으로서 서울시 소방재난본부의 ‘최근 3년간 산악사고 통계’에 집계된 5천 562건 중 1천 205건으로 집계됐다. 북한산의 다소 험난한 지형과 경사 때문에 다소 안전하고 효율성을 지니는 등산로의 필요성이 크다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 전문적인 등산객은 물론이고 추가적으로 가족 단위의 방문객 등 사회 활성화에 기여가 될 수 있는 이들을 더욱 유인하기 위해 안전성과 효율성이 기존의 등산로를 능가하는 최적의 등산로를 찾는 것을 목적으로 한다.

특히 북한산에는 무려 13개의 등산 코스가 있어서 처음 북한산을 방문하는 이들에게 낮은 접근성을 가질 수 있다. 따라서 이들을 분석하여 힘이 덜 드는 정도, 코스가 어려운 정도 등을 직접 등산을 통해 측정하여 안내하여 방문자에게 도움을 줄 수 있다. 만약 경로상 이들보다 높은 효율성을 가지는 길을 발견한다면 더욱 좋을 것이다. 또한, 북한산에는 많은 벌레들, 그리고 특히 많은 수의 멧돼지가 출몰하는 것으로 알려져있다. 따라서 가장 효율적인 벌레, 멧돼지 퇴치 방법을 고안하여 가족 단위 방문자 등 더 많은 수의 방문자를 유도할 수 있다.

2. 이론적 배경

2.1. 다익스트라 알고리즘 및 A* 알고리즘

북한산 등산로를 경로상으로 최적화하기 위해서는 주어진 한 점과 다른 모든 정점에 대해 최단거리를 찾아주는 다익스트라 알고리즘을 사용할 수 있다.

다익스트라 알고리즘은 어떤 간선도 음수 값을 갖지 않는 방향 그래프에서 주어진 출발과 도착 사이의 최단 경로를 계산하는 알고리즘이다. 다음은 그 알고리즘이다.

```
1  function Dijkstra(G, w, s)
2    for each vertex v in V[G]
3      d[v] := infinity
4      previous[v] := undefined
5    d[s] := 0
6    S := empty set
7    Q := set of all vertices
8    while Q is not an empty set
9      u := Extract_Min(Q)
10     S := S union {u}
11     for each v with edge (u,v) defined
12       if d[v] > d[u] + w(u,v)
13         d[v] := d[u] + w(u,v)
14         previous[v] := u
```

표 1 다익스트라 알고리즘

<출처: (문지혜 외, 2018)>

다익스트라 알고리즘이 한 점에서 모든 노드까지의 최단거리를 살핀다면 A* 알고리즘은

시작 노드에서 목표 노드까지 최단 경로를 구하는 알고리즘이라 할 수 있다. 즉, 세분화된 부분 경로 내 최단 거리를 구하는 것이 A* 알고리즘인 것이다.

A* 알고리즘은 시작 노드에서 현재 노드까지의 실제 경로 비용에서 현재 노드에서 목표 노드까지의 예상 경로 비용, 즉 휴리스틱 함수를 더한 값을 최종 노드에 도착할 총 비용으로 계산하여 최단 거리를 계산한다.

2.2. 플로이드-워셜 알고리즘

다익스트라는 하나의 정점에서 다른 모든 정점까지의 최단 거리를 구하는 알고리즘이라면, 플로이드-워셜 알고리즘은 한 번 실행하여 모든 노드 간 최단 경로를 구할 수 있다. 모든 지역 간 최단 거리를 바로 검색할 수 있으나 시간이 오래 걸린다는 점이 단점으로 보인다. 플로이드 알고리즘이 작동하는 방식은 거리를 계산하며 그 계산하는 결과를 다음 계산에 반영하는 동적계획 방식을 따른다. 그 단계는 다음과 같다.

[단계 1] 정점과 정점 사이의 거리 값을 정점 사이의 또 다른 정점을 거칠 경우의 거리 값과 비교한다.

[단계 2] 비교 후 더 작은 거리 값을 지속적으로 계산에 반영한다.

[단계 3] 반복 후 최종적으로 남은 값이 각 정점들 간의 최단거리 값으로 정해진다.

<출처: (강창욱, 이형욱, 2022)>

간단히 말해, 처음 지정한 거리에서 계속해서 보다 더 작은 거리의 값을 선택하는 과정을 거치는 것이다.

2.3 최대 경사

등산객이 산에서 넘어지거나 미끄러질 가능성은 경사도와 마찰력에 영향을 받는다. 경사면에서 균형을 유지하기 위해서는 마찰력이 중력의 경사면 방향 성분보다 커야한다. 경사면에서 작용하는 중력의 두 성분은 다음과 같이 나타난다.

경사면에 수직인 성분

$$F_{\perp} = m \cdot g \cdot \cos(\theta)$$

경사면에서 미끄러지게 하는 힘.

$$F_{\perp} = m \cdot g \cdot \sin(\theta)$$

경사면에서 미끄러지지 않으려면 정지마찰력이 아래 방향의 중력성분 F_{\perp} 을 상쇄해야한다.
마찰력의 최대값을 다음과 같이 나타낸다.

$$F_{friction} = \mu \cdot F_{\perp} = \mu \cdot (m \cdot g \cdot \cos(\theta))$$

사람이 경사면에서 미끄러질 조건은 다음과 같다.

$$F_{\parallel} > F_{friction}$$

이를 식에 대입하면

$$m \cdot g \cdot \sin(\theta) > \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta)$$

$$\tan(\theta) > \mu$$

$$\theta > \arctan(\mu)$$

마찰 계수의 일반적인 값은 다음과 같다

$$\text{흙길 } \mu = 0.5 \sim 0.7$$

$$\text{건조한 바위 } \mu = 0.6 \sim 0.8$$

$$\text{젖은 바위 } \mu = 0.3 \sim 0.5$$

한계 각도는 다음과 같이 계산된다.

$$\theta_{critical} = \arctan(\mu)$$

식에 대입하면 다음과 같은 결과가 나온다. 흙길 기준, 경사도가 27도 이상일 경우, 대부분의 일반 신발로는 안정적으로 서있기 힘들다. 바위를 가정하여 마찰계수를 0.4로 설정한다면 최대 경사도는 약 22도가 나온다.

2.4 호우 시 침식 위험

북한산 지역은 급경사 지형 및 화강암으로 이루어진 지형이 많아 강수 시 유출이 빠르고 침식 위험성이 높다. 북한산 내부 호우시 침식 위험 평가를 위해 다양한 방정식을 활용할 수 있다. 빗물의 운동을 파악하기 위해서는 속도, 방향을 분석해야할 필요가 있다. 나비에 스토크스 방정식을 간소화시켜 빗물을 점탄성이 없는 유체로서 얇은 층을 이루며 경사면을 따라 흐르는 표면 유출로 표현하면 다음과 같다. h 는 물의 깊이, v 는 속도 벡터, R 은 강수율, I 는 물이 지표면에서 땅속으로 스며드는 침투율을 의미한다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (hv) = R - I$$

흐름 속도는 대기압을 받는 상태의 개방된 물길을 따라 뉴턴 액체가 일정한 방향으로 흐를 때 그 속도를 추정할 수 있는 매닝 공식을 활용할 수 있다. 해당 공식에서 S 는 수면의 경사도로서, 산면의 기울기 값을 대신 활용할 수 있다.

$$v = \frac{1}{n} h^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

흐름 경로는 지형지물로 인한 지형의 경사에 의해 결정되며, 모델링에 사용한 고도 데이터를 활용해 경사도와 방향을 계산하여 활용할 수 있다. z 는 고도 데이터를 의미한다.

$$S = |\nabla z| = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}, \theta = \tan^{-1}\left(\frac{\partial z}{\partial x}, \frac{\partial z}{\partial y}\right)$$

일반적으로 물 깊이와 경사도의 값이 큰 경우 침식력(아래 식에서는 전단응력으로 표현)이 크다고 판단할 수 있다.

$$\tau = \rho ghS$$

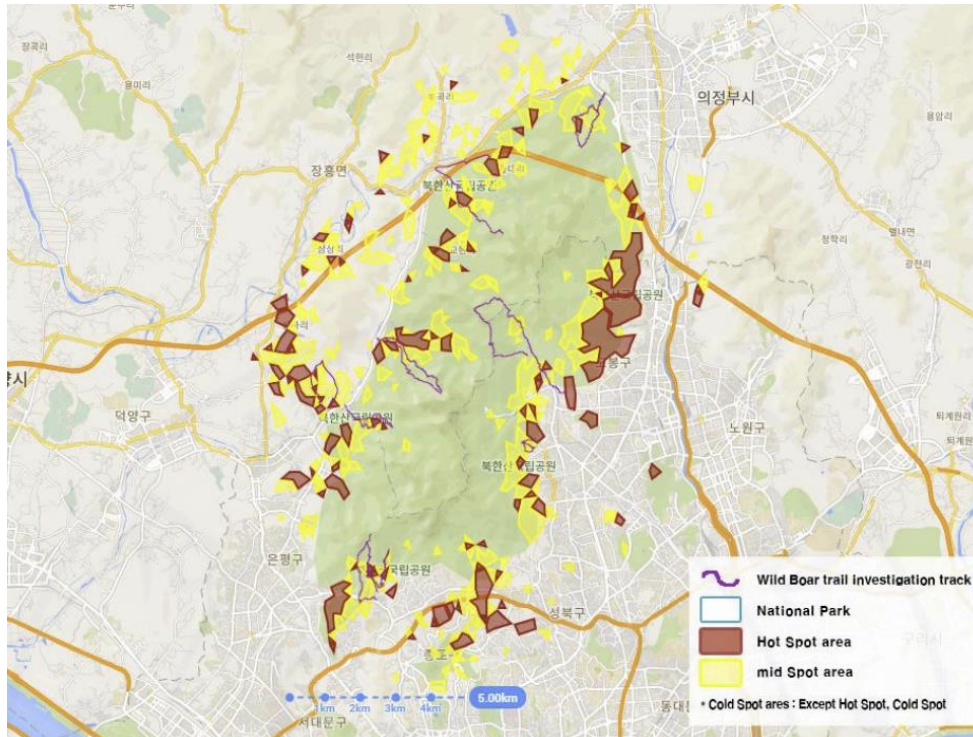
종합하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$h = \frac{R - I}{\nabla \cdot v}$$
$$v = \frac{1}{n} h^{\frac{2}{3}} |\nabla z|^{\frac{1}{2}}$$
$$\tau = \rho g h |\nabla z|$$

2.5 멧돼지 출몰 가능성의 예측 (최명석:2020)

북한산 국립 공원 주변 도심지에서의 야생 멧돼지가 출현하여 시민들의 인명 피해가 종종 발발하는만큼, 멧돼지로부터 북한산 등산객의 습격 가능성을 배제할 수 없다. 특히 은평구의 개발에 따라 서식지가 교란 및 축소되고, 산림 생태계에 불균형이 야기되었기에 날이 갈 수록 중요한 문제로 대두되고 있다. 해당 문제의 해결을 위해서 멧돼지 서식지의 다양한 환경요인과 변수에 따른 이동을 예측하는 연구가 필요하다.

멧돼지 출몰 가능 지역 분석을 위해 종분포모형(MaxEnt:maximum entropy)를 사용하여 분포를 예측하였다. 사용한 환경변수로는 산림, 등산로, 산 내 건축물, 경사, 농업지역과의 거리, 정밀식생도가 있다.



3. 연구 방법 및 절차

3.1. 연구 방법

북한산의 현재 등산로 분석 및 최적의 등산로 탐색을 위해서는 온라인과 오프라인의 두 방법으로 나누어 진행한다.

1) 오프라인

: 북한산 등산을 진행한다. 온라인으로 사전에 분석했던 등산로 중 선택하여 등반한다. 등반을 통해 분석하였던 내용과 체감 기울기, 미끄러운 정도, 부가적인 사항을 기록하여 등산로 개선을 필요로 하는 부분을 분석한다.

2) 온라인

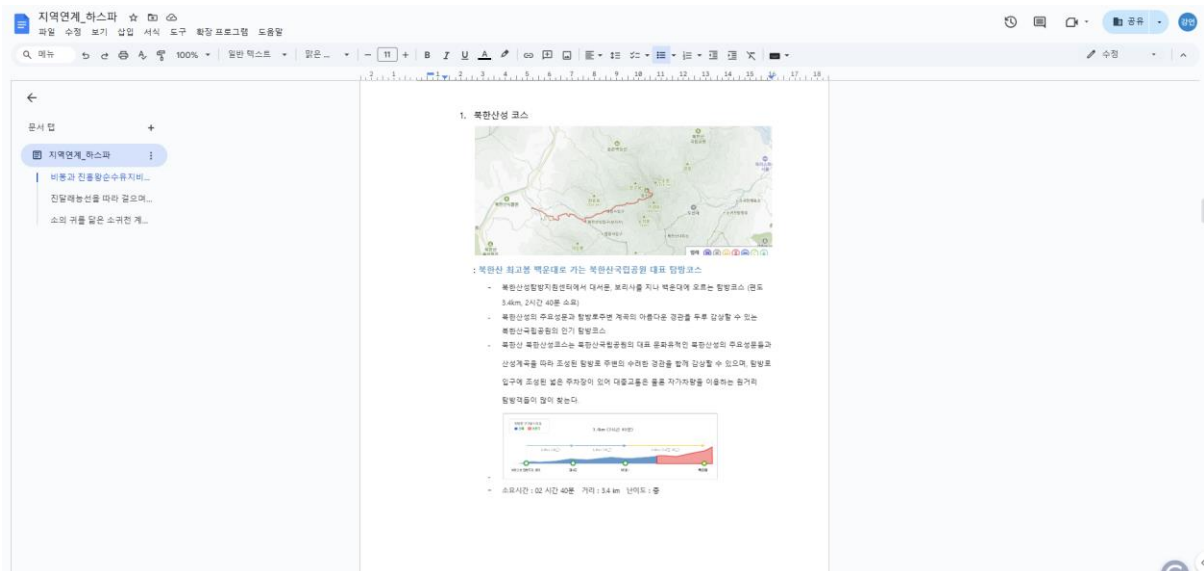
: 실제로 모든 등산로를 답사하고 경로를 파악하는 것은 현실적으로 무리가 있기에 대부분의 등산 경로 분석은 온라인으로 이루어진다. 국립공원공단 웹사이트에서 북한산을 검색하여 그 등산 코스들에 관한 정보를 등산로 길이, 해당 사이트에서 제공하는 등산 어려움 정도를 중심으로 정리한다. 또한 북한산의 특정 지점들을 여러개 선정한 후(기존 등산로의 분기점 중심) 네이버 지도와 구글 지도 등을 사용하여 지점들 간 거리, 높이 등을 조사한 후, 지점 사이의 등산의 어려운 정도를 특정

가중치를 설정하여 전부 계산한다. 그 계산한 값들을 바탕으로 이를 그래프로 생각하여 다익스트라 알고리즘, 플로이드-워셜 알고리즘 등의 최단 거리 알고리즘을 사용한다. 이 외에도 등산로의 효율과 안전에 기여할 수 있는 다양한 요소들을 추가로 탐구하여 알고리즘을 통해 선정된 몇 개의 등산로를 평가하고 개선한다.

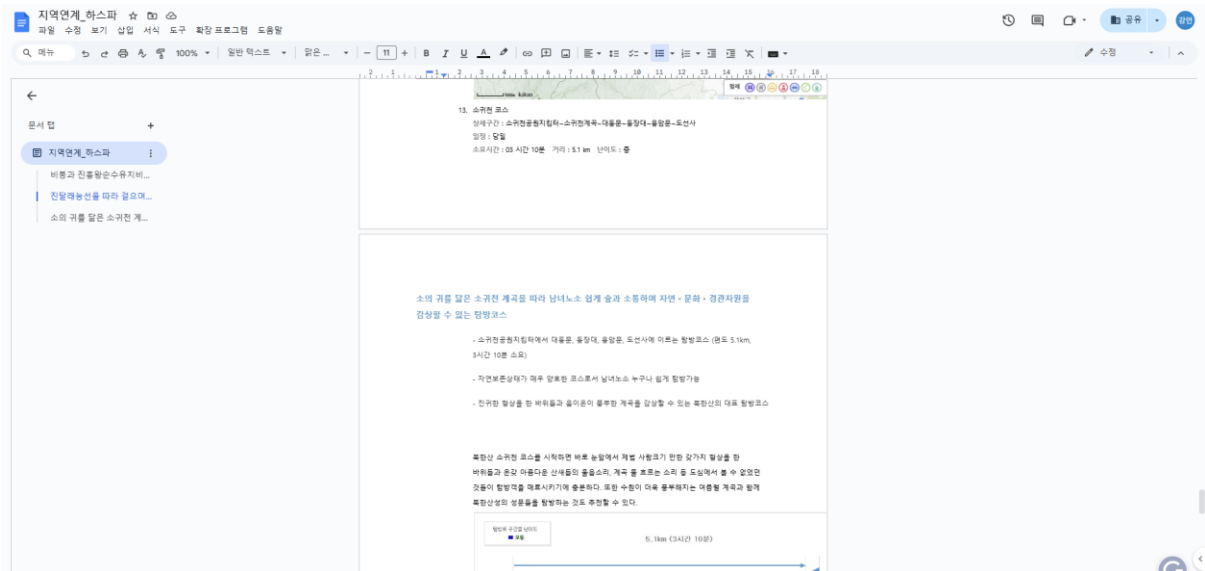
3.2. 연구 절차

본 연구는 다음과 같은 절차로 진행되었다. 진행 절차는 크게 등산로 기초 분석, 등산로 심화 분석 및 알고리즘 적용, 최적 등산로 평가 및 개선으로 이루어진다.

첫 번째 등산로 기초 분석에서는 국립공원공단 웹사이트의 북한산 페이지에 접속하여 등산 코스를 북한산성 코스부터 대남문 코스, 마지막으로 소귀천 코스까지 13개의 코스에 관한 정보를 모두 정리한다. <그림 1>, <그림 2>



<그림 1>



<그림 2>

또한, 직접 북한산을 진관사에서 출발하여 비봉에 이르는 상당한 길이의 코스를 직접 등반하며 다양한 지점들을 지나 직접 각 지점들, 경로들을 경험하여 그를 바탕으로 등산로의 개선 필요성, 효율성 등을 분석한다. 특히 비 오는 날에 추가로 방문하거나 다양한 신발을 착용하여 등산을 하여 경험적인 분석을 수행한다. <그림 3> <그림 4>



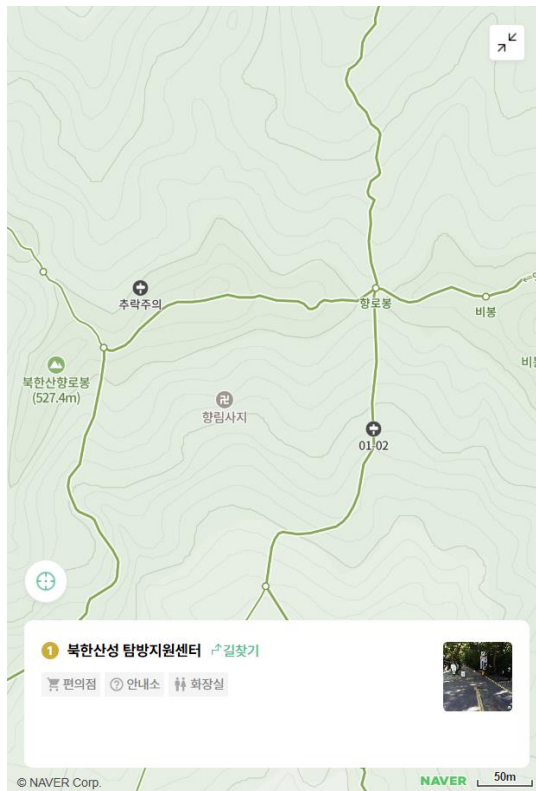
<그림 3>



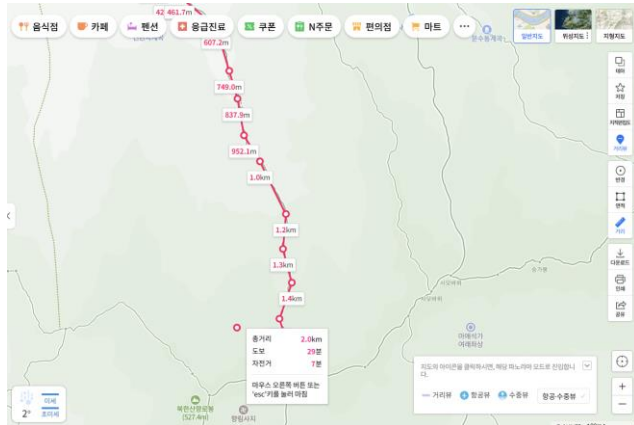
<그림 4>

이후 본격적인 등산로 코스에 대한 분석과 새로운 등산로를 찾기 위한 알고리즘 시행을 진행하였다. 가장 먼저 직접 북한산을 프로그램 속에서 시각화하여 분석을 진행하기 위해 ‘오늘등산’ 애플리케이션에서 제공하는 상세한 등고선<그림 5>을 바탕으로 CAD 소프트웨어인 Autodesk Fusion 360을 이용해 북한산을 표현하였다. 또 알고리즘을 실행하기 위한 그래프를 생성하기 위하여 북한산 등산로의 다양한 지점들을 노드로 선정하였다. 은평구 10개의 북한산 등산로 출발지부터 향로봉까지 그 인근 등산로의 갈림길들을 주요 노드로 선정하였으며, 필요에 따라서는 새로운 등산로 지점과 길을 고안하였다. 선정한 노드들 간의 거리를 ‘네이버 지도’의 ‘거리’ 기능을 이용하여<그림 6> 그 수평 거리를 측정했다. 또한, ‘오늘등산’ 애플리케이션을 사용하여 등고선을 정밀하게 확인한 뒤, 각 노드들의 고도를 측정하여 노드들 간의 높이 차이를 측정하였다. 특히 노드 간 거리, 높이 차이, 등산로의 모양 등을 고려하여 12번의 새로운 지점을 생성하고, 역시 노드로 추가했다. <그림 7> 측정한 수평 거리와 높이 차이 값을 바탕으로 노드들 사이의 가중치를 설정하였는데, 이는 미국 스포츠 의학 대학에서 제시한 기울기와 속도에 관한 공식<그림 8>을 참고했다. 본 연구팀이 설정한 노드 간 거리의 가중치는 (실제 노드 간 거리) X 0.056 + (실제 노드 간 거리) X (경사도)로 하였다. 이러한 과정으로 생성한 그래프의 정보를 다익스트라 알고리즘과 플로이드 워셜 알고리즘에 입력하여 각 출발점에서 향로봉(본 연구팀이 설정한 정상)에 다다르는 최단거리(이 때 최단 거리는 실제 거리가 최단인 것이 아닌 본 연구팀이

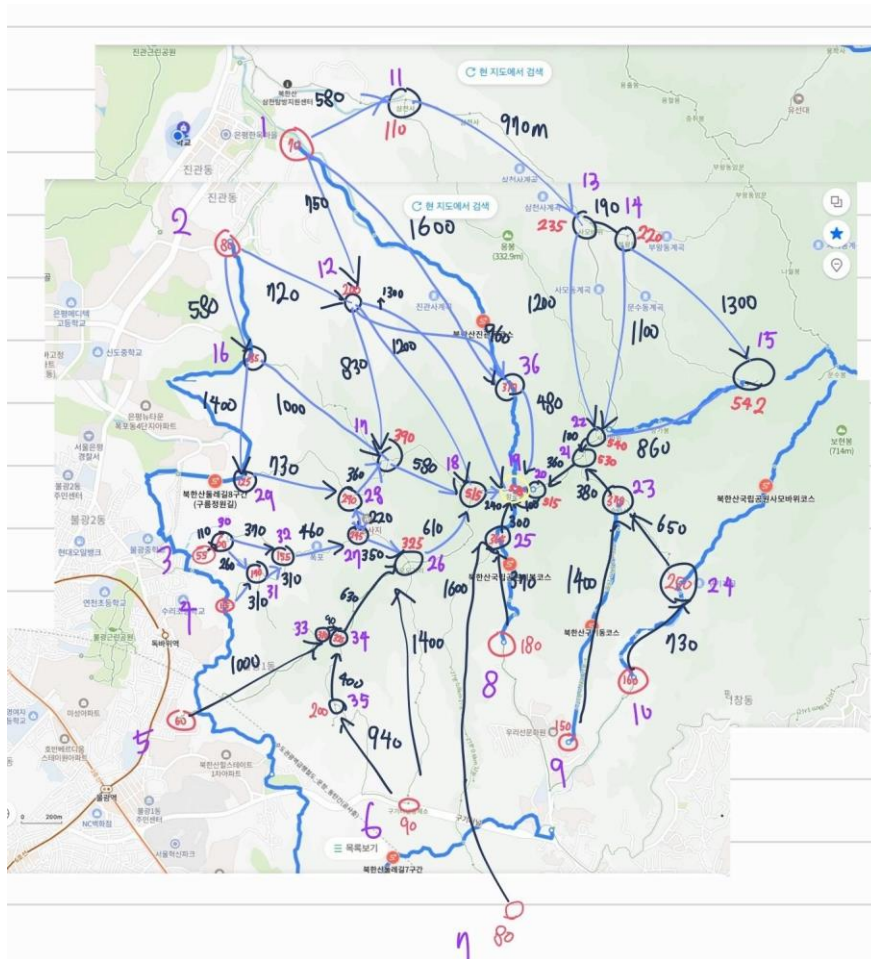
설정한 가중치의 합이 최소인 것을 의미함) 경로를 찾아내고, 그 경로를 제외시킨 후 다시 알고리즘을 실행하여 두 번째의 최단거리를 보여주는 경로를 탐색해낸다. <그림 9>



<그림 5>



<그림 6>



<그림 7>

$$\text{VO}_2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} = (0.1 \cdot S) + (1.8 \cdot S \cdot G) + 3.5$$

Horiz.	Vert.	Rest
--------	-------	------

<그림 8> <출처: ACSM, 미국 스포츠 의학 대학>

```

import heapq

def dijkstra(graph, start):
    distances = {node: float('inf') for node in graph}
    distances[start] = 0

    queue = [(0, start)]
    previous_nodes = {}

    while queue:
        current_distance, current_node = heapq.heappop(queue)
        if current_distance > distances[current_node]:
            continue

        for neighbor, weight in graph[current_node].items():
            distance = current_distance + weight
            if distance < distances[neighbor]:
                distances[neighbor] = distance
                previous_nodes[neighbor] = current_node
                heapq.heappush(queue, (distance, neighbor))

    return distances, previous_nodes

def min_cost_and_path(graph, start_node, end_node):
    distances, previous_nodes = dijkstra(graph, start_node)
    min_cost = distances[end_node]
    path = [end_node]
    while end_node != start_node:
        end_node = previous_nodes[end_node]
        path.append(end_node)
    path.reverse()
    return min_cost, path

graph = {
    '1': {'12': 175, '11': 73, '36': 341},
    '2': {'12': 163, '16': 88},
    '3': {'30': 11},
    '4': {'31': 73},
    '5': {'33': 315},
    '6': {'35': 164, '26': 318},
    '7': {'25': 380},
    '8': {'25': 230},
    '9': {'23': 302},
    '10': {'24': 132},
    '11': {'13': 181},
    '12': {'19': 421, '18': 395, '17': 243, '36': 172},
    '13': {'14': 26, '22': 384},
    '14': {'15': 407, '22': 397},
    '15': {'22': 50},
    '16': {'17': 321, '29': 88},
    '17': {'18': 161},
    '18': {'19': 34},
    '19': {},
    '20': {'19': 26},
    '21': {'20': 35},
    '22': {'21': 16},
    '23': {'21': 197},
    '24': {'23': 159},
    '25': {'19': 215},
    '26': {'18': 235},
    '27': {'26': 102, '28': 59},
    '28': {'17': 125, '27': 59},
    '29': {'28': 211},
    '30': {'31': 135, '32': 119},
    '31': {'32': 32},
    '32': {'27': 118},
    '33': {'34': 20},
    '34': {'26': 35},
    '35': {'34': 154},
    '36': {'19': 269}
}

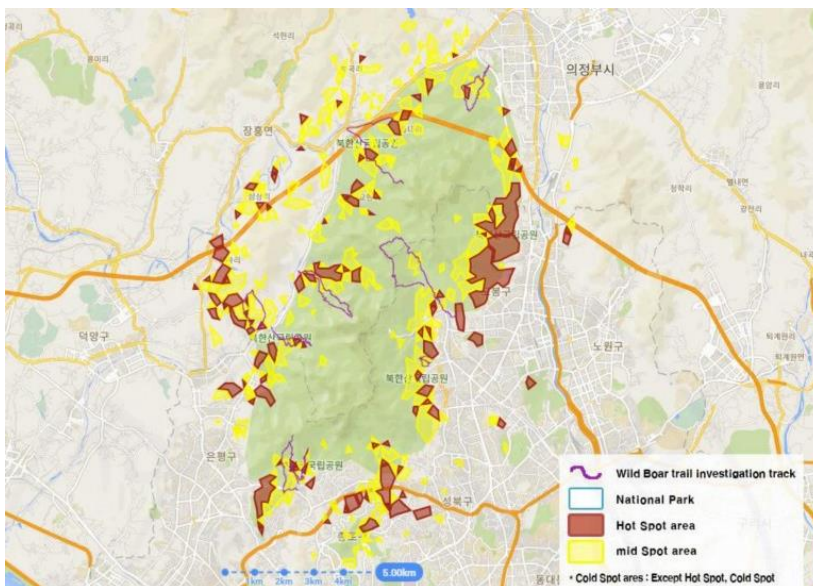
start_node = '1'
end_node = '19'

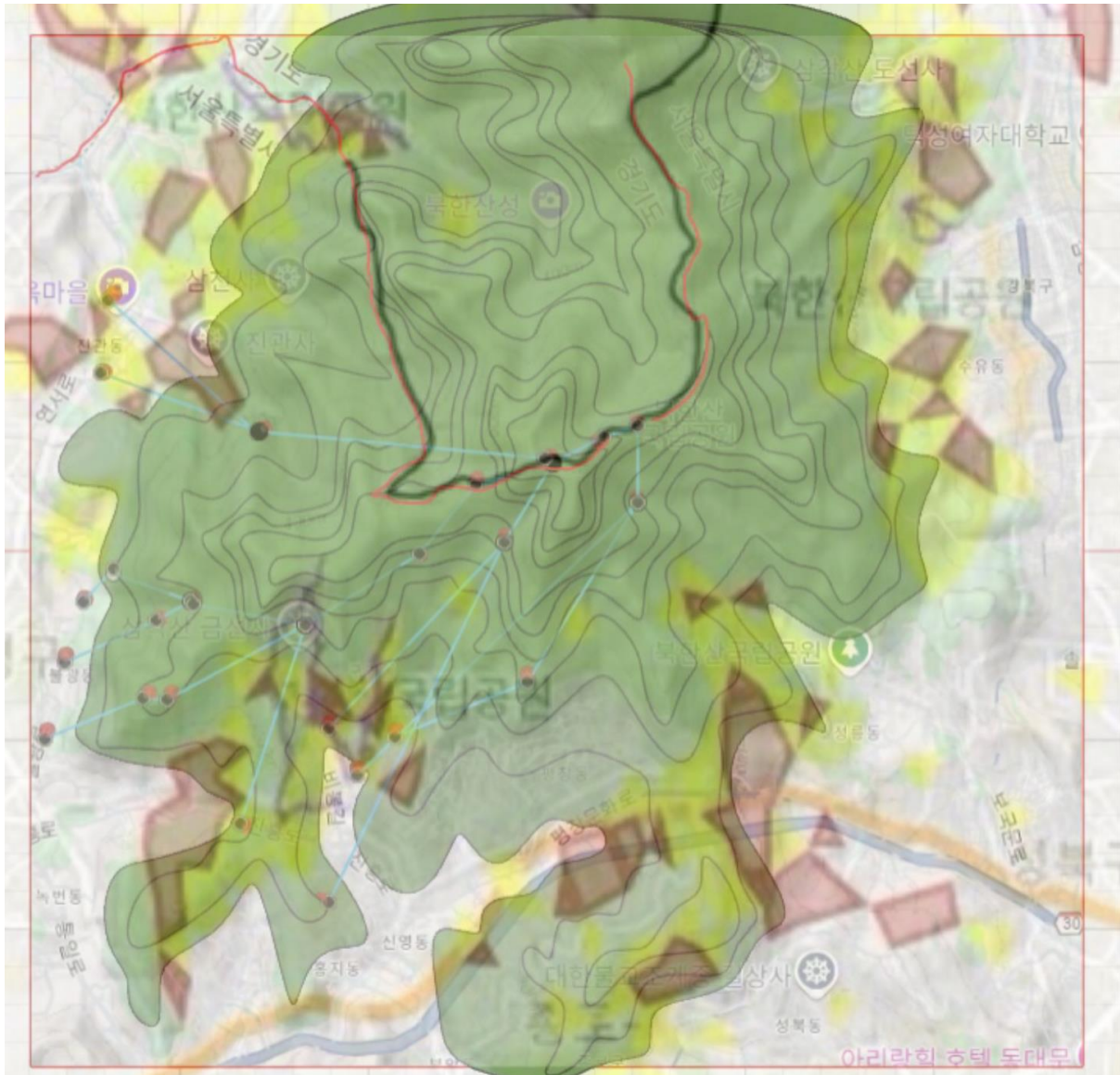
min_cost, path = min_cost_and_path(graph, start_node, end_node)
print(f"The minimum cost between node {start_node} and node {end_node} is {min_cost}")
print(f"The path is: {' -> '.join(path)}")

```

<그림 9>: 다익스트라 알고리즘과 그래프 입력

마지막으로 다양한 요소를 고려하여 선정한 최단 거리 경로들을 개선한다.





다음은 Maxent 모델링을 통해 도출된 멧돼지 출현 가능성 지표와 앞서 제시한 최적의 등산 경로를 결합하여 분석한 결과이다. 이를 통해 멧돼지의 서식 가능성이 높은 지역과 등산 경로가 겹치는 현상을 확인할 수 있었다. 특정 구간에서는 Hot Spot area와 Mid Spot area가 등산로와 중첩되는 현상이 나타났다.

이러한 중첩 구간은 멧돼지와 등산객 간의 잠재적 충돌 가능성이 높은 지역으로, 생태적 안전성과 등산객의 안전을 고려해 추가적 대책이 필요하다는 점을 시사한다. 본 연구에서는 등산로 부근의 멧돼지 초음파 퇴치 기기 설치를 해결 방안으로 제시하며, 초음파의 물리적 특성과 인간 및 멧돼지의 청각 주파수 범위를 고려하여 기기의 설치 반경과 출력 조건을 제시하려한다. 이러한 대책은 멧돼지와 인간 간의 갈등을 최소화하여 안전 사고를 예방하는데 기여할 것이다.

초음파는 멧돼지 뿐만 아니라 인간에게도 영향을 미칠 가능성이 존재한다. 따라서 안전한 설치를 위해 이를 고려하여 멧돼지 퇴치와 인간의 안전을 동시에 보장할 수 있는 기기의 최적 운영 조건을 제안하고자한다.

연구에 따르면 인간의 청각 범위는 약 20Hz ~ 20kHz 이며 멧돼지의 청각 범위 약 42Hz ~ 40kHz라고 한다. 따라서 퇴치 기기는 약 25kHz 이상의 초음파를 활용하여 멧돼지에 영향을 주는 동시에 인간의 청각 범위 바깥에서 작동하도록 설계하여야한다. 또한, 고강도 초음파는 인간의 귀로 감지되지 않더라도 두통, 피로감, 시각적 불편함 등을 유발한다고 알려지기에 안전 반경을 설정하여, 멧돼지에게 주파수가 유효한 반경이 안전 반경보다 크도록 해야한다.

$$A = A_0 e^{-\alpha r} \quad (A \text{는 음파 강도, } A_0 \text{는 초기 음파 강도})$$

$$r_{max} = \frac{1}{\alpha} \ln\left(\frac{A_0}{A_{min}}\right)$$

$$r_{min} = \frac{1}{\alpha} \ln\left(\frac{A_0}{A_{인간}}$$

$r_{max} > r_{min}$ 이어야 한다.

$$L(r) = 10 \log_{10}(e^{-\alpha r}) = -4.343\alpha r$$

$$L(r_{안전}) = 85dB$$

$$r_{안전} = \frac{85}{4.343\alpha}$$

전단응력이 특정 값 이상일 때를 침식 위험 구간으로 지정하여 모델로부터 추출한다. 이 모델은 국립공원공단의 국립 공원 수치 표고 모델 공간 데이터(DEM)를 이용했다.


```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from osgeo import gdal
from scipy.ndimage import sobel

def read_dem(file_path):
    dataset = gdal.Open(file_path)
    if dataset is None:
        raise FileNotFoundError(f"Error: Unable to open DEM file at {file_path}")

    dem = dataset.ReadAsArray()
    transform = dataset.GetGeoTransform()
    return dem, transform

def calculate_slope(dem, transform):
    x_res = transform[1]
    y_res = transform[5]

    dz_dx = sobel(dem, axis=1) / (8 * x_res)
    dz_dy = sobel(dem, axis=0) / (8 * abs(y_res))

    slope = np.sqrt(dz_dx**2 + dz_dy**2)
    return slope

def calculate_water_depth(P, I, duration):
    R_eff = np.maximum(P - I, 0)
    h = R_eff * duration / 1000
    return h

def calculate_velocity(h, slope, n=0.03):
    velocity = (1 / n) * (h ** (2 / 3)) * (slope ** 0.5)
    return velocity

```

```

def calculate_shear_stress(h, slope, rho=1000, g=9.81):
    shear_stress = rho * g * h * slope
    return shear_stress

def erosion_risk_mask(shear_stress, threshold):
    return shear_stress > threshold

dem_file = "BUKJANSAN_ASTGMT2.tif"

dem, transform = read_dem(dem_file)

slope = calculate_slope(dem, transform)

# 강수량 모델 정의
P = np.ones_like(dem) * 50
I = np.ones_like(dem) * 10
duration = 2

h = calculate_water_depth(P, I, duration)

velocity = calculate_velocity(h, slope)

shear_stress = calculate_shear_stress(h, slope)

```

```

plt.figure(figsize=(8, 5))
plt.hist(shear_stress.ravel(), bins=100, color='blue', alpha=0.7)
plt.title("Distribution of Shear Stress Values")
plt.xlabel("Shear Stress (Pa)")
plt.ylabel("Frequency")
plt.show()

threshold = np.percentile(shear_stress, 95)
print(f"Dynamic Threshold (95th Percentile): {threshold}")

risk_mask = erosion_risk_mask(shear_stress, threshold)

# 결과 시각화
plt.figure(figsize=(12, 10))

# DEM 시각화
plt.subplot(2, 2, 1)
plt.title("DEM (고도 데이터)")
plt.imshow(dem, cmap="terrain")
plt.colorbar(label="Elevation (m)")

# 경사도 시각화
plt.subplot(2, 2, 2)
plt.title("Slope (경사도)")
plt.imshow(slope, cmap="viridis")
plt.colorbar(label="Slope")

# 전단응력 시각화
plt.subplot(2, 2, 3)
plt.title("Shear Stress (전단응력)")
plt.imshow(shear_stress, cmap="plasma")
plt.colorbar(label="Shear Stress (Pa)")

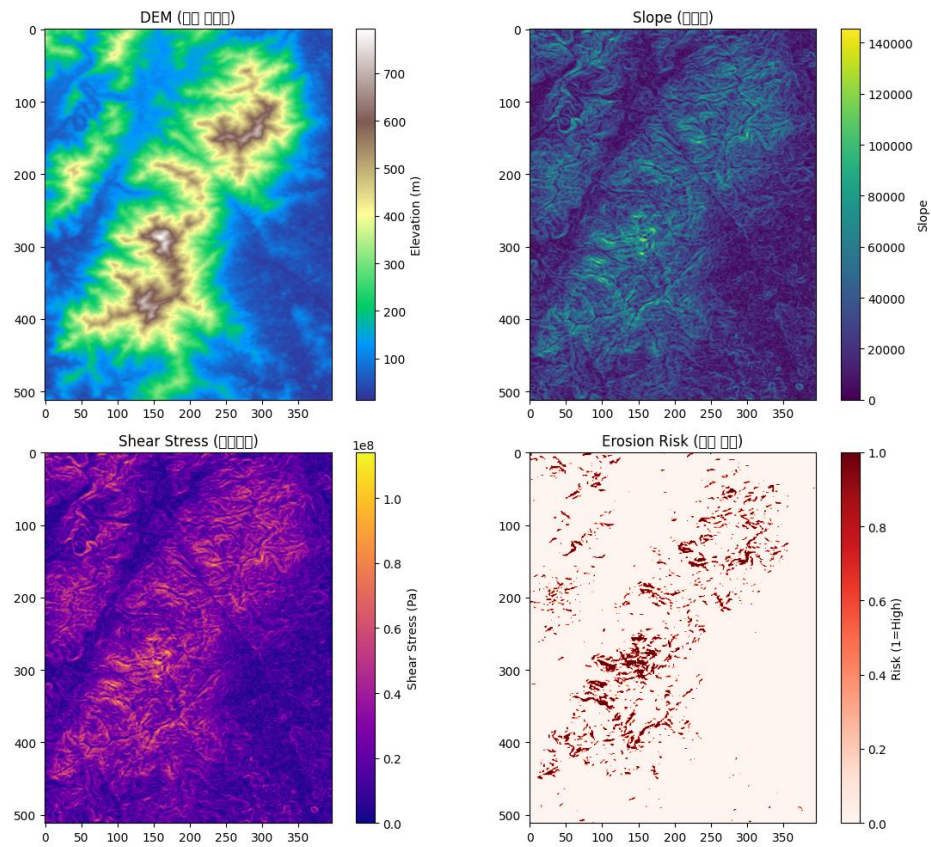
```

```

plt.tight_layout()
plt.show()

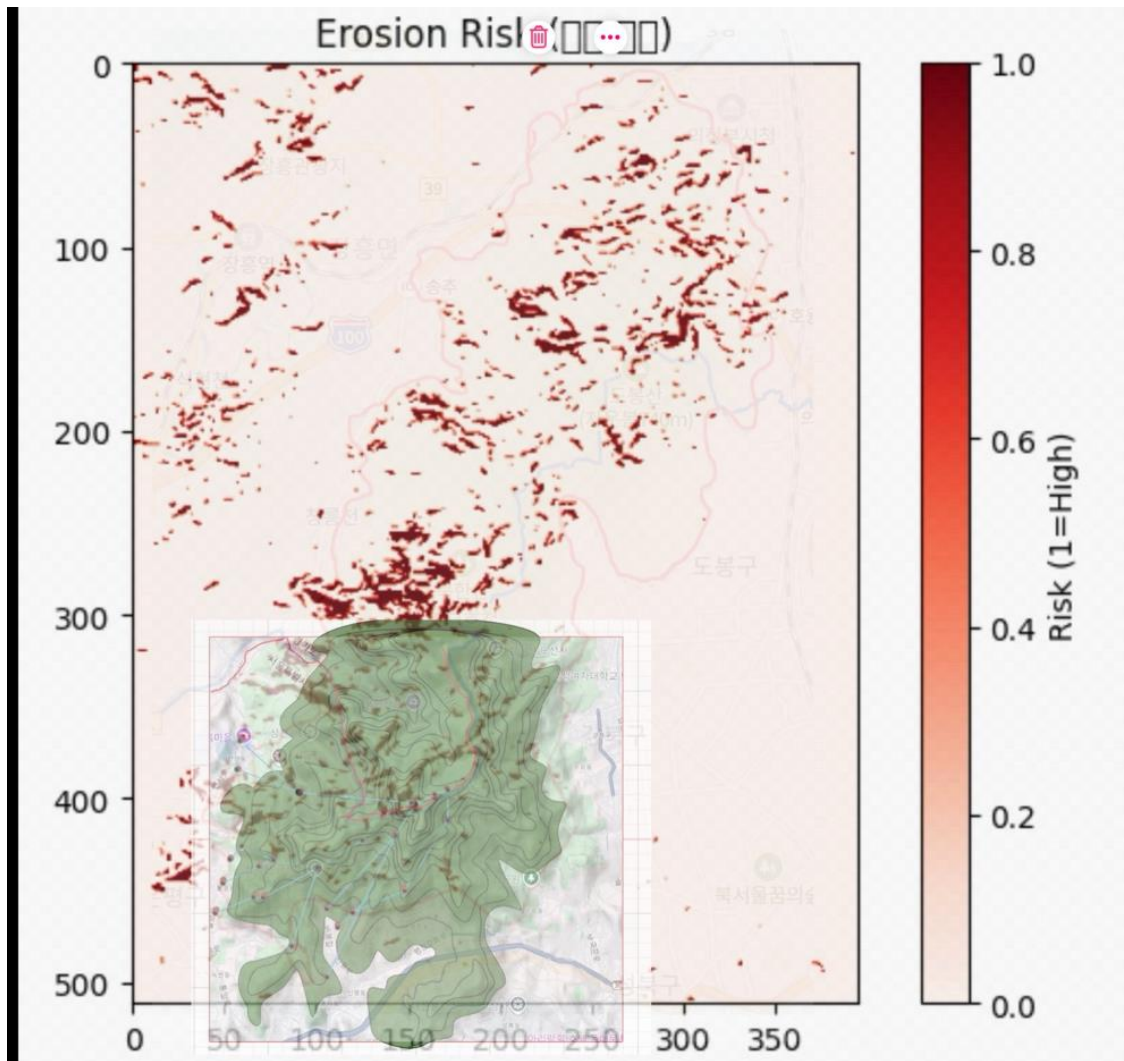
```

침식 위험 가능성이 높은 지역의 예측을 위해 전단 응력의 분포를 분석하여 임계값을 상위 5%인 지점으로 설정했다.



우측 하단과 같이 침식 위험 가능성이 높은 지역을 분석했다.

기존의 최적의 등산로 모델링과 함께 해당 침식 위험도 분석 지도를 함께 배치할 시 다음과 같다.



이를 통해 다익스트라 알고리즘을 통해 분석한 최적의 등산로 경로 북쪽의 일부가 침식 위험 구간이 높은 부근과 겹쳐있음을 알 수 있다. 해당 경로는 우천 시 등산 난이도가 기존에 공지된 난이도보다 높으며, 안전사고의 발생 위험이 더 높음을 보인다. 따라서 본 연구 결과에 따라 우천시 폐쇄되는 등산로 지역을 산사태 발생 이후 봉쇄하는 기존의 제도가 아닌, 미리 예측한 강수량을 바탕으로 안전한 등산로의 정보를 제공하도록 하여 인명 피해를 최소화하고자 한다.

4. 연구 결과

다익스트라 알고리즘을 통해 10개의 출발지에서 향로봉에 이르는 최단 경로는 다음과 같다. 노드의 번호는 <그림 7>과 동일하다.

은평 한옥 마을에서 출발하는 경우 $1 \rightarrow 12 \rightarrow 19$ (향로봉)로 가중치의 합은 596이다.

은평 뉴타운 아파트에서 출발하는 경우 $2 \rightarrow 12 \rightarrow 19$ (향로봉)로 가중치의 합은 584이다.

불광중학교에서 출발하는 경우 $3 \rightarrow 30 \rightarrow 32 \rightarrow 27 \rightarrow 26 \rightarrow 18 \rightarrow 19$ (향로봉)로 가중치의 합은 619이다.

수리초등학교에서 출발하는 경우 $4 \rightarrow 31 \rightarrow 32 \rightarrow 27 \rightarrow 26 \rightarrow 18 \rightarrow 19$ (향로봉)로 가중치의 합은 594이다.

대호아파트에서 출발하는 경우 $5 \rightarrow 33 \rightarrow 34 \rightarrow 26 \rightarrow 18 \rightarrow 19$ (향로봉)로 가중치의 합은 639이다.

구기터널 통제소에서 출발하는 경우 $6 \rightarrow 26 \rightarrow 18 \rightarrow 19$ (향로봉)로 가중치의 합은 587이다.

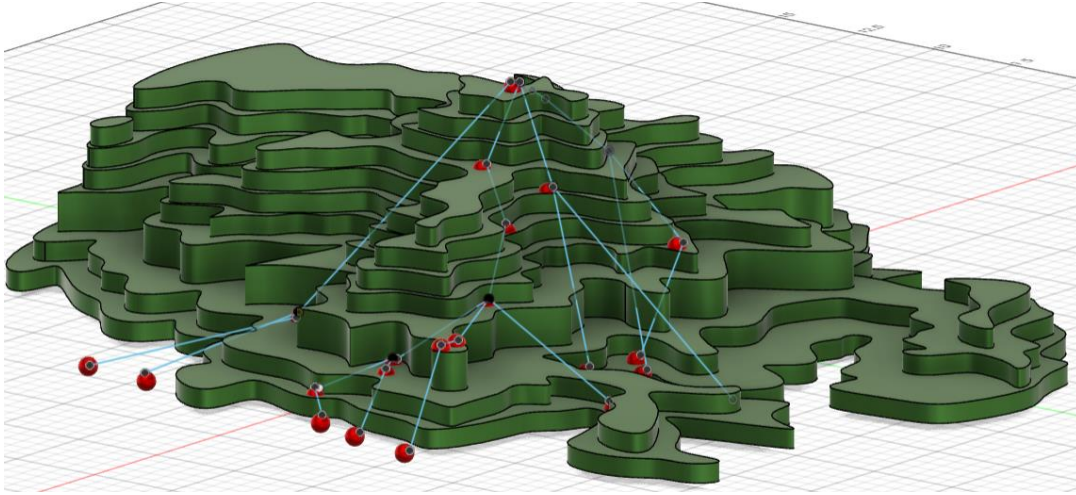
북한산 둘레길 7구간 포토 포인트에서 출발하는 경우 $7 \rightarrow 25 \rightarrow 19$ (향로봉)로 가중치의 합은 595이다.

비봉 탐방 지원센터에서 출발하는 경우 $8 \rightarrow 25 \rightarrow 19$ (향로봉)로 가중치의 합은 445이다.

헤림정사 입구에서 출발하는 경우 $9 \rightarrow 23 \rightarrow 21 \rightarrow 20 \rightarrow 19$ (향로봉)로 가중치의 합은 560이다.

구기 탐방 지원선테엇 출발하는 경우 $10 \rightarrow 24 \rightarrow 23 \rightarrow 21 \rightarrow 20 \rightarrow 19$ (향로봉)로 가중치의 합은 549이다.

알고리즘을 통해 나온 경로를 북한산 3D 모델에 표현하여 향로봉에 이르는 최단 경로를 시각화 하였다. <그림 10>



<그림 10>: 최단 경로 시각화

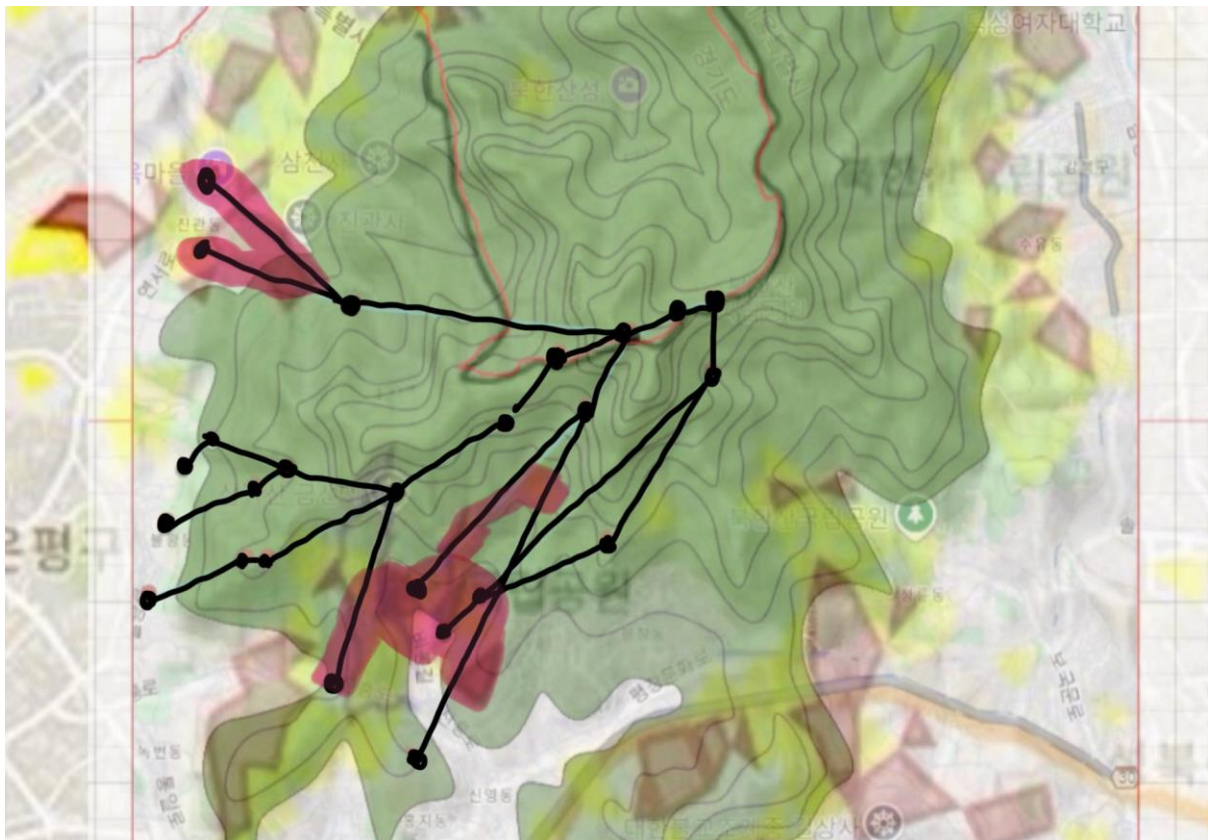
$$r_{\text{안전}} = \frac{85}{4.343a}$$

일반적으로 20kHz 이상의 초음파는 공기 중에서 $0.2m^{-1}$ 정도의 감쇠 계수를 가진다. $r_{\text{안전}} = 97.9m$

본 연구에서는 초음파 퇴치기기의 안전성을 보장하기 위해 인간에게 피해를 주지 않도록 하는 초음파의 세기 기준으로 85 dB를 설정하였다. 이는 법령에 따른 규정을 준수하기 위한 기준으로, 85 dB 이상의 소리는 인간의 청각에 영향을 미칠 수 있으며, 지속적으로 노출될 경우 청력 손상이나 불쾌감을 유발할 수 있기 때문이다. 결론적으로, 초음파 퇴치기기의 세기가 85 dB 이하로 유지되도록 하려면, 등산로와 기기가 최소한 약 97.9m 이상의 거리를 두어야 한다는 결론을 도출하였다. 이는 초음파의 전파 거리가 일정 거리 이상 떨어지면 세기가 감소하여 인간의 청각에 미치는 영향을 줄일 수 있다는 원리를 바탕으로 계산된 결과이다. 초음파는 공기 중에서 전파되면서 감쇠 현상이 발생하는데, 초음파의 세기가 일정 거리 이상에서 85 dB 이하로 떨어지게 되려면, 최소 97.9m 이상의 안전 거리가 필요하다는 것이다. 초음파가 방출된 후 전파되면서 에너지가 점차적으로 소멸되기 때문에, 일정 거리를

두면 인간에게 미치는 영향이 줄어들 수 있다. 따라 이 연구의 결과는 초음파 퇴치기기를 설치할 때 인간과의 안전한 거리를 유지할 수 있도록 하는 지침을 제공한다.

또한, 본 연구에서는 20 kHz 이상의 주파수를 사용하는 초음파 기기에서의 감쇠 계수 a 를 0.2m^{-1} 로 설정하였다. 감쇠 계수는 초음파의 세기가 얼마나 빨리 감소하는지를 나타내는 지표로, 환경적 요인이나 기기의 성능에 따라 달라질 수 있다. 실제 환경에서는 기기의 특성이나 주변 환경에 따라 감쇠 계수가 달라질 수 있기 때문에, 본 연구에서는 일반적으로 적용될 수 있는 평균적인 값을 사용하여 대략적인 계산을 하였다. 이는 초음파 퇴치기기의 성능이나 설치 환경에 따라 다소 차이가 있을 수 있지만, 대체로 예상 가능한 범위 내에서 유효한 값을 제공하기 위한 목적을 가지고 있다. 감쇠 계수가 다른 값으로 설정된다면, 계산된 안전 거리가 다소 달라질 수 있지만, 본 연구에서는 일반적인 환경을 기준으로 계산을 진행하였다.



Maxent 모델링의 결과를 통해, 분홍색으로 표시된 특정 등산로 구간에 초음파 퇴치기를 설치할 필요성이 확인되었다. 이 구간은 모델링을 통해 특정 조건에서 위험이 증가하는 구간으로 식별되었으며, 초음파 퇴치기를 설치함으로써 해당 구간에서의 위험 요소를 효과적으로 줄일 수 있을 것으로 보인다. 또한, 모델링 결과 제시된 안전 거리를 고려했을 때, 97.9m의 안전 거리를 유지하는 것이 중요하다는 점이 강조되었다. 따라서, 이 안전 거리를

준수하여 해당 구간에 퇴치기를 설치하면, 등산로의 안전성을 높이는 데 실질적인 기여를 할 수 있을 것이다.

5. 결론 및 논의

향로봉을 정상으로 정의하여, 이를 ‘한 노드’로 하고, 여러 등산로 출발점들을 ‘여러 노드’로 정의하여 ‘한 노드’에서 각각의 ‘여러 노드’를 향하는 최단거리를 다익스트라 알고리즘을 사용하여 계산했다. 실질적으로 의미 있는 노드 간 길만을 정의하였기 때문에 모든 노드간의 최단거리를 고려해야 하는 플로이드-워셜 알고리즘은 본 연구에 적절하지 않다고 결론지었다. 또한 실질적인 등산로의 어려운 정도를 측정하기 위하여 미국 스포츠 의학 대학의 공식을 사용하여 가중치 계산 방법을 결정하였으며, 하나고 근처의 등산로 초입인 은평 한옥 마을과 은평 뉴타운 아파트에서 시작하는 최단거리 등산로에 본 연구팀이 새로 도입한 지점이 포함되는 것으로 보아 새 지점, 12번 노드의 효율성을 입증했다 볼 수 있다. 이 뿐만 아니라 각 출발점에서 가장 편한 등산로를 최대한 정교하게 입증했다. 그러나 등산로의 노드 간 거리가 길고, 본 팀이 지정한 노드 사이에서 오르막과 내리막이 반복되며 경사도가 바뀌는 상황을 고려하지 못한 부분이 있어 보다 실질적인 측정이 필요하다. 또, 정확한 등산로의 난이도를 측정하기 위해 더 많은 횡수의 현장 조사가 필요할 것이며, 본 팀이 새롭게 지정한 지점이 등산로로 연결되는 현실성을 검증해야 할 필요성이 있다.

초음파 퇴치기는 인간에게 피해를 주지 않으면서도 야생동물의 접근을 차단하고, 등산 시 발생할 수 있는 야생동물 피해를 줄일 수 있는 중요한 도구이다. 초음파 퇴치기기가 설치되는 지역의 안전성을 높이고, 환경적으로도 지속 가능한 방법으로 야생동물 관리가 가능해질 것이다. 본 연구는 초음파 퇴치기기를 설치하는 데 있어 필요한 안전 기준을 제시하며, 실용적인 측면에서도 기여할 수 있는 연구 결과를 제공한다. 이를 통해 초음파 퇴치기기를 사용하는 과정에서 인간의 건강을 보호하고, 야생동물 퇴치의 효과를 극대화할 수 있는 방법을 제시하였다.

참고문헌

문지혜, 위세영 & 유시환. (2018). 다익스트라^{*} 알고리즘. 최소검색비용 최적경로 탐색. 한국정보과학회 학술발표논문집, 323-325.

강창욱 & 이형욱. (2021). 현대 교통 상황에서 플로이드 알고리즘의 활용. 한국컴퓨터교육학회 학술발표대회논문집, 26권(1호), 145-148.

https://ohiking.today/mountain_course/map/8 - 북한산 상세 등고선

<https://map.naver.com/p/search/%EB%B6%81%ED%95%9C%EC%82%B0%20%EB%93%B1%EC%82%B0%EC%BD%94%EC%8A%A4?c=11.38,0,0,0,adh> - 북한산 등산코스,

지점

ACSM Metabolic Calculations Jim Ross ES , RCEP , Wake Forest University -

https://summitmd.com/pdf/pdf/090626_aps09_970.pdf

[https://www.knps.or.kr/front/portal/visit/visitCourseSubMain.do?parkId=121500&parkNav](https://www.knps.or.kr/front/portal/visit/visitCourseSubMain.do?parkId=121500&parkNavGb=guide&menuNo=7020092)

[Gb=guide&menuNo=7020092](https://www.knps.or.kr/front/portal/visit/visitCourseSubMain.do?parkId=121500&parkNavGb=guide&menuNo=7020092) - 국립공원공단 - 북한산 국립공원

멧돼지 청각 정보 :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037859559090063U>

초음파 : 한서대학교

<http://contents2.kocw.or.kr/KOCW/document/2016/hanseo/kimjeonggu/4.pdf>

85dB 설정 이유

[https://www.law.go.kr/LSW//lsSideInfoP.do?lsiSeq=263747&joNo=0512&joBrNo=00&doc](https://www.law.go.kr/LSW//lsSideInfoP.do?lsiSeq=263747&joNo=0512&joBrNo=00&docCls=jo&urlMode=lsScJoRltInfoR)

[Cls=jo&urlMode=lsScJoRltInfoR](https://www.law.go.kr/LSW//lsSideInfoP.do?lsiSeq=263747&joNo=0512&joBrNo=00&docCls=jo&urlMode=lsScJoRltInfoR)