

## Walking path design considering with Slope for Mountain Terrain Open space

Seul-ki Kang\*, Ju-won Lee\*

\*Engineer, Infra Technology R&D Center, Hanwha Systems, Pangyo, Korea

\*Senior Engineer, Infra Technology R&D Center, Hanwha Systems, Pangyo, Korea

### [Abstract]

Mountains area, especially walking in open space is important for special active field which is based on mountain terrain. Recent research on pedestrian-path includes elements about pedestrian and various environment by analyzing network, but it is mainly focusing on limited space except for data-poor terrain like a mountain terrain. This paper proposes an architecture to generate walking path considering the slope for mountain terrain open space through virtual network made of mesh. This architecture shows that it reflects real terrain more effective when measuring distance using slope and is possible to generate mountain walking path using open space unlike other existing services, and is verified through the test. The proposed architecture is expected to utilize for pedestrian-path generation way considering mountain terrain open space in case of distress, mountain rescue and tactical training and so on.

▶ **Key words:** Walking path, Open space, Mountain Terrain, Pedestrian, Slope

### [요 약]

산악지대, 특히 오픈스페이스에서의 보행은 산악지형을 기반으로 이루어지는 특수 활동영역에서 중요하다. 그러나 최근의 보행 경로 연구는 보행자와 환경 요소를 포괄적으로 네트워크 분석에 포함시키지만, 주로 한정된 공간을 대상으로 하며 산악지형 등, 데이터가 부족한 지형은 분석 대상에서 제외된다. 본 논문에서는 산악지형의 오픈스페이스에서 그물망 기반의 가상 보행 네트워크를 만들며, 경사도를 반영한 산악 보행 경로 생성 방법을 제안한다. 이 방법은 거리측정에 경사도를 고려하여 실제 지형을 더 잘 반영하며, 기존 경로 분석 서비스에서 제공하지 않는 오픈스페이스를 이용한 산악 보행 경로를 제시하고, 시험을 통해 이를 입증하였다. 본 논문의 설계 방법은 조난, 산악구조, 전술 훈련 등에서 산악지형의 오픈스페이스를 포함한 경로 생성 방법으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

▶ **주제어:** 보행 경로, 오픈스페이스, 산악지형, 보행자, 경사

- 
- First Author: Seul-ki Kang, Corresponding Author: Ju-won Lee
  - \*Seul-ki Kang (seul04@hanwha.com), Infra Technology R&D Center, Hanwha Systems
  - \*Ju-won Lee (juwon2015.lee@hanwha.com), Infra Technology R&D Center, Hanwha Systems
  - Received: 2023. 08. 29, Revised: 2023. 10. 13, Accepted: 2023. 10. 13.

## I. Introduction

최단 경로 탐색은 복잡한 네트워크에서 최소 비용으로 목적지까지 빠르게 도달하기 위한 경로를 찾는다. 운송, 도시 계획, 인공지능, 네트워크 라우팅 등 다양한 분야에서 효율적인 작업을 위해 최단 경로 탐색을 사용하고 있으며[1] 일상생활에서는 익숙하지 않은 지역에 대한 목적지 안내 서비스에 많이 사용하고 있다.

목적지 안내를 위한 경로 탐색은 이동 경로 최적화를 위해 네트워크 차원의 분석이 필요하다. 차량용 네비게이션은 교통량, 신호 대기 등 환경 요소를 분석하여 경로를 제공한다. 반면 초기의 보행용 경로 탐색은 차량용 도로에 한정하여 연구되었기 때문에 실제 보행 가능한 경로와 이질적인 부분이 존재했다. 최근 연구들은 이러한 문제를 해결하기 위해 인도, 계단, 육교, 에스컬레이터, 경사도, 오픈스페이스 등, 실제 보행자 중심의 환경 요소를 포함한 네트워크 분석으로 이동 경로를 최적화하는 연구가 진행 중이다[2,3].

현재 보행 네트워크 분석, 경로 생성에 대한 연구 및 상용 서비스는 일반적인 보행자 중심의 주로 도심 위주로 진행되며[4-6] 산간 지역에서는 경로와 관련된 서비스를 제공받기 어렵다. 그러나 산악지형에서의 조난, 산악구조, 전술 훈련 및 작전 등의 특수 보행 활동을 위해서는 오픈스페이스를 포함한 산악지대 전역을 대상으로 공간 분석 및 경로 생성 연구가 필수적이다.[7-10].

따라서 본 논문에서는 산악지형 오픈스페이스의 수치표고모델 정보를 활용하여 가상의 보행 네트워크를 구성하고, 이 네트워크를 통해 경사각을 분석하여 보행 난이도를 감소시키는 경로 생성 방법을 제시한다. 또, 생성 경로의 거리와 평균 경사도를 분석하고, 기존 보행 경로 안내 서비스와 비교하여, 제안하는 방법의 타당성을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 최단 거리 알고리즘 선정 배경, 3차원 그물망 모델링 기법, 들로네 삼각 분할, 관련 연구에 대한 설명을 언급하였으며, 3절에서는 가상 보행 네트워크 구축 및 샘플링을 활용한 경로 생성 방법에 대해 설명하였다. 4절에서는 생성한 경로의 거리 및 평균 경사를 분석하고, 다양한 보행 난이도 설정으로 생성되는 경로의 특징을 확인하였다. 또한, 기존의 타 보행 경로 안내 서비스와 경로 비교를 하면서 설계법에 대한 실현 가능성을 입증하였다. 5장에서는 결론과 향후 연구 방향성을 제시하면서 논문을 마무리한다.

## II. Preliminaries

### 1. Selection Background of Shortest Path Algorithm

최적 경로 탐색을 위한 알고리즘 연구는 다양한 목적을 기반으로 현재 활발히 수행되고 있으며, 최단 경로를 탐색하기 위해 대표적으로 많이 사용되는 알고리즘은 다익스트라 알고리즘(Dijkstra Algorithm), A\* 알고리즘(A star Algorithm)이다. 다익스트라 알고리즘의 경우 출발지에서 도착지까지의 모든 경로에 대해 weight 기반으로 탐색하기 때문에 모든 가능성을 고려할 수 있으나, 연산 시간 소요가 비교적 크다는 단점이 있다. 반면 A\* 알고리즘은 휴리스틱 접근법을 사용하여 탐색 범위를 줄일 수 있어 연산 시간 소요의 장점은 있으나 탐색의 결과가 최단 경로임을 보장할 수 없다[11,12]. 본 연구에서는 설계법의 유효성 검증을 위해서 연산 시간보다는 보장된 경로 기준이 필요하므로 다익스트라 알고리즘을 경로 탐색의 알고리즘으로 선정하였다.

### 2. 3D Mesh Modeling

입체적인 대상을 분석 및 모사하기 위해 그물망 구조를 이용하여 모델링하는 기법은 컴퓨터 그래픽 분야 외에도 새로운 지형에 대한 경로 탐색 연구를 위해 로보틱스 및 우주 탐사 분야에서도 사용되는 방식이다[13]. 그물망 모델링은 다양한 폴리곤 격자를 이용하여 3차원 대상의 표면을 모사하게 된다. 폴리곤의 크기가 작을수록 모델의 표면이 매끄러워져 대상의 분석 및 모사의 정확도가 향상되지만 메모리나 연산 속도 측면의 부담으로 입체 표면의 특징을 유지할 수 있는 수준의 적절한 폴리곤 형태와 밀도를 고려해야 한다[14]. 따라서 적용하는 도메인의 특성에 따라 폴리곤 밀도와 형태 선정 시, 정확도 및 리소스에 대한 트레이드오프(Trade off) 시험이 필요할 수 있다.

### 3. Delaunay Triangulation

들로네 삼각 분할(Delaunay Triangulation)은 평면 위의 점 집합 안에서 내각의 합이 최대가 되도록 하여 최대한 정삼각형에 가까운 삼각형을 만드는 공간 분할 방법이다. 세 꼭짓점 외 집합 내 다른 어떤 점도 만들어진 삼각형 외접원 내부에 위치하지 않도록 하는 특징이 있다. 들로네 삼각 분할은 평면이 아닌 3차원 이상의 다차원까지 쉽게 확장할 수 있으며, 분할 완료된 결과물은 경로 계획, 삼각 그물망 생성, 지형 복원 등에도 사용된다. 제약 들로네 삼각 분할(CDT : Constrained Delaunay Triangulation)

은 들로네 삼각 분할과 기본적으로 같지만, 제약 조건을 통하여 경계를 지나지 않는 삼각형을 생성하도록 하는 차이점이 있다[15-18].

**4. Related Work**

자유로운 이동에 제한이 있는 차량과 달리 보행자는 인 도나 도로뿐만 아니라 걸을 수 있는 모든 공간을 활용하여 통행할 수 있다. 이러한 보행 관련 특성을 반영할 수 있도록 2차원 기반의 제약 들로네 삼각 분할 기법(CDT : Constrained Delaunay Triangulation)을 활용하여 도심 부 오픈스페이스를 활용한 경로를 생성하는 방법에 대한 연구가 진행되었다. 해당 연구에서는 CDT를 이용하여 보행이 가능한 모든 공간에 대하여 가상의 통로 및 경로 생성법을 언급하였고, 이는 오픈스페이스가 보행자 경로에 포함될 수 있는 기초가 되었다[19].

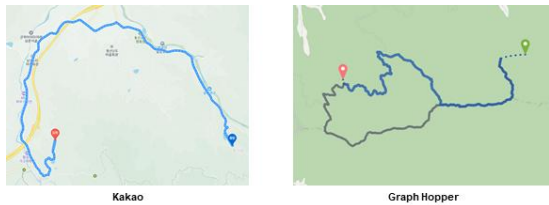


Fig. 1. Path for Mountain Terrain Area in Existing Services

기존의 경로 안내 서비스 Google, Naver, Kakao, Graph Hopper 중, 2개의 서비스(Google, Naver)는 산악 지형을 기반으로 한 특정 지역의 보행 경로 탐색 시, 경로 생성이 불가능했다. 동일 지역에 대한 다른 2개 서비스의 결과는 Fig.1과 같았다. 경로 결과는 서로 달랐으나, 두 서비스 모두 기존의 존재하는 데이터만을 활용하기 때문에 오픈스페이스를 활용한 경로는 생성할 수 없었다.

본 연구에서는 위와 같은 한계를 극복하기 위해 산악지형의 오픈스페이스를 포함하여 탐색 구간 전체 공간이 보행 가능 경로가 되도록 3D 그물망 모델링의 폴리곤을 들로네 삼각 분할(Delaunay Triangulation)을 활용하여 생성하였다. 이를 기반으로 경사각에 따른 보행의 난이도까지 네트워크 분석에 반영하고자 한다.

**III. MTOP(Mountain Terrain Open space Path)**

본 논문에서는 산악지형 오픈스페이스 환경에서 실제 보행자의 보행 경로에 가까우면서도, 보행 난이도를 개선

할 수 있는 보행 경로를 생성하도록 다음과 같은 설계를 제안한다.

**1. Virtual Network Generation**

산악지형 오픈스페이스는 지표면에 굴곡 변화가 많기 때문에 최적 경로 생성을 위해서는 지형 정보를 충분히 반영할 수 있는 네트워크를 생성하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 수치표고모델 이미지에서 각 픽셀 위치에 포함된 RGB 값을 지형의 높이로 변환하고, 변환된 높이 정보에 기반하여 들로네 삼각 분할을 이용한 3차원 기반의 가상 보행 네트워크를 생성한다. 보행 네트워크의 밀도는 그물망을 이루는 각 삼각형의 무게 중심 높이를 이용하여 제어한다. 각 삼각형의 꼭짓점을 이용하여 추정된 무게 중심점의 높이가 실제 지형의 높이와 비교하여 그 최대 오차가 설정값 이내가 될 때까지 삼각 분할을 수행한다.

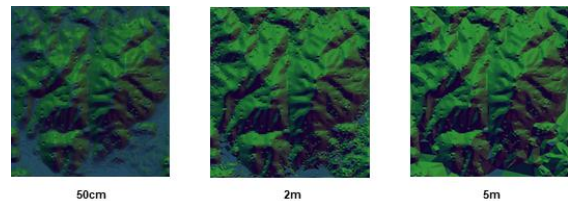


Fig. 2. Generation Virtual Network Result with Various Height Difference

Fig.2는 다양한 높이 오차 설정에 따른 네트워크 구축 결과로, 오차를 작게 할수록 굴곡의 정보가 뚜렷해짐을 알 수 있다. 3차원 기반의 가상 보행 네트워크는 고도 정보를 포함하여 네트워크를 생성하기 때문에 폴리곤 밀도를 높일수록 예상 보행 거리 산정에 정확도를 높일 수 있는 이점이 있다. 따라서 본 논문에서는 분석 결과의 정확도를 위해 가상 보행 네트워크 구축 시 최대 높이 오차를 50cm 이내로 설정하였다.

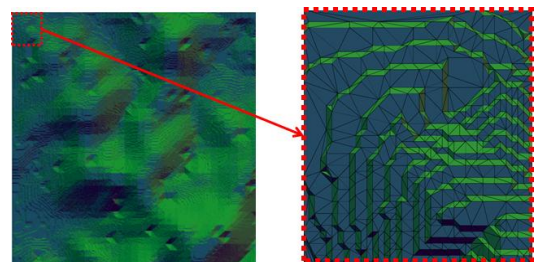


Fig. 3. Triangulation Mesh Result

Fig.3의 왼쪽 이미지는 Fig.2의 최대 높이 오차 50cm로 생성한 가상 네트워크의 일부이며, 오른쪽 이미지는 왼

쪽 네트워크의 적색 박스를 15배 확대했을 때의 모습이다. 각 이미지를 통해 생성한 가상 보행 네트워크가 지형 정보를 잘 포함하고 있음을 확인할 수 있다.

## 2. MTOP Generation

일반적으로 서로 다른 두 지점을 이동하기 위한 최적의 경로는 최단 경로를 의미한다. 그러나 지형의 굴곡이 심한 산악지형의 오픈스페이스에서는 최단 거리만을 기준으로 생성한 경로를 최적의 보행 경로라고 할 수 없다. 예를 들어 최단 경로 중 경사 각도가 45도 이상인 구간은 보행자가 보행할 수 없는 경로이기 때문에 경로 생성 시 제거되어야 하는 요소이다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 앞서 생성한 가상 네트워크를 기반으로 보행 경로의 경사각을 고려한 경로 생성 방안을 제시한다.

### 2.1 Walk Difficulty Weight

생성한 가상 보행 네트워크에 경사도를 반영하기 위해서 보행성 가중치 파라미터를 이용하여 아래와 같은 식으로 가상 네트워크 전체의 보행 난이도를 설정한다.

$$W_{ij} = d_{ij} \times w_{ij} (w \geq 1) \quad (1)$$

식 1에서  $d_{ij}$ 는 i에서 j로 가는 경로의 이동 거리를 의미한다.  $w_{ij}$ 는 동일 경로의 보행성 가중치를 의미하며,  $W_{ij}$ 는 두 변수를 이용하여 설정한 경로의 최종 보행 난이도를 의미한다. 보행성 가중치는 경사도나 폭, 날씨와 같은 물리적인 환경 요소와 연령, 성별, 복장 등 보행자 특성과 관련된 요소들[20]을 복합적으로 고려하여 환경에 따라 변화하는 보행 난이도를 경로 네트워크 분석에 반영할 수 있다. 본 논문에서는 경사각을 보행성 가중치의 기준으로 설정하여 경사각에 따른 보행 난이도를 경로 네트워크 분석에 활용한다.

### 2.2 Point Correction

가상 네트워크는 픽셀 좌표를 기반으로 이루어진 폴리곤 형태의 그물망이기 때문에 실제 경위도로 표현할 수 있는 모든 점 좌표들이 가상 네트워크의 노드로 표현되지 않을 수 있다. 따라서 지정하는 출발지나 목적지가 가상 네트워크의 노드와 1:1 매칭이 되지 않는 상황(A)이 발생하여 경로 생성에 어려움이 있을 수 있다. 이 경우 Fig.4와 같이 출발지나 목적지와 거리상 가장 근접한 노드(A')를 찾은 후 해당 노드를 이용하여 경로를 생성하도록 설정한다.

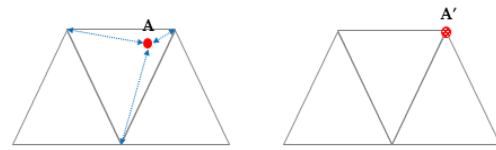


Fig. 4. Point Correction

### 2.3 Sampling Path for Streamline

보행성 가중치  $w$ 를 기준으로 생성된 가상 보행 네트워크에 다익스트라 알고리즘 연산을 적용하여 출발 노드와 도착 노드에 대한 초기 최단 경로를 생성한다. 생성된 초기 경로는 삼각 그물망 네트워크 특성에 의해 불필요한 경우 노드가 존재할 수 있다. 따라서 초기 경로는 실제 보행자의 보행에 가까운 경로가 아닐 수 있다.

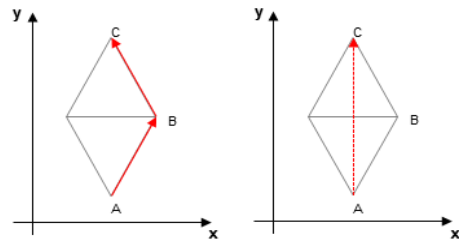


Fig. 5. Streamline for Smooth Path

실제 보행자의 보행에 가까운 경로를 생성하기 위해서는 Fig.5와 같이 초기 산출 경로의 노드 간소화를 통해 불필요한 경우 노드를 제거할 할 필요가 있다.

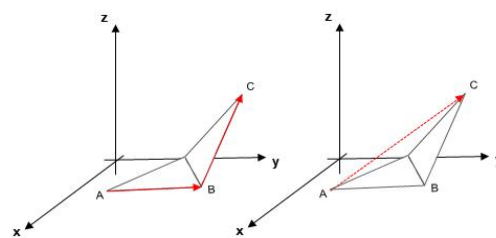


Fig. 6. Problem of Streamline in 3D

그러나 평면이 아닌 입체성을 고려했을 때, 모든 노드 간소화를 Fig.5처럼 진행된다면 Fig.6과 같이 경로에 포함된 지형의 굴곡을 훼손하고, 이는 예측 보행 거리 연산 오차에 직접적인 영향을 준다. 이와 같은 이유로 지형 곡률을 보존할 수 있도록 샘플링을 통해 적절한 노드를 추출해야만 실제 보행자의 보행에 가까운 경로를 생성하면서도 정확도 높은 보행 거리를 유추할 수 있다.

본 논문에서는 노드 중 인접 노드 지형과 곡률이 유사한 노드를 노이즈 노드, 곡률의 차가 큰 노드를 프라임 노드

라 명명한다. 노이즈 노드는 최대한 제거할수록 실제 보행자의 보행에 가까운 경로를 생성할 수 있으며, 경로의 지형 곡률을 유지할 수 있는 프라임 노드를 최대한 식별해야 정확한 예측 보행 거리 연산이 가능하다. 따라서 본 논문에서는 아래와 같은 샘플링 알고리즘을 제시한다.

### Algorithm Sampling Path

#### Input :

A original path  $P_{op}$  is the set of all nodes  $N_{op}$  which is included Source Node is  $n_s$ , Target Node  $n_t$ .

#### Output :

Sampling finished path  $P_{sfp}$ .

#### 1: Initialize

Prime Node  $n_p = n_s$ , Visited Node  $n_v = n_s$ ,

$P_{sfp} = \{n_p\}$ , Previous Slope  $PS = Slope(n_s, n_s + 1)$  ( $n_s + 1$  is next node of  $n_s$  and  $n_s + 1 \in N_{op}$ )

#### 2: Make interval path list $P_{ip}$ which was sliced from original path

#### 3: Compute average slope $AS$ of $P_{ip}$ .

#### 4: Sampling Path with **Detection Prime Node**

#### Algorithm.

#### 5: Repeat the step2 – step4 until the last node of $P_{ip}$ is same with $n_t$

샘플링 알고리즘은 초기 최단 경로를 이용하여 구간 경로를 생성한 후, 각 구간 별 평균 경사 대비 지형 특성이 두드러진 프라임 노드를 추출한다. 아래와 같이 프라임 노드 추출 알고리즘은 구간에 포함되는 각 경유 노드 사이의 경사각 유사성 분석을 통해 해당 노드가 지형 정보에 미치는 영향을 판별하여 프라임 노드를 식별한다.

### Algorithm Detection Prime Node

if  $|AS| > 1$  then

For each  $n$  in  $P_{ip}$

$S \leftarrow Slope(n, n_v)$

if  $(PS * S \neq 0) \&\&$

$(||AS| - |S|| > 1 \parallel (PS * S) < 0)$  then

$n_p = n$ ,

$P_{sfp}.push(n_p)$

$n_v = n, PS = S$

if ( $n$  is last node of  $P_{op}$ )

$n_p = n$

$P_{sfp}.push(n_p)$

$$0^\circ < \theta < 1^\circ \Rightarrow 1 < \cos\theta < 0.999847 \dots \quad (2)$$

따라서 해당 구간 내에 포함된 경유 노드들의 지형 정보는 큰 의미가 없으므로 모두 노이즈 노드로 간주한다. 반면 평균 경사(AS)가 1도보다 큰 경우는 지형 정보를 유지할 수 있는 프라임 노드를 선별해야 한다. 먼저, 구간 내 평지가 있는 경우, 평지에 포함된 노드를 노이즈 노드로 처리한다. 그 외 지형은 평균 경사와 경유 노드들의 경사 사잇각을 비교하여 그 각도가 1도 이상인 경우, 지형 정보 유지를 위해 프라임 노드로 처리한다. 또한, 경사의 부호 변화를 확인하여 지형의 굴곡이 변경된 경우에도 해당 정보를 유지할 수 있도록 프라임 노드로 식별한다. 샘플링이 완료된 경로의 예시는 Fig.7과 같다.

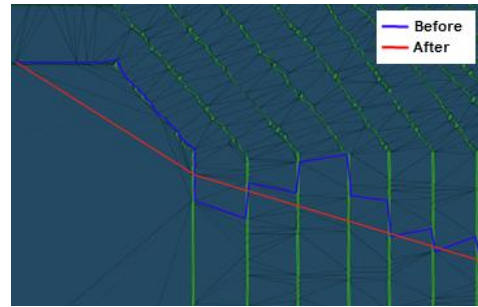


Fig. 7. Result of Sampling path

## IV. Simulation and Result

본 논문 알고리즘의 경로 생성 결과를 분석하기 위해 국토정보플랫폼 사이트에서 제공하는 수치표고모델 이미지를 활용하여 시험 지역의 가상 보행 네트워크를 생성하였으며, 최대 높이 오차는 50cm 이내로 설정하였다.

### 1. Distance Validation

본 논문에서 제안하는 MTOPO 기반의 지형 정보 반영 예측 이동 거리 연산 정확도를 검증하기 위해 Fig.8과 같이 다양한 지형적 특성을 가진 3 지역을 선정하였다.

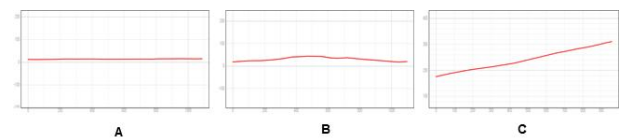


Fig. 8. Test Set for Validation

구간의 평균 경사각이 1도 이하인 지역은 식 2에 의거하여 평지에 가까운 지형으로 취급할 수 있다.

위 3 지역에 대하여 공간 지각 데이터 분석 기능을 제공하는 QGIS[21]를 통해 예측 거리 결과를 비교 및 확인하였

다. 각각의 예측 보행 거리 비교 결과는 Table 1과 같았다.

Table 1. Algorithm Compatibility Validation

Area	2D Euclid Analysis	QGIS Analysis	MTOP Analysis
A	≒ 863m	≒ 863m	≒ 863m
B	≒ 871m	≒ 874m	≒ 873m
C	≒ 759m	≒ 771m	≒ 771m

QGIS 분석 도구를 이용한 결과는 각 지역을 균등한 거리로 나누어 획득한 구간 거리 및 높이 정보를 이용하여 측정된 유클리드 거리의 합산이다. 이와 비교해 MTOP을 기반으로 산출한 거리는 1% 이내의 오차율로 비교적 높은 정확도를 가지는 것을 알 수 있다. 이는 MTOP가 2차원 기반의 유클리드 거리 연산 한계를 극복하고, 지형 정보를 충분히 반영하여 프라임 노드를 샘플링 할 수 있음을 의미한다.

## 2. Path Analysis with Slope

본 논문에서 제안하는 MTOP 기반의 경사각 반영 경로 생성 결과를 확인하기 위하여 관악산 일부 지역을 선정하였다. 시험 지역의 상세 정보는 Table 2와 같다.

Table 2. Test Area Information

Area	Source	Target
1	37.47123, 126.97749	37.44013, 126.96383

Hudson 경사 등급 분류[22]에 따라 보행 제한 경사각 (Max Slope)을 각각 5도, 10도, 15도, 20도로 지정하였을 때, Area 1에 대하여 생성되는 경로의 거리 및 경사 각도를 비교 분석하였다. Max Slope에 따른 보행성 가중치  $w$ 의 설정값은 Table 3과 같이 지정한 후 시험을 진행하였다.

Table 3.  $w$  for Slope Environment Variable

	Slope	$w$
A	$0 \leq \text{slope} < 5$	1
B	$5 \leq \text{slope} < 10$	1.5 ~ 2
C	$10 \leq \text{slope} < 15$	2 ~ 2.5
D	$15 \leq \text{slope} < 20$	2.5 ~ 3
E	$\text{slope} \geq 20$	$\infty$
-	$\text{slope} > \text{Max Slope}$	$\infty$

보행 제한 경사각을 5도로 지정하였을 때는, 조건을 만족하는 경로 생성이 불가능하였다. 그 외의 보행 제한 경사에 따른 경로 생성의 결과는 Fig.9와 같았다.

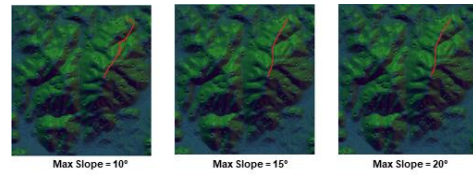


Fig. 9. Path Generation Result

Fig.10은 각 경로의 이동 거리에 대한 상세 내용으로 보행 제한 경사각을 10도로 지정하였을 때 이동 거리가 가장 길게 나왔다. 이는 보행 제한 경사각이 작을수록 조건을 만족하기 위해 둘러 가는 길을 생성했음을 의미한다.

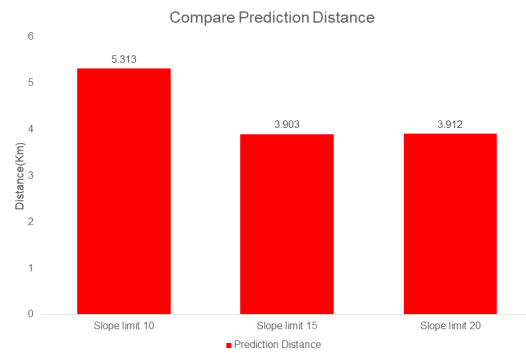


Fig. 10. Compare Prediction Distance of Path

보행 제한 경사각이 15인 경우는 20일 때보다 오히려 보행 거리가 약 9m 짧게 나왔다. 이 같은 경우는 경로의 샘플링으로 인해 발현된 결과라고 할 수 있다.

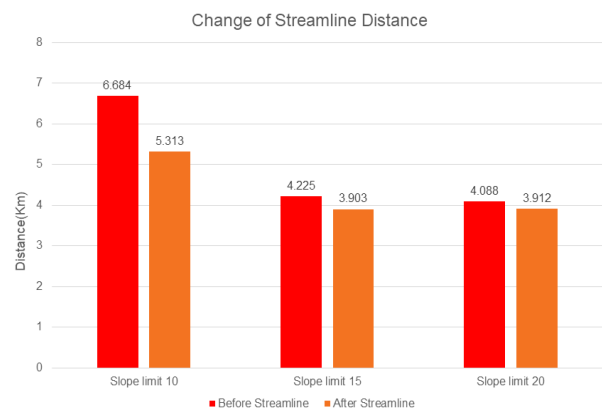


Fig. 11. Change of Streamline Distance

Fig.11과 같이 샘플링 전, 초기 생성된 경로를 보면 제한 보행 경사각이 클수록 보행 거리가 짧은 것을 알 수 있다. 샘플링 후에는 경사각이 15도일 때 보행 거리가 가장 짧아진 것을 확인할 수 있다. 이는 보행 제한 경사가 20도일 때 생성된 초기 경로에 굴곡 변화가 많은 지역이 포함



되었고, 이로 인해 샘플링 시, 추출된 프라임 노드가 많았음을 의미한다.

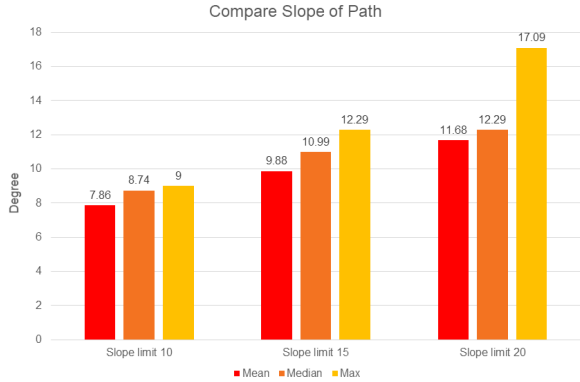


Fig. 12. Compare Slope of Path

Fig.12를 통해 경로의 경사각을 상세 분석해보면 생성된 경로에 포함된 경사각은 모두 보행 제한 경사각을 넘지 않았다. 보행 제한 경사각이 10도일 때 경로의 평균 경사각이 가장 작게 나왔으며 보행 제한 경사각을 크게 할수록 경로의 평균 경사가 커짐을 확인할 수 있다. 이에 따라 생성되는 보행 경로는 보행 제한 경사 조건을 충분히 반영하고 있음을 알 수 있다.

추가로 보행 난이도에 따라 생성되는 경로 결과를 확인하기 위하여 0.5 단위로 보행성 가중치  $w$ 를 증가시켜 비교 시험을 진행하였다.  $w$ 값이 커질수록 경사각에 따른 보행의 난이도는 증가함을 의미한다. 예를 들어, 보행자의 연령이 높을수록 경사각에 의한 보행 난이도는 증가할 수 있다. 이 경우,  $w$ 값을 증가시켜 경사각이 커질수록 보행 난이도를 극대화하여 경사각이 낮은 지점으로 경로를 생성할 수 있도록 유도한다.

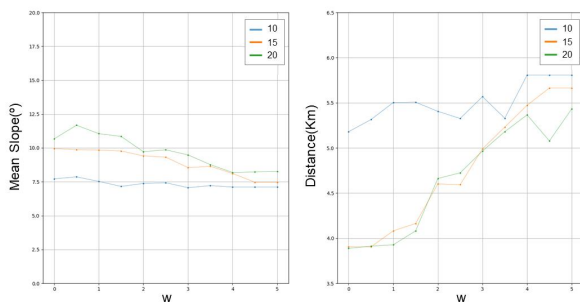


Fig. 13. Various Test with Weight

실제 Fig.13의 결과를 바탕으로,  $w$ 값이 증가할수록 같은 보행 제한 경사 조건이라도 더 낮은 평균 경사를 가지는 경로를 생성하고, 보행 거리는 증가하는 경향을 보였다.

### 3. Compare Path Result

본 논문에서는 기존의 타 도보 경로 안내 서비스와 경로 생성 결과를 대조 확인하기 위하여 추가 시험을 진행하였다. 시험 지역은 Table 1을 포함한 산악지형 3곳을 설정하였다. 추가 경로 생성 지역에 대한 출발, 도착 지점에 대한 상세 정보는 Table 4와 같다.

Table 4. Test Area Information

Area	Source	Target
2	36.022085, 128.684644	36.01815, 128.649087
3	38.2095729, 128.4498944	38.1643658, 128.4402754

MTOP 기반의 경로는 보행 제한 경사각을 20도로 설정하였으며, Max Slope에 따른 보행성 가중치  $w$ 의 설정값은 Table 3과 같이 지정한 후 시험을 진행하였다.

해당 지역에 대해 기존의 타 도보 경로 안내 서비스 4개의 최단 거리 경로 안내 결과와 MTOP 기반의 경로 생성 결과는 아래 Table 5와 같다.

Table 5. Compare Path result with Other Services

Area	Naver/Google	Kakao	Graph Hopper	MTOP
1	-			
2	-			
3	-			

해당 지역에 대해 Naver와 Google은 보행 경로가 존재하지 않았다. Kakao나 Graph Hopper의 경우 외곽의 보도, 등산로만을 보행 경로로 식별하여 경로를 생성하였다. 이와 달리, MTOP 기반의 신규 경로들은 탐색 구간을 오픈스페이스를 포함한 산악지대 전체 공간을 활용하여 보행 경로를 생성하고 있음을 알 수 있다.

## V. Conclusions

본 논문에서는 특수 보행 활동을 위해 오픈스페이스를 포함한 산악지대 전체를 이용하는 공간 분석 및 경로 생성

연구를 진행하였다. 이를 위해 첫째, 수치표고모델 이미지를 기반으로 DT를 이용하여 산악지형 탐색 구간 전체에 가상 보행 네트워크를 구축하였다. 둘째, 생성된 가상 보행 네트워크에 보행 난이도 가중치를 적용하여 보행 제한 경사각을 반영한 경로를 생성하였다. 셋째, 생성한 경로의 샘플링을 통해, 보행 경사각을 고려한 실제 보행자의 이동 경로에 가까운 경로를 생성 방법을 제시하였다.

이와 같은 연구는 경사도를 거리에 반영함으로써, 경로 측정 성능이 2차원 기반의 유클리드 거리 측정보다 정확도가 향상되었다. 보행 제한 경사 시험을 통하여 보행 제한 경사각이 작을수록 둘러 가는 길을 생성하고 경로의 평균 경사가 작음을 검증했다. 또한, 보행 난이도 가중치 설정을 통해 다양한 환경적 요소와 경사도를 복합 고려한 경로 설계가 가능함도 확인했다.

특히, 본 논문의 설계 방법은 기존 경로 탐색 서비스와 달리, 산악지대에서 오픈스페이스를 활용한 모든 공간을 이동 경로로 산정하기 때문에 기존의 보행 경로 안내 서비스의 한계점을 극복할 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안한 경로 생성 설계 기법은 산악지대 전역을 대상으로 하는 특수 보행 활동을 위한 하나의 방법으로 활용될 수 있을 것으로 판단한다. 본 논문의 설계 방법은 수치표고모델의 정밀도와 밀접한 관계가 있다. 네트워크 생성에 기반이 되는 수치표고모델의 고도 데이터가 부정확할 경우 네트워크 분석 및 경로 생성에 오차가 발생할 여지가 있다. 따라서 추후 연구에는 추가 데이터를 병합하여 보행 경로의 신뢰성 및 안정성을 높이는 방법 및 생성 경로의 최적화 방법에 대해 연구 진행할 계획이다.

## REFERENCES

- [1] JunIk Hwang, SeongHo Son, JiWoong Son, NeungSoo Park., "Accelerating Shortest Path Algorithm on GPU.," Proceedings of the KIISE Conference, pp. 1502-1504, 2018.
- [2] Nam, Dae-Sik, Sin, Seong-Il, LEE, Shin-Hae, "A study on the Pedestrian Network Design for Network Analysis considering Walker's Preferences," Proceedings of the 69<sup>th</sup> KOR-KST Conference, pp. 565-570, 2013.
- [3] Ga, Chill O, Lee, Won Hee, Yu, Ki Yun, "Study on the Method to Create a Pedestrian Network and Path using Navigation Data for Vehicles," Journal of Korean Society for Geospatial Information Science, Vol 19, No. 3, pp. 67-74, 2011.
- [4] Seok, Soo-Jin, Kim, Seung-Hoy, "A Study on the Connectivity of City Center Open Space for Activating Pedestrian Network - Focused on the Mugyo · Dadong District -," Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol 39, No. 1, pp. 193-204, 2023.
- [5] Sungwoo Jeon, Bokseon Kang, Youngha Park, Heo-kyung Jung, "Pedestrian path search based on the shortest distance algorithm using Map API," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vik 27, No. 1, pp. 117-123, 2023.
- [6] Woon Sagong, "Design and Implementation of Optimized Route Search Technique based on User Experience Using Open APIs," Journal of Korea Multimedia Society, Vol 18, No. 5, pp.682-690, 2015.
- [7] Choi Myoungjin, & Joo Eunsik, "A Study on Tank Military Strength Organization and Development Plans Suitable for Future Battlefield Environments," The Journal of Strategic Studies, Vol 28 No. 3, pp. 295-345, 2021. DOI : 10.46226/jss.2021.11.28.3.295.
- [8] SungHak Chung, "A study of the Infantry Backpack System for Portability and Mobility Performance," Journal of the Korea Society of Computer and Information , Vol 19 No. 3, pp. 155-161, 2014.
- [9] Kwak, Hwy-Kuen, & Kim, Hyoung-Jun, "Threat Map Generation Scheme based on Neural Network for Robot Path Planning," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol 15, No. 7, pp. 4482-4488, 2014.
- [10] Sim Kyu Won, & Lee Ju Hee, "Developing the Mountain Search and Rescue System for National Parks based on Ubiquitous Sensor Network," Journal of the Korean Institute of Forest Recreation, Vol 10, No. 3, pp. 47-53, 2006.
- [11] Jihye Mun, Saeyoung Wi, Seehwan Yoo, "Dijkstra\* Algorithm: Minimum Search Cost Optimal Path Exploration," Proceedings of the KIISE Conference, pp. 323-325, 2018.
- [12] Lee, Changgyu, Kim, Minjun, Jun, Kyuhui, Choi, Jinmu, "A Study on the Comparison of Shortest Path Algorithms by the Size of the Region," Journal of The Korean Association of Regional Geographers, Vol 27, No. 3, pp. 412-421, 2021.
- [13] Fink, W., Baker, V. R., Brooks, A. J. W., Flammia, M., Dohm, J. M., & Tarbell, M. A., "Globally optimal rover traverse planning in 3D using Dijkstra's algorithm for multi-objective deployment scenarios," Journal of Planetary and Space Science, Vol 179, Dec, 2019. DOI: 10.1016/j.pss.2019.104707.
- [14] Krishnamurthy, V., & Levoy, M., "Fitting smooth surfaces to dense polygon meshes," Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 313-324, Aug, 1996.
- [15] Cho, Sunghwan, "Detecting Uncertain Boundary Algorithm using Constrained Delaunay Triangulation," Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol 32, No. 2, pp. 87-93, 2014.
- [16] YoungChan Shin, Donghui Kim, Seong Hyeok Moon, & Jong-Hyun Kim, "Delaunay Triangulation Construction Technique in Emergency Situations using Terrain API and



- Traffic Information," Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference, Vol 29, No. 2, pp. 605-607, 2021
- [17] Su, T., Wang, W., Liu, H., Liu, Z., Li, X., Jia, Z., ... & Cui, A, "An adaptive and rapid 3D Delaunay triangulation for randomly distributed point cloud data," Journal of the Visual Computer, Vol 38, No. 1, pp. 197-221, 2022.
- [18] Anderson, J. D., Raettig, R. M., Larson, J., Nykl, S. L., Taylor, C. N., & Wischgoll, T, "Delaunay walk for fast nearest neighbor: accelerating correspondence matching for ICP," Journal of Machine Vision and Applications, Vol 33, No. 2, pp. 31, 2022..
- [19] Chillo Ga, Ho-Seok Woo, Ki-yun Yu., "Path-planning Method for Pedestrians Using Triangulation-based Decomposition Technique(focused on Open space)," Proceedings of Korean Society for Geospatial Information Science., pp. 3-4, 2010.
- [20] HAN, Myungjoo, JUNG, Dongjae, LEE, Young-Ihn, SHIN, Seongil., "Analysis of Affecting Factors to Velocity Changes of Pedestrian," Journal of Korean Society of Transportation, pp. 360-370, 2018.
- [21] Congedo, L., "Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS," Journal of Open Source Software, Vol 6, 2021. DOI:10.21105/joss.03172.
- [22] Eun Su Seo, Se Hyu Choi, "Slope Analysis and Classification of Hiking Trails Using GIS," Journal of Korea spatial information society, Vol 20, No. 1, pp. 1-7, 2012

## Authors



Seul-ki Kang received the B.S. degree in Computer Engineering from Kyungpook National University, Korea, in 2018. She is currently working in Hanwha Systems Co. from 2018.

She is interested in Infra Software, Map Engine and Geography data processing algorithm.



Ju-won Lee received the M.S degree in IT Convergence Department from Kumoh National Institute of Technology, Korea in 2016. He is currently working in Hanwha Systems Co. from 2015.

He is interested in Middleware, Map Engine and Real-time Software.