

# 공간데이터베이스와 유전자 알고리즘을 활용한 민방위대피소 수용 능력 분석 및 최적 위치 선정

유수홍\* · 배준수\*\* · 이지상\*\*\* · 손흥규\*\*\*\*

Yoo, Su Hong\*, Bae, Jun Su\*\*, Lee, Ji Sang\*\*\*, Sohn, Hong Gyoo\*\*\*\*

## Capacity Analysis of Civil Defense Shelter and Optimal Positioning Using Spatial-Database and Genetic Algorithm

### ABSTRACT

Currently, the establishment and management of civil defense shelters are under the initiative of the government and local governments to protect the lives of citizens. In the future, there is a need for efficient civil defense shelters operation through the expansion of general shelters, including designated dedicated shelters. Therefore, it is more efficient to consider the distribution of residents and the location of access to shelters, not the quantitative operation considering only the number of residents. This study uses genetic algorithms and Huff gravity model based on census output data, building data, and road network information to understand the distribution of inhabitants more precisely than existing administrative district data. In addition, the spatial- database was used for efficient data management and fast processing, and if this study is improved, it can be used as a basis for the selection and improvement of general shelters positioning for a wider area.

**Key words** : Shelter positioning, Huff gravity model, Genetic algorithm, Spatial-database

### 초 록

현재 시민의 생명을 보호하기 위한 목적으로 민방위대피소의 설치와 관리가 정부 및 지자체 주도하에 이뤄지고 있다. 향후에는 지정된 전용 대피소를 포함하여 일반 대피시설의 확장을 통한 효율적인 민방위 대피소 운영의 필요성이 제기되고 있다. 따라서, 대피소의 선정 시 수용인원만을 고려한 양적인 운영이 아닌 거주민의 분포 및 대피소의 접근 위치를 고려하는 것이 효율적이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 기존의 행정구역 데이터에 비해 세밀하게 거주민 분포를 파악할 수 있는 전수 집계구 데이터와 건물 데이터, 도로망 정보를 기반으로 유전자 알고리즘과 Huff 중력 모델을 활용하여 모든 거주민을 실질적으로 수용할 수 있는 민방위대피소를 선정하였다. 또한, 효율적인 데이터 관리와 빠른 처리를 위해 공간 데이터베이스를 활용하였으며, 본 연구 성과를 개량하면 시 단위의 광범위한 지역에 대해서도 일반 대피시설의 선정 및 개선 연구의 기반 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**검색어** : 대피소 선정, Huff 중력 모델, 유전자 알고리즘, 공간데이터베이스

\* 정희원 · 연세대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정 (Yonsei University · swennoir@yonsei.ac.kr)

\*\* 정희원 · 연세대학교 대학원 건설환경공학과 통합과정 (Yonsei University · junsu510@yonsei.ac.kr)

\*\*\* 연세대학교 대학원 건설환경공학과 통합과정 (Yonsei University · ontheground@yonsei.ac.kr)

\*\*\*\* 중신희원 · 교신저자 · 연세대학교 건설환경공학과 교수 (Corresponding Author · Yonsei University · sohn1@yonsei.ac.kr)

Received November 6, 2019/ revised November 13, 2019/ accepted November 14, 2019

## 1. 서론

민방위기본법 시행령 제2조의 1“민방위 비상대피시설 및 급수시설 등 국민의 생명을 보호하기 위한 시설의 설치 및 보수”에 의하면, 민방위사태 혹은 재난이 발생하였을 때를 대비하여, 시민의 안전을 보장하기 위해 정부는 재정이 부족한 지방자치단체를 지원하여서라도 민방위 비상대피시설을 설치하고 보수하도록 규정하고 있다. 대피소 선정과 관련된 선행연구는 특정 재난에 대비하기 위한 목적으로 수행된 것이 많았는데, 재난이 가진 특징이나 관련 규정 중 일부를 알고리즘화하여 신규 대피소의 위치를 제안하는 연구가 다수 있었다(Bae et al., 2019; Hu et al., 2014; Kim et al., 2016; Kongsomsaksakul et al., 2005). 하지만, 재난 상황에 따라 요구되는 재난 대피소의 기준과 민방위사태에 따라 요구되는 민방위 대피소 설치 기준에는 차이가 있으며, 자연 재난 대피소 선정과 관련된 연구에 비해 민방위대피소 위치 선정에 관한 연구는 미비하다.

민방위 주민대피시설 기준 개선에 관한 연구(Korea Research Institute for National Strategy, 2016)에 따르면, 접경지역 대피시설의 경우, 대피의 용이성, 수용인원, 한나절(10시간) 또는 하루 이상의 대피 또는 체류 여건이 되는 시설로 규정되어 있다. 국민재난 안전포털을 통해 확인 가능한 민방위대피소 중에서 일반 아파트나 공공시설이 민방위대피소로 포함된 사유이며, 이는 미국이나 스위스 등 해외와 마찬가지로 독립된 전용대피시설이 아닌 일반대피시설의 개념을 적용한 것이다. 전용대피시설의 설치에는 신규 부지 선정에서 관련 예산 배정까지 많은 시간과 노력이 요구되나, 아파트의 지하주차장이 민방위대피소로서의 요구사항을 만족하여 대피소로 지정할 경우, 유사시 해당 아파트의 거주자 및 주변 주민의 신속한 대피를 유도할 수 있어 오히려 현실성이 높아, 미래에는 합리적 기준 수립에 따른 일반대피시설의 선정 및 개선이 요구될 것으로 보인다.

정부 관계 부처에서 공개하고 있는 민방위대피소 내 일반대피시설의 개수나 면적 등 수치적인 정보만으로 판단하였을 때에는 충분히 모든 시민을 수용할 수 있을 것으로 판단할 수 있다. 그러나 거주민의 분포와 대피소의 위치 정보를 함께 고려하였을 때에는 수용 능력이 저하되는 경우가 존재한다(Choi and Joo, 2014; Yoo et al., 2018). 특히, 산지가 많은 우리나라 국토의 특성상, 시민의 이동에 제한이 많다는 환경적 요소도 존재하므로, 거주민의 규모와 위치 분포가 함께 고려되지 않은 대피소 선정 방법은 실질적으로 보면 그 효율성과 거리가 멀다고 할 수 있다.

이에, 본 연구에서는 최적화 알고리즘 중 하나인 유전자 알고리즘과 거주민의 분포를 더 세부적으로 파악할 수 있는 전수집계구 데이터를 활용하여 일반대피시설로 운용 가능한 신규 민방위대피소를 선정하였다. 유전자 알고리즘의 목적 함수로는 Huff의 중력

모델을 사용하였다. 이때 실제 도로 데이터를 이용한 최단 거리 계산을 신속히 처리하고, 기타 대용량 데이터들을 효율적으로 관리하고 사용하기 위해 공간데이터베이스 중 하나인 PostgresDB를 활용하여 유전자 알고리즘 수행에 입력되어야 할 파라미터 값, 대피소의 규모, 인구수, 최단 거리에 대한 수치를 가져올 수 있도록 구현하였다.

## 2. 접근성 분석 및 유전자 알고리즘을 이용한 민방위대피소 선정 방안

### 2.1 유전자 알고리즘을 이용한 민방위대피소 선정

최적의 민방위대피소를 선정하기 위해 본 연구에서 활용한 알고리즘은 유전자 알고리즘으로 다양한 최적화 알고리즘 중에서 대표적으로 활용되고 있는 알고리즘 중 하나이다. 유전자 알고리즘은 경험적 방법론 중 하나로, 효율적이고 높은 정확도의 답을 신속히 찾아낼 수 있다. 특히, 주어진 문제를 해결하는 방안이 명확하지 않은 경우에 대해서도 적절한 경험적 방법론을 구성하여 문제를 해결할 수 있다는 장점이 있다(Tong et al., 2009). Fig. 1은 본 연구에 적용한 유전자 알고리즘의 흐름도를 나타낸 것으로, 랜덤하게 선정된 부모로부터 선택(selection), 교차(crossover), 돌연변이(mutation) 과정을 거쳐 목적 함수에서 정한 특정 조건을 만족할 때까지 반복하는 구조로 구성되어 생명의 진화과정을 모방한 것이다.

실제, 유전자 알고리즘을 구현하기 위해서는 다양한 파라미터를 정의해야 한다. 예를 들어, 교배에 대한 방법론 설정, 교배 및

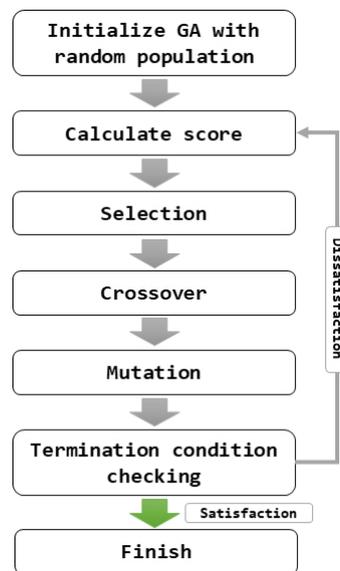


Fig. 1. Flowchart of Genetic Algorithm

돌연변이 발현 확률 설정, 부모 개체에서의 선정 개수 설정 등이 있으므로, 이를 결정하기 위해서는 다양한 실험을 수행해야 할 필요가 있다. 한편, Bae et al.(2019)과 Yoo et al.(2018)에 의하면 신규 대피소 선정에 있어 다양한 방법론을 적용하고 파라미터를 변경하며 대피소 선정에 높은 점수를 도출할 수 있는 방법론과 파라미터를 도출한 바 있으므로, 선행 연구의 결과를 본 연구에도 적용하였다. 선택의 경우, 우수한 개체를 보존하는 엘리트 보존 선택법과 확률에 기반을 두어 우수한 개체를 다음 세대로 보존시키는 룰렛 휠 선택법을 사용하였으며, 교차의 경우에는 사용자가 지정한 확률에 따라 두 개체를 임의로 선택하여 서로의 유전자 중 일부를 서로 교체하는 일점 교배 방법을 사용하였다. 돌연변이도 선행연구와 마찬가지로 사용자가 지정한 확률에 따라 한 지점의 유전자의 이진 정보를 변형하는 방법을 적용하였으며, Bae et al.(2019)에서 실험을 통해 도출한 세대 수 100개에 대해 40 %의 선택 비율을 적용하고 80 %의 교차 및 1 %의 돌연변이 발생 확률을 적용하였다.

한편, 선행연구와 달리 본 연구에서는 임의의 장소를 선택하는 것이 아니라, 이미 존재하는 시설물 중에서 적합한 대상을 선정해야 한다. 이를 위해 국가공간정보포털에서 제공하는 건물 데이터를 이용하여 그 내부에 저장된 건물의 고유 ID를 유전자 정보로 활용하였는데, 교차와 돌연변이 과정이 랜덤하게 진행되므로 해당 과정을 거쳤을 때 존재하지 않는 건물 ID가 생성될 가능성이 크다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 교차와 돌연변이 과정을 거친 건물 ID가 실제 데이터상에 존재하는 ID인지 건물 데이터베이스를 조회한 뒤, 존재하지 않으면 이미 선정된 개체 내에서 교차 단계에서는 분리할 지점을 돌연변이 단계에서는 변이시킬 위치를 다시 랜덤하게 선정하여 건물 데이터베이스 상에 존재할 때, 이후 절차가 진행될 수 있도록 알고리즘을 구현하였다(Fig. 2 참고).

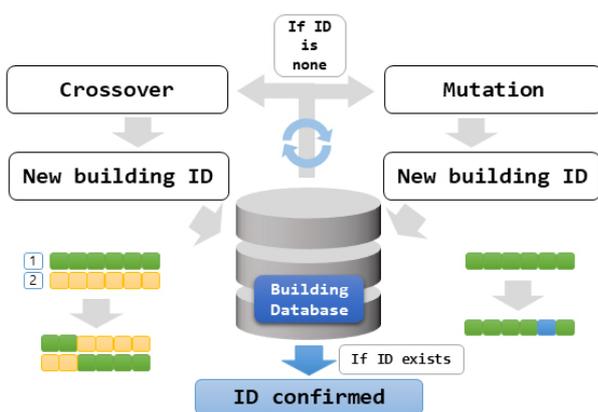


Fig. 2. ID Confirmation Method for New Building

## 2.2 Huff 중력 모델을 이용한 접근성 산출

Huff의 중력 모델은 Huff가 Reilly의 법칙을 수정 보완하여 개발한 알고리즘으로, 거래 영역의 크기나 형태를 추정하여 새로운 마켓이나 쇼핑센터의 판매량을 예측하기 위해 개발되었다(Huff, 1966). 이에 사용되는 변수에는 이동에 걸린 시간과 규모(예를 들어, 마트의 크기 등)가 있다. 한편, 동일한 거리일지라도 다양한 환경 변수로 인해 이동에 걸리는 시간은 다를 수 있으므로, 시간을 변수로 사용하는 것이 더 타당할 것으로 기대하였으나, 당시 다수의 연구자가 실시한 실험 결과에 의하면, 실제 혹은 목표 거리를 모델에 사용하는 것이 더 유용한 것으로 나타났다(Mayo et al., 1988).

본 연구에서 적용한 중력 모델 식은 Eq. (1)과 같으며(Kurowska et al., 2017), 수식 자체는 과거 Huff의 중력 모델과 큰 차이가 존재하지는 않는다. 이 식의 의미는 방문자가  $i$  지점에서  $j$  지점을 방문할 확률( $P_{ij}$ )을 계산한 다음, 이에 추정하고 싶은 기대치( $N_i$ )를 곱하여 최종적으로 방문자가  $i$  지점에서 각  $j$  지점을 방문하였을 때 기대되는 추정량을 산출할 수 있다. 본 연구의 상황을 Eq. (1)에 적용하면, 전수집계구  $i$ 에 거주하고 있는 전체 시민이  $j$  지점에 위치한 대피소로 이동할 확률을 대피소별로 계산할 수 있으며, 산출된 확률에 각 전수집계구의 인구를 곱함으로써 대피소별 집결자 수를 추정할 수 있다(Eq. (1)). 이를 다시 해석하면, 실험에 부여한 모든 거주자가 반드시 특정 대피소로 이동한다는 의미이다. 대피소를 기획하는 단계에서는 모든 거주자가 대피할 수 있도록 계획하는 것이 중요한 요소로 보고 있으며, 본 연구진이 Huff 중력 모델을 목적 함수로 사용한 이유이기도 하다.

$$Popu_j = \sum_{i=1}^m P_{ij} N_i = \sum_{i=1}^m \frac{A_j d_{ij}^{-\beta}}{\sum_{j=1}^n A_j d_{ij}^{-\beta}} N_i \quad (1)$$

여기서  $Popu_j$ 는  $j$  대피소로 이동한 총인구수를 의미하고,  $N_i$ 는  $i$  전수집계구에 거주하고 있는 인구수를 뜻하며,  $m$ 은 전수집계구의 개수를 말한다.  $P_{ij}$ 는  $i$  전수집계구의 거주민이  $j$  대피소를 방문할 확률을 의미하고,  $A_j$ 는  $j$ 대피소의 매력도를 뜻하며,  $d_{ij}^{-\beta}$ 는  $i$  전수집계구의 중심점에서  $j$  대피소까지의 거리를 말한다.  $\beta$ 는 거리에 대한 지수를 뜻하며,  $n$ 은 대피소의 개수를 의미한다.

Eq. (1)은 2.1 절에서 소개한 유전자 알고리즘의 목적 함수를 계산하기 위한 목적으로 사용되었다. Huff 중력 모델을 사용하기 위해서는 매력도를 정의해야 하며, 이는 주민이 대피할 때, 대피소의 어떠한 특징을 우선시 하였기에 해당 대피소를 선택하였는지에 대한 정의가 필요하다는 의미이다. 본 연구에서는 해당 매력도를 거리와 대피소의 규모로 한정하였다. 그 이유는 거리는 이미 중력 모델에 반영되어 있으므로 이를 제외하면, 대피소의 규모를 차후

선택지로 고민할 가능성이 크다고 판단했기 때문이며, 대피시설의 수용능력은 대피시설 설치시 반드시 고려되어야 할 사항 중 하나로 정부에서 규정하고 있기 때문이기도 하다(Korea Research Institute for National Strategy, 2016). 중력 모델을 통해 대피소별 집결자 수가 최종 산출되면 대피소의 최대 수용인원 수와 비교하여, 추가 인원을 더 수용할 수 있는 경우에 대해서만 대피한 인원수의 총합을 각 개체의 점수로 부여하고, 만약 해당 대피소가 모든 인원을 수용하지 못한다면 점수를 부여하지 않았다.

### 3. 연구 대상지 및 실험 데이터

#### 3.1 연구 대상지

포천시는 경기도 북동부에 위치하여 연천군과 철원군 등이 인접하고 있으며, 전수집계구 데이터 기준 825.2 km<sup>2</sup>의 면적으로 행정안전부의 주민등록인구현황 기준(2019년 9월), 현재 약 14만 9천명이 거주하고 있는 시이다. 기타 접경 지역은 보안 문제로 데이터 공개가 제한되는 한편, 포천시는 접경 지역이면서 본 연구를 수행하는데 필요한 데이터 대부분이 공개되어 있다.

3.3절에서 소개할 국민재난안전포털에 의하면, 포천시 내 민방위대피소 대부분이 시내에 집중됨을 확인할 수 있다(Fig. 3). 반면, 본 연구의 대상지로 선정된 포천시의 관인면, 영북면, 이동면은 총 264.7 km<sup>2</sup>로, 2개의 동, 1개의 읍, 11개의 면으로 구성된 포천시에서 단 3개의 면이 포천시 전체 면적 대비 약 32%를 차지할 만큼 넓은 지역이고 거주구 역시 광범위하게 분포하고 있을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 실험 지역인 세 개의 면에 대해 국민재난안전포털에서 안내하고 있는 총 17개의 민방위대피소를 포천시에서 운영

할 수 있는 최대 대피소의 개수로 가정하고, 거주민과 대피소와의 거리를 고려한 신규 일반대피시설을 선정하는 실험을 수행하였다.

#### 3.2 도로 교통 데이터

Huff의 중력 모델에서 중요한 매개변수 중 하나인 거리의 경우, 단순히 두 지점에 대한 유클리드 거리법을 적용할 수도 있으나, 도로 데이터를 사용하여 실제 이동 거리를 반영하는 것이 더 정확한 모델링을 수행한 것이라 할 수 있다. 국가교통DB센터(Korea Transport Database, 2016)에서 제공하는 다양한 교통 데이터 중에서 본 연구에 활용한 교통망 GIS DB는 2017년을 기준으로 전국 도로에 대해 노드/링크 포맷으로 제작된 데이터이다(Fig. 4). 해당 데이터는 U턴과 같은 회전정보, 톨게이트 명칭, 중앙버스지동차 전용차선, 최고 제한 속도, 노드 및 링크 ID, 도로의 길이 등 길 찾기 관련 알고리즘에 적용하는데 필요한 정보를 포함하여, 차로수, 포장 유무, 도로 등급, 교통시설물 명칭 및 종류 등 길 찾기 이외의 응용 분야에서도 활용될 수 있는 다양한 속성정보가 저장되어 있다(The Korea Transport Institute, 2019).

ITS (Intelligent Transport Systems) 국가교통정보센터에서도 표준 노드-링크라는 이름으로 전국 도로 데이터를 노드/링크 포맷으로 제공하나, 표준 노드-링크 데이터와는 달리 국가교통DB센터의 교통망 GIS DB는 이동 방향(상행 또는 하행) 정보를 속성 테이블에서만 구분하고 벡터 데이터에는 하나로 통합되어 있다. 이러한 부분은 길 찾기 알고리즘 적용시 큰 장점으로 작용한다. 만약 벡터 데이터에서도 상행과 하행이 구분되어 있다면 각 노드가 하나의 방향으로만 이동할 수 있어서, 가까운 거리일지라도 멀리 돌아오게 되는 결과가 도출되는데, 상행과 하행의 구분 없이 벡터가 하나로

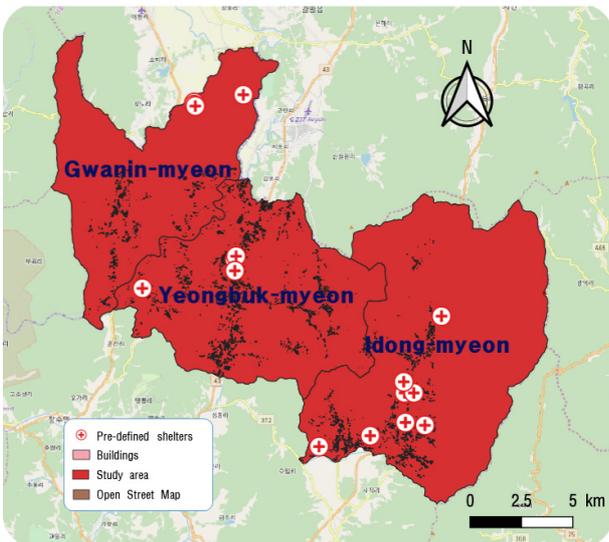


Fig. 3. Pocheon-si Study Area with Location of Shelters

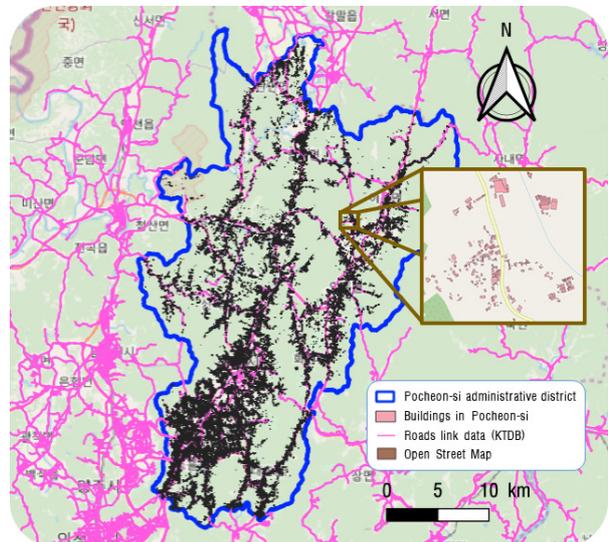


Fig. 4. Roads and Buildings Data of Pocheon-si Area

통합되어 있다면 양방향으로의 이동이 가능해져 효율적으로 최단 이동 경로를 검색할 수 있기 때문이다. 또한, 본 연구의 주요 전제가 비상상황이므로, 이러한 상황에서 시민이 도로의 회전정보를 고려하여 대피한다는 것은 오히려 현실성이 없다. 따라서 국가교통DB 센터의 교통망 GIS DB를 거리 계산에 활용하는 것이 적절하다고 판단하였다.

### 3.3 민방위대피소 정보

국민재난안전포털에서는 전국에 대해 민방위대피소 정보를 공개하고 있다. 본 연구에서는 대피소 후보지를 일반 시설물 중에서 선정하였는데, 그 이유는 선정된 민방위대피소의 대부분(91.1%)이 일반 시설물이기 때문이다. 해당 사이트에서는 시설물의 위치, 시설명, 규모, 최대 수용인원 정보를 제공하고 있으며, 선정지는 관공서, 도서관이나 마을회관과 같은 공공시설물, 학교, 아파트가 대표적인 민방위대피소로 선정되어 있었다. 포천시의 경우, 총 90개의 민방위대피소가 선정되어 있었으며, 각각 아파트가 31.1%, 마을회관이나 도서관, 면사무소, 체육센터와 같은 공공시설이 28.9%, 학교가 7.8%, 전용 대피소 8.9%, 농협 등 기타가 23.3%의 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 일반 가정집을 민방위대피소로 선정할 수 없으므로, 본 연구에서도 앞서 언급한 분류에 속한 시설물만 선정될 수 있도록 하였다.

한편, 신규 선정된 민방위대피소에 대해 수용 능력을 산출해야 하는데, 대부분 민방위대피소의 면적에 관한 정보는 제공이 되나 인원수에 대한 수용 능력을 모든 건물에 대해 제공하지는 않는다. 이에, 국민재난안전포털에서 제공하는 민방위대피소의 규모(면적)와 최대 수용인원에 대한 정보를 이용하면 민방위대피소의 규모 정보를 이용하여 최대 수용인원을 산출할 수 있으므로 해당 정보가 매우 중요하다. 포천시 90개 민방위대피소에 대해 규모와 최대 수용인원에 대해 1차 선형 회귀모형을 적용한 결과, Fig. 5과 같이 R 제곱이 0.9995인 선형 식을 도출할 수 있었다. 해당 식을 사용하여

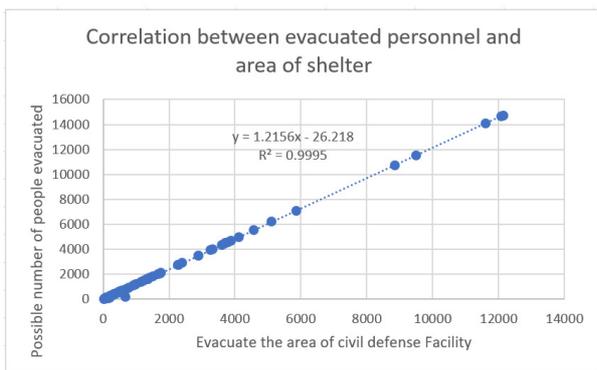


Fig. 5. Correlation between Evacuated Personnel and Area of Shelter

신규 민방위대피소가 선정될 때마다 그에 대한 최대 수용인원을 계산하였다.

### 3.4 건물 데이터

실험 대상 지역인 포천시에 대해 대피소 후보지를 선정하기 위해 연속수치지형도에서 건물 데이터를 사용하였으며, 해당 자료는 국토교통부에서 운영하는 국가공간정보포털을 통해 취득하였다. Fig. 4에서 표현된 바와 같이 포천시 내에 항공사진 측량에 의한 수치 도화로 제작된 모든 건물이 저장되어 있으며, 기타 건물에 대한 다양한 정보가 속성정보로 저장되어 제공되고 있다. 본 연구에서는 해당 데이터에서 시설물의 명칭, 위치 좌표, 면적 정보를 활용하였다.

### 3.5 전수집계구 경계 데이터 및 인구수 데이터

국가공간정보포털에서는 다양한 공공 데이터를 제공하는데, 이중 통계청에서 구축한 전수집계구 경계 데이터 및 총인구 데이터를 이용하였다(National Spatial Data Infrastructure Portal, 2019). 전수집계구 경계 데이터는 하나의 경계 지역 내에 거주자를 기준으로 최대한 일정한 인구수(약 500명~600명 사이)가 배정될 수 있도록 신규 제작된 경계 데이터를 의미하며, 미국의 센서스 GIS 데이터 베이스를 한국형으로 제작한 것이다(Fig. 6). 최대한 행정구역의 경계와 일치하도록 제작되어 있으나, 인구수에 따라 행정구역과 다른 경계를 가진 집계구도 다수 있었으며, 지역의 특징에 따라 1,000명 이상의 인원이 배정된 집계구도 존재하였다. 제작된 전수집계구 경계에 대해 인구수뿐만 아니라, 평균나이, 인구밀도, 가구수, 나이별 인구수, 사업체수, 종사자수 등 다양한 정보가 함께 제공된다.

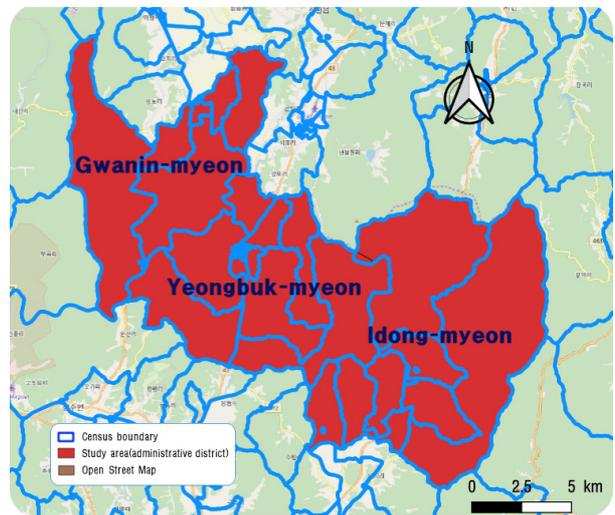


Fig. 6. Census Boundary Data Distribution

본 연구에서는 전국에 대해 제작된 전수집계구 데이터에 대해 실험 대상지에 대한 전수집계구 경계 데이터와 그에 해당하는 인구조 데이터만을 활용하여 실험을 수행하였다.

#### 4. PostgreSQL DB를 이용한 공간데이터 데이터베이스화

PostgreSQL은 무료 관계형 데이터베이스 관리 시스템으로, 오라클, MySQL, Microsoft SQL에 이어 전 세계 데이터베이스 순위 4위에 해당하는 데이터베이스 엔진이다(DB-Engines, 2019). PostgreSQL은 그 자체만으로도 장점이 많으나, 확장 기능(extensions) 중 하나인 PostGIS를 활용하면 공간데이터 특히, ESRI社의 shape 파일을 데이터베이스에 온전히 저장시킬 수 있다는 점과 데이터베이스에 저장된 공간데이터에 대해 clip, union, join 등과 같은 기본 GIS 기능들을 바로 적용할 수 있다는 점이 PostgreSQL을 사용하였을 때 얻을 수 있는 가장 큰 장점이라 할 수 있다. 또한, pgRouting 확장 기능을 추가로 사용하면, Dijkstra나 A-Star, Shooting-Star와 같은 다양한 최단 거리 알고리즘을 쉽게 적용할 수 있다는 점도 PostgreSQL의 활용성을 증대시키는 요소 중 하나이다.

본 연구에서 활용된 모든 데이터를 PostgreSQL 데이터베이스에 저장하고, 알고리즘 적용에 필요한 값을 취득할 수 있도록 구현하였으며, JDBC (JAVA DataBase Connectivity) 연동 기능을 이용한 JAVA 언어 프로그래밍을 통해, 본 연구의 핵심 기능인 Huff 중력모델과 유전자 알고리즘을 개발하여 실험을 진행하였다. 특히, Huff의 중력모델을 계산하는 과정에서 전수집계구 중심점에서 신규 선정된 민방위대피소까지의 거리를 계산할 때, 모든 도로망을 검색해야 하므로, 이에 많은 시간과 연산량이 요구된다. 예를 들어, Matlab을 이용하여 서울시 내 임의의 두 지점에 대해 최단 거리를 검색할 경우, 때에 따라 며칠이 소요되어도 결과가 도출되지 않는 경우가 있음을 실험적으로 확인하였다. 그러나 데이터베이스 상에

전국 도로망을 저장하고, pgRouting 확장 기능 중 하나인 dijkstra를 적용하면 서울과 부산 같이 먼 거리에 대해서도 수 초 내에 결과가 도출됨을 실험적으로 확인하였다. 이에 본 연구에서는 PostGIS 및 pgRouting에서 제공하는 다양한 기능들을 활용하여 필요한 정보를 취득할 수 있도록 관련 알고리즘 중 일부를 PostgreSQL의 함수(기타 SQL에서의 저장 프로시저와 동일)로 구현하였다. 특정 값이 필요할 때마다 SQL로 호출하는 것보다 일부 기능들을 조합하여 함수로 구현하게 되면 재사용성이 증가하고, 해당 기능은 데이터베이스 서버에 미리 컴파일되기 때문에 성능 향상을 도모할 수 있다.

##### 4.1 근접 노드 ID 검색 함수 구현

Table 1은 주어진 민방위대피소 혹은 전수집계구의 중심 좌표(cent\_geom)가 입력되었을 때, 해당 좌표에 대해 국가교통DB센터의 교통망 GIS DB 내 가장 근접한 노드 ID (nearestID.node\_id)를 검색하여 반환하는 SQL문을 구현한 것이다. 입력된 좌표를 중심으로 임의의 버퍼 폴리곤을 생성한 다음, 해당 폴리곤 내에 존재하는 모든 노드 ID를 검색한 뒤, 가장 가까운 거리에 위치한 하나의 노드 ID를 반환하도록 구현하였다. 버퍼를 이용한 검색 방법은 검색할 노드의 개수를 극적으로 줄일 수 있으므로 해당 방법론을 적용하였다.

##### 4.2 pgRouting을 이용한 거리 계산 함수 구현

Table 2는 전수집계구 중심점에 가까운 노드와 민방위대피소에 가까운 노드간 거리를 dijkstra 알고리즘으로 계산하는 함수를 구현한 것이다. Dijkstra는 'pgr\_dijkstra'라는 이름의 함수로 알고리즘을 사용할 수 있고, 해당 알고리즘은 Cormen et al.(2001)이 제안한 방법론을 기반으로 구현되었으며, 노드 ID와 비용을 매개변수로 입력받는다. 본 연구에서는 비용을 노드간 거리로 설정하였으며,

Table 1. Creating Function to get Nearest Node Id

SQL function	Explanation
① <b>CREATE OR REPLACE FUNCTION</b> GETNODEID (cent_geom geometry, nbuff INTEGER)	① Create function with inputting centroid point and buffer size
② <b>RETURNS setof</b> varchar <b>AS</b> <b>SBODY</b> <b>BEGIN</b>	② Returns node ID
<b>return QUERY</b>	③ Calculating the distance for finding nearest node id
③ <b>select</b> nearestID.node_id <b>from</b> (select node_id, ST_Distance(geom, cent_geom) <b>from</b> ktdb_node_tm60	④ Generating buffer and checking that the point is inside the buffer
④ <b>where true in</b> ( select ST_Within(geom, ST_BUFFER(cent_geom, nbuff)) ) <b>order</b> <b>by</b> ST_Distance <b>limit</b> 1) nearestID;	The rest is the code needed to implement the function
<b>END;</b> <b>SBODY</b> <b>LANGUAGE</b> 'plpgsql';	

Table 2. Creating Function to get the Distances by using Dijkstra Algorithm

SQL function	Explanation
① <b>CREATE OR REPLACE FUNCTION</b> GETDIST ()	① Create function with no parameters
② <b>RETURNS void</b> <b>AS \$\$</b>	② Returns nothing
③ <b>DECLARE</b>	③ Declares a temporary local variables with datatype
<pre> node_ids_bound varchar; tot_cd varchar; val_popu integer; gid_shel varchar; node_ids_shelter varchar; id_pk integer; area_ double precision;                     </pre>	④ Using iteration function for calculating the distance between the center of census boundary and the shelter
<b>BEGIN</b>	⑤ Insert the dijkstra algorithm results into an existing table
④ <b>for</b> node_ids_bound, tot_cd, val_popu, gid_shel, node_ids_shelter, id_pk, area_ <b>in</b> (select * from census_foralg_s <b>cross join</b> bldg_foralg_s <b>order by</b> tot_reg_id, id_pk) <b>LOOP</b>	⑥ 'edge = -1' means that the algorithm has found the shortest path and can provide cumulative distances
⑤ <b>insert into</b> result_table(tot_cd_id, gid_shelter, pk_id, shelter_area, value_popu) <b>values</b> (tot_cd, gid_shel, id_pk, area_, val_popu);	The rest is the code needed to implement the function
<pre> update result_table set dij_score = tmp_table.agg_cost                     </pre>	
⑥ <b>from</b> (select agg_cost from pgr_dijkstra('SELECT f_node::bigint AS id, f_node::bigint AS source, t_node::bigint AS target, length::float8 AS cost FROM ktdb_merge', node_ids_bound::integer, node_ids_shelter::integer, true) where edge = -1 ) tmp_table <b>where</b> tot_cd_id=tot_cd and pk_id=id_pk;	
<b>END loop;</b>	
<b>END;</b>	
<b>\$\$</b>	
<b>LANGUAGE 'plpgsql';</b>	

최종적으로 전수집계구 관련 노드에서 민방위대피소 관련 노드까지의 전체 누적 거리를 agg\_cost 변수에 반환하게 된다. 반복문을 통해 유전자 알고리즘으로 선정된 모든 민방위대피소와 전수집계구에 대해 최단 경로를 계산하며, 해당 결과물인 거리(dij\_score)는 사전에 제작해 놓은 테이블에 저장하도록 구현하였다. 추후 계산된 값을 명확히 사용하기 위해 거리뿐만 아니라, 전수집계구의 고유 ID (tot\_cd\_id), 민방위대피소의 고유 ID (gid\_shelter), 민방위대피소의 면적(shelter\_area), 해당 전수집계구 내 인구수(value\_popu)를 테이블(result\_table)에 함께 저장하도록 제작하였다.

### 5. 실험 결과

JAVA와 PostgreSQL를 사용하여 각 함수로부터 도출된 결과를 전송받고, JAVA의 스레드 기능 구현을 통한 연산을 수행한 결과, 한 세대를 계산하는데 평균 5시간이 소요되었으며, 동일 기능을 Matlab으로 구현하였을 때 5~6일 이상 소요되었던 것과 극명히 비교되었다. 전수집계구 별로 모든 대피소와의 거리를 Dijkstra 알고리즘으로 계산하는 단계에서 가장 많은 시간이 소요되었는데, pgRouting은 이를 매우 빠른 속도로 계산하여 그 결과를

제공하기 때문에 이러한 차이가 발생하는 것으로 파악되었다. 구현한 유전자 알고리즘을 이용하여 총 150세대를 반복시킨 결과, 98세대에서 최초로 수렴하는 것으로 나타났으며 이는 실험 지역 내 거주하고 있는 모든 주민 14,787명을 대피소가 수용할 수 있음을 의미한다(Fig. 7). 98세대 이후, 일부 값의 변동이 있으나 이는 돌연변이 과정으로 인해 만점에 해당하는 14,787명을 모두 수용할 수 없는 대피소가 종종 선정되었기 때문으로 판단되며, 이후의

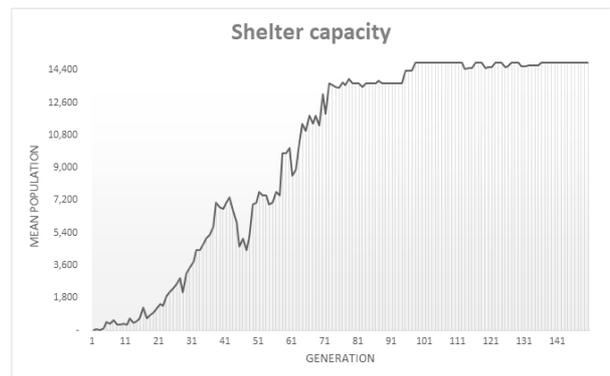


Fig. 7. Mean Population for each Generation

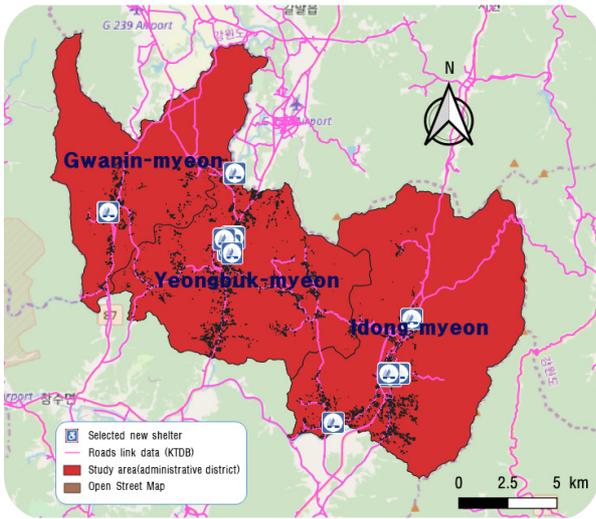


Fig. 8. Selected New Shelters from Genetic Algorithm

전반적으로 수렴하는 모습을 확인할 수 있었다.

알고리즘 적용 결과, 총 4곳의 아파트(산내들 아파트, 산호 아파트, 산내들 IPARK, 천보 아파트)와 11곳의 학교(영북초교(2), 영북중교(3), 영북고교, 중리초교/중리중교 병설 유치원, 노곡초교, 이동초교(2), 이동중교), 농협, 포천시립 영북 도서관이 최종 선정되었다. 한편, 학교의 경우, 체육관이나 종합관, 별관과 같은 건물의 규모가 큰 부속 시설들이 존재하므로, 각 건물을 별도의 대피소로 설정하였기에 몇 개의 대피소가 한 학교에서 중복되어 도출되었다.

Fig. 8은 최종 도출된 일반대피시설을 지도상에 표출한 것으로, 기존에 국민재난안전포털에서 제공하고 있는 일반대피시설의 위치와 흡사한 위치에 선정됨을 확인할 수 있다. 그러나 관인면의 경우, 그 중심 지역에 하나의 대피 시설이 선정되어 기존보다 전반적인 거주민의 이동을 최소화한 것으로 판단되며, 영북면이나 이동면의 경우, 많은 거주민이 분포하고 있는 도심 지역이 있어 그 부근에

규모가 큰 아파트나 학교가 집중적으로 선정됨을 확인할 수 있었다. Table 3은 최종 선정된 대피소별 최대수용 가능 인원과 알고리즘을 통해 배치된 인원수를 나타낸 것으로, 모든 대피소에 추가 대피 인원을 배치하는 것이 가능한 수준인 것으로 확인되었다.

Huff 중력 모델이 거리에 기반을 둔 모형이기에, 도로의 분포나 위치에 많은 영향을 받은 것으로 판단된다. 실험 대상 지역인 세 개의 면 지역 모두 동쪽과 서쪽 지역에는 산지가 있으며 그 사이로 남과 북쪽을 연결하는 긴 도로가 건설된 형태의 지형을 가지는데, 최종 선정된 대피소의 분포를 확인해보면 대부분 해당 도로 부근에 배치되었기 때문이다(Fig. 8). 이는 최단 거리 알고리즘인 Dijkstra의 영향에 의한 것으로 판단되며 긴 도로를 따라 최소한의 거리로 이동하면서 대피소를 방문하는 것이 더 적합하다고 판단하였기에 이와 같은 결과가 도출된 것으로 판단된다.

## 6. 결론

본 연구에서는 포천시의 관인면, 영북면, 이동면에 대해 민방위 대피소 종류 중 하나인 일반대피시설을 선정하기 위해 Huff 중력 모델을 목적 함수로 활용하여 유전자 알고리즘을 사용하였다. 유전자 알고리즘에서 세대별 점수를 수용 능력으로 선정함으로써 확률적 기법을 활용하여 세대를 거칠수록 모든 거주민을 수용할 수 있는 대피소가 선정됨을 유전자 알고리즘으로 확인하였으며, 공간 데이터베이스와의 연동을 통해 연산 속도를 개선할 수 있음을 확인하였다.

Huff 중력 모델은 거리 변수가 반영된 모형이기에 전반적인 거주민의 이동을 최소화하기 위해 전체 분포에 대해 그 중앙 지점에 있는 시설물들이 주로 선택되는 것을 확인할 수 있었다. 물론, 선정된 대피소의 규모가 매우 크기 때문에 최종 선정된 것이나, 실질적으로는 멀리 이동해야 하는 거주민도 있을 것이다. 그러나 일반적인 재난에서의 대응과 달리 민방위사태는 군이 미리 파악한

Table 3. Selected Shelters Capability from Genetic Algorithm

Class	Sannae deul Apt.	Idong elementary school I	Cheonbo Apt.	Youngbuk middle school I	Youngbuk middle school II	Sannae deul IPARK Apt.
Number of Evacuee	1439	558	747	471	654	979
Number of Capacity	1723	863	986	1634	1171	1165
Class	Jungli school	Youngbuk middle school III	Nogok school	Noghyub	Idong elementary school II	Youngbuk high school
Number of Evacuee	1718	602	719	788	1399	1249
Number of Capacity	2062	814	1105	931	1674	1630
Class	Youngbuk elementary school I	Idong middle school II	Pocheon city Youngbuk library	Sanho Apt.	Youngbuk elementary school II	
Number of Evacuee	678	501	653	628	1004	
Number of Capacity	798	1163	818	738	1194	

정보를 바탕으로 사전에 대피 경로를 알려 준다는 계획 하에 진행되므로, 이동에 유리하고 최대한 많은 인원을 수용할 수 있는 대피소를 선정하는 것이 더 중요하므로 의미 있는 결과라 판단된다.

한편, Huff의 중력 모델을 사용하는 데 있어 실험 경계를 어떻게 규정하느냐에 따라 모형의 결과가 달라질 수 있다. 이에, Huff의 모형을 사용한 선행연구에서는 외부의 영향이 낮거나 없다는 가정 하에 결과를 도출하고 있다(Kurowska et al., 2017). 본 연구의 상황으로 설명하자면, 실험 지역 이외의 지역에서는 대피자가 실험 지역 내부로 대피하지 않고, 지역 내 대피자는 외부 지역으로 대피하지 않는다는 가정이 적용된 것이다. 그러나 현실에서는 해당 사항을 가정하기에는 무리가 있으므로, 추후 이에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 일반대피시설로 선택할 수 있는 시설물의 종류와 개수 자체가 제한적이었기에 모든 인원을 수용하기 위해서는 규모가 큰 시설 위주로 선출할 수밖에 없었던 것으로 보이며, 그 결과 해당 시설이 집중된 도심지 근처에 대피소가 선정된 것으로 파악된다.

향후 연구에서는 공간데이터베이스를 이용한 대용량 데이터의 관리 및 활용을 포함하여, 병렬처리 기법을 추가 적용함으로써 시 단위의 광범위한 지역에 대해서도 대피소 선정 연구를 추진하여 Huff 중력 모델에서 가정된 뒤 수행하였던 사항들을 현실화하는 방안을 연구할 계획이다. 또한, 현재 관련 부처에서 산출한 대피소 면적 대비 최대수용 인원 산출에 대한 정의를 개선할 필요성이 제기되고 있는 만큼(Korea Research Institute for National Strategy, 2016), 적절한 변환 계수의 도출과 현재 선정된 일반대피 시설의 종류보다 더 다양한 대피 시설을 선정할 수 있다면 합리적인 일반대피시설 선정을 통해 과다 지정된 시설을 축소하여 효율적인 대피소 관리를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 행정안전부 재난안전취약핵심역량 도약기술개발사업(시뮬레이션 기반 조직단위 비상대비 훈련기술 개발)의 지원을 받아 수행된 연구임(2018-MOIS33-001).

## References

Bae, J. S., Kim, M. K., Yoo, S. H., Heo, J. and Sohn, H. G. (2019). "Shelter location-allocation for tsunami using floating population and genetic algorithm." *Journal of the Korean Society of Surveying*, Vol. 37, No. 3, pp. 157-165 (in Korean).

Choi, J. H. and Joo, S. M. (2014). "GIS spatial analysis base on the distribution characteristics and location suitability of emergency

evacuation in Cheongju." *Regional Policy Research*, Vol. 25, No. 1, pp. 109-120 (in Korean).

Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L. and Stein, C. (2001). *Introduction to algorithms (Second ed.)*, MIT Press and McGraw-Hill, New York, pp. 595-601.

DB-Engines (2019). *Db-engines ranking*, Available at: <https://db-engines.com/en/ranking> (Accessed: September 20, 2019).

Hu, F., Yang, S. and Xu, W. (2014). "A non-dominated sorting genetic algorithm for the location and districting planning of earthquake shelters." *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 28, No. 7, pp. 1482-1501.

Huff, D. L. (1966). "A programmed solution for approximating an optimum retail location." *Land Economics*, Vol. 42, No. 3, pp. 293-303.

Kim, M. K., Kang, S. H., Kim, S. P. and Sohn, H. G. (2016). "A Spatial analysis of shelter capacity using floating population." *Journal of the Korean Society of Surveying*, Vol. 34, No. 1, pp. 1-10 (in Korean).

Kongsomsaksakul, S., Yang, C. and Chen, A. (2005). "Shelter location-allocation model for flood evacuation planning." *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, pp. 4237-4252.

Korea Research Institute for National Strategy (2016). *Civil defense resident evacuation standards study on improvement*, Ministry of Public Safety and Security (in Korean).

Korea Transport Database (2016). *Traffic network GIS DB*, Available at: <https://www.ktdb.go.kr/www/index.do> (Accessed: September 20, 2019) (in Korean).

Kurowska, K., Kryszk, H. and Kietlinska, E. (2017). "The use of gravity model in spatial planning." *Environmental Engineering 10th International Conference*, Vilnius Gediminas Technical University, 27-28 April 2017, Vol. 10, pp. 1-9.

Mayo, E. J., Jarvis, L. P. and Xander, J. A. (1988). "Beyond the gravity model." *Academy of Marketing Science*, Vol. 16, No. 3-4, pp. 23-29.

National Spatial Data Infrastructure Portal (2019). *Census boundary data and digital map*, Available at: <http://www.nsdi.go.kr/> (Accessed: September 20, 2019) (in Korean).

The Korea Transport Institute (2019). *GIS DB Explanation documents as of 2017*, Korea Transport DataBase Center (in Korean).

Tong, D., Murray, A. and Xiao, N. (2009). "Heuristics in spatial analysis: a genetic algorithm for coverage maximization." *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 99, No. 4, pp. 698-711.

Yoo, S. H., Kim, M. K., Bae, J. S. and Sohn, H. G. (2018). "Selection of appropriate location for civil defense shelters using genetic algorithm and network analysis." *Journal of the Korean Society of Surveying*, Vol. 36, No. 6, pp. 573-580 (in Korean).