

유전자 알고리즘과 네트워크 분석을 활용한 민방위 대피시설 위치 선정

Selection of Appropriate Location for Civil Defense Shelters Using Genetic Algorithm and Network Analysis

유수홍¹⁾ · 김미경²⁾ · 배준수³⁾ · 손홍규⁴⁾

Yoo, Suhong · Kim, Mi-Kyeong · Bae, Junsu · Sohn, Hong-Gyoo

Abstract

Various studies have been conducted to analyze the location appropriateness and capacity of shelters. However, research on how to select new shelters is relatively insufficient. Since the shelter is designated in case of emergency, it is also necessary to efficiently select the location of the shelter. Therefore, this study presented a method for selecting the location of the shelter using network analysis that has been used to analyze the location appropriateness of shelters and genetic algorithm which is a representative heuristic algorithm. First, the network analysis using the existing civil defense evacuation facility data was performed and the result showed that the vulnerability of evacuation has a high deviation by region in the study area. In order to minimize the evacuation vulnerable area, the genetic algorithm was designed then the location of new shelters was determined. The initial solution consisting of candidate locations of new shelters was randomly generated and the optimal solution was found through the process of selection, crossover, and mutation. As a result of the experiment, the area with a high percentage of the evacuation vulnerable areas was prioritized and the effectiveness of the proposed method could be confirmed. The results of this study is expected to contribute to the positioning of new shelters and the establishment of an efficient evacuation plan in the future.

Keywords : Shelter, Network Analysis, Genetic Algorithm, Site Selection

초 록

최근 대피시설의 위치 적절성, 수용 능력 등을 분석하기 위한 연구가 다양하게 진행되고 있으나, 신규 대피시설의 위치를 선정하는 방법에 관한 연구는 상대적으로 부족하다. 만일의 사태에 대비하기 위해서 대피시설을 지정하는 것이므로, 효율적으로 대피시설의 위치를 선정하는 방법 또한 필요하다. 따라서 본 연구에서는 대피시설의 입지 적절성 분석에 활용되어온 네트워크 분석과 대표적인 휴리스틱 알고리즘인 유전자 알고리즘을 활용하여 대피시설의 위치를 선정하는 방법을 제시하였다. 먼저, 기존의 민방위 대피시설 자료를 토대로 네트워크 분석을 시행하여 연구 지역의 대피 취약지를 살펴본 결과, 지역별로 편차가 큰 것을 확인할 수 있었다. 이에 연구지역의 대피 취약지를 최소화하는 것을 목적함수로 유전자 알고리즘을 설계하여 신규 대피시설의 위치를 결정하였다. 대피시설 후보지의 위치로 구성된 초기해를 무작위로 생성하였고, 선택, 교차, 변이의 과정을 통해 목적함수를 최대로 만족하는 해를 탐색하였다. 실험결과, 연구지역 내 대피 취약지역의 비율이 높은 곳이 우선적으로 선정되었으며, 제안 기법의 효용성이 확인되었다. 본 연구의 결과는 향후 새로운 대피시설의 위치를 지정하고 효율적인 대피 계획을 수립하는 데에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 대피시설, 네트워크 분석, 유전자 알고리즘, 위치 선정

Received 2018. 11. 22, Revised 2018. 11. 27, Accepted 2018. 12. 03

1) Dept. of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University (E-mail: swennoir@yonsei.ac.kr)

2) Member, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University (E-mail: kimmikyeong@yonsei.ac.kr)

3) Dept. of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University (E-mail: junsu510@yonsei.ac.kr)

4) Member, Corresponding Author, Member, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University (E-mail: sohn1@yonsei.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

민방위기본법에 의하면 국가 및 지방자치단체는 전시·사변 또는 이에 준하는 비상사태나 국가적 재난으로부터 주민의 생명과 재산을 보호하기 위하여 일련의 계획을 수립·시행하여야 하며, 이를 위한 준비단계로 대피소 등 비상대피시설을 설치하고 주민이 알 수 있도록 필요한 조치를 하여야 한다(National Law Information Center, 2018). 민방위 대피시설은 2018년 기준으로 국내에 총 17,108개가 지정되어 있고, 총 확보 면적은 123,693,626m²이다(LOCALDATA, 2018). 선행 연구(Choi *et al.*, 2016)에서 활용된 1인당 최소 수용면적 0.825m²를 활용하면 산술적으로 우리나라 총인구 5천만 명의 두 배 이상을 수용할 수 있다. 그러나 보행 속도, 지역별 인구 및 대피시설의 수용 인원과 공간적 분포에 따라 대피에 취약한 지역이 다르므로 단순히 수치 비교만으로 대피시설이 완벽하게 지정되어 있다고 할 수 없다.

최근 대피시설의 위치 적절성, 수용 능력 등을 분석하기 위한 연구가 다양하게 진행되고 있다. Lee and Sung (2013)은 대피 가능 범위를 버퍼 분석으로 산출하고 행정구역 단위로 추가로 필요한 대피시설의 면적을 산출하였으며, Choi and Joo (2014)은 보행자의 이동속도를 고려하여 수용 가능성 측면의 취약지역을 분석하였다. 네트워크 분석을 수행하여 대피시설 입지의 적절성을 평가하는 연구가 다수 진행되었는데 대부분 보행자의 이동속도를 고려하여 분석을 수행하였다(Park and Kim, 2012; Yoo and Son, 2012; Son and Yoo, 2013; Kang, 2015). 안전취약계층을 고려한 세밀한 단위의 분석(Bae *et al.*, 2018), 3차원 지형정보를 활용한 네트워크 분석 실시(Lee *et al.*, 2015), 대피대상 인구에 유동인구를 포함하는 등(Kim *et al.*, 2016a) 대피시설의 입지를 다양한 방법으로 분석하는 연구가 수행되었다.

그러나 현재까지의 연구에서는 기존 대피시설의 수용 능력 및 취약지역을 분석하는 것에 비해 신규 대피시설을 어떻게 선정할지에 관한 연구는 부족한 편이다. 이와 관련된 선행연구를 살펴보면 대피소의 적정 위치를 선정하기 위해 Yu *et al.* (2005)는 대피소 간 상호 이격거리를 고려하였고, Choi *et al.* (2012)는 AHP (Analytic Hierarchy Process) 분석과 버퍼(buffer) 분석을 활용한다. 대피시설의 입지 적절성을 평가하는 연구사례에서는 네트워크 분석과 함께 3차원 지형, 유동인구, 안전취약계층 등 다양한 요소들이 고려되었으나 신규 위치 선정에는 비교적 단순한 방법론이 활용되었다. 신규 대피시설의 위치를 선정하는 것은 조합 최적화 문제에 해당하며, 최적의 해를 찾는 방법으로 휴리스틱(heuristic) 알고리즘이 활용되고 있다 (Kim *et al.*, 2016b).

예측이 어려운 비상사태에 대비하기 위해서는 대피시설의 현황을 분석하는 것에서 나아가 대피시설을 효율적으로 지정할

수 있는 방법론이 필요하다. 따라서 본 연구는 비상사태에 대비해 효율적으로 대피시설을 지정할 수 있도록 대표적인 휴리스틱 알고리즘인 유전자 알고리즘과 네트워크 분석기반의 신규 대피시설 선정 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구지역 및 자료

2.1. 연구지역

연구지역은 경기도 서북부에 위치한 파주시로 선정하였다. 파주시는 북쪽으로는 군사분계선과 접하고 있고, 남쪽으로는 고양, 서울과 인접하여 도심으로의 접근성이 높은 편이다(Fig. 1(a)). 행정구역상으로 4읍 9면 7동 422통리를 포함하고 있으며(Fig. 1(b)), 2000년대 이후 인구가 꾸준히 증가하여 2000년에 약 20만 명이었던 인구가 2017년 기준 약 45만 명에 달한다(Paju-si, 2018). 인구가 지속해서 증가한 만큼 균형적인 지역 개발도 필요하며, 접경지역이므로 대피시설 확충 등 유사시를 대비한 태세가 필요한 지역으로 판단된다.

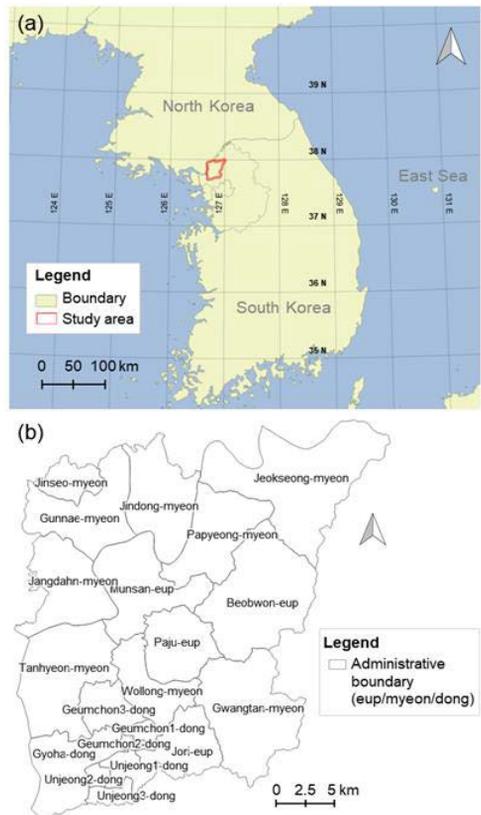


Fig. 1. Location of the study area (a) and its administrative boundary (b)

2.2. 연구자료

민방위 대피시설은 민방위기본법 제15조에 의해 국가에 서 재난이나 전쟁 등 위급한 상황에 대비하여 지정되어 있 으며 국가재난정보센터(<http://safekorea.go.kr>)에서 전국의 대피 시설을 확인할 수 있다. 지방행정 인허가 데이터 개방([http:// localdata.go.kr](http://localdata.go.kr))을 통해서도 전국의 민방위 대피시설 자료를 취득할 수 있다. 네트워크 분석에 필요한 도로망은 국가공간 정보포털(<http://www.nsdi.go.kr>)에서 제공하는 도로명주소기 본도(2015)에서 취득하였다. 대피시설의 수용능력을 분석하 기 위한 자료로 통계지리정보서비스에서 제공하는 집계구 단 위의 인구(2015)를 사용하였으며, 대피 서비스지역 분석을 위 한 자료로 환경공간정보서비스를 통해 제공받은 토지피복도 (2013)를 활용하였다.

3. 연구방법

3.1. 네트워크 분석을 활용한 대피 취약지역 시물 레이선

네트워크 분석을 활용하여 대피시설의 서비스지역을 확인한 연구는 여러 사례에서 확인할 수 있다(Ma and Kim, 2011; Park and Kim, 2012; Lee *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2016a). 본 연구에서도 노드와 링크로 구성된 도로 네트워크를 이용해 대피시설로부터 기준시간 이내에 도달할 수 있는 권역을 판별하기 위해 네트워 크 분석을 활용하였다. 선행연구(Lee *et al.*, 2015)에서 사용된 연 령별 도보 속도를 토대로 15-49세의 성인의 도보 속도는 4km/h 로 설정하여 분석하였으며, 파주의 북부지역의 경우 평균 연령 이 50대 이상인 경우가 많아 3.4km/h로도 대피 취약지역을 분석 하였다. 대피시설의 서비스지역을 산출하기 위한 기준시간으로 는 5분, 10분, 20분, 30분을 사용하였으며, 대피시설 1인당 소요 면적은 선행연구(Choi *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2016a)를 참고하여 0.825m²를 기준으로 설정하였다.

3.2. 유전자 알고리즘을 활용한 신규 대피시설 선정 방안

본 연구에서는 대피시설의 서비스지역을 최대도 확보할 수 있는 신규 대피시설의 최적 위치를 찾기 위해 최적화 알고리즘 중 대표적인 유전자 알고리즘을 활용하였다. 유전자 알고리즘 은 자연계의 진화과정을 모방하여 NP-hard (Non-deterministic Polynomial-time hard) 문제를 해결하는 데에 탁월한 것으 로 알려져 있다(Panchal and Panchal, 2015). 일반적으로 유전 자 알고리즘은 변이(mutation), 교차(crossover)와 같이 세대 (population)가 다음 세대로 선택되는 과정을 모델링하며, 선택

의 척도로 적합도 함수(fitness function)가 계산된다. Fig. 2는 유전자 알고리즘을 이용한 신규 대피시설 위치 선정 흐름도를 나타낸다.

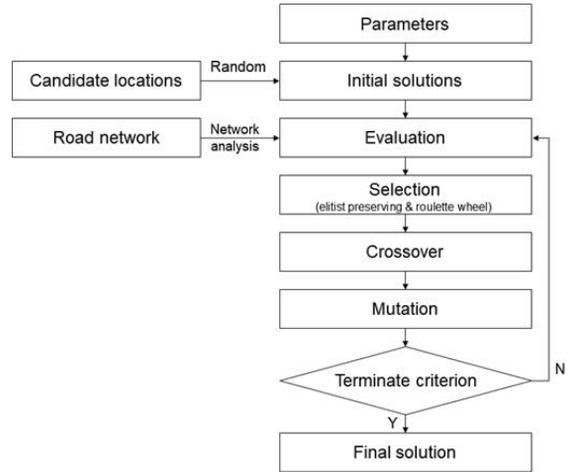


Fig. 2. Flowchart of selecting the optimal location of new shelters

3.2.1. 초기해 설정

초기 세대는 무작위로 생성되는데 한 세대는 일반적으로 여 러 개의 염색체(chromosome)로 구성된다. 각 염색체는 유전자 알고리즘에서 가장 작은 단위인 유전자(gene)로 구성되는데, 본 연구에서는 유전자를 신규 대피시설 후보지의 위치를 나타낸 다. 한 세대의 크기는 100으로 설정하였고, 신규 대피시설의 위 치 후보지는 대피시설이 건물을 대상으로 지정된다는 가정하에 도로명주소기본도 내 건축물의 위치를 활용하였다.

3.2.2. 선택, 교차, 변이

선택의 메커니즘으로는 엘리트 보존 선택법(elitist preserving selection)과 룰렛 휠 선택법(roulette wheel selection)을 모두 활 용하였다. 엘리트 보존법은 현 세대에서 가장 좋은 개체를 보존 하여 다음 세대에 전달하는 방법이며, 확률에 상관없이 가장 좋 은 개체가 다음 세대로 보존한다. 나머지 개체에 대해서 룰렛 휠 선택법을 적용하였으며, 이 방법은 각 개체의 적합도에 비례하 여 높은 적합도를 가진 개체가 더 높은 확률로 다음 세대에 전달 될 수 있도록 한다. 교차는 2개의 개체의 일부를 서로 치환하여 새로운 개체를 생성하는 방법으로 본 연구에서는 일원 교차를 수행하였다. 국부 최적해에 빠지는 것을 막기 위해 변이확률을 주었으며, 각 변수는 실험을 통해 엘리트 보존 개체 수 10, 교차 율 0.7, 변이확률 0.01로 설정하였다.

3.2.3. 적합도 평가

본 연구에서는 기준시간 내 대피 서비스지역을 최대화하는 것을 목적으로 연구대상지역의 대피시설의 서비스지역의 비율을 적합도로 사용하였으며, 인구가 많은 지역의 대피시설이 먼저 지정될 수 있도록 대피시설이 위치한 지역의 인구밀도를 가중치로 부여하였다. 적합도 함수의 인구밀도 가중치는 실험을 통해 0.1로 설정되었다. 신규 대피시설이 지정됨에 따라 네트워크 분석을 실시하여 기존 대피시설의 서비스지역과 합산하는 방식으로 총 대피시설의 서비스지역을 산출하게 된다. Fig. 3은 본 연구에서 설계된 유전자 알고리즘의 개념도를 나타낸다(L: 신규 대피시설의 위치, m: 세대 크기, n: 신규 대피시설 수).

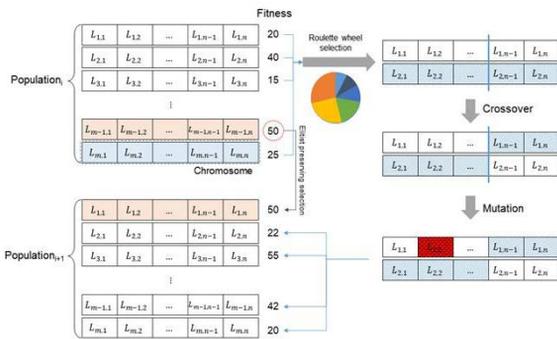


Fig. 3. Schematic diagram of genetic algorithm in the study

4. 연구결과 및 분석

4.1. 대피시설 현황 및 서비스 지역 분포

4.1.1. 대피시설 현황

연구지역 내 민방위 대피시설은 총 148개, 총 대피 가능한 면적은 약 2,274,524m²이다(LOCALDATA, 2018). 1인당 소요면적을 기준으로 최대 약 2,757,000명까지 수용할 수 있다. 이 수치는 대상지역 내 2017년 총인구 448,524명의 약 6배 이상이므로, 수치상 연구지역 내 인구를 모두 수용할 수 있다. 그러나 이 수치가 연구지역 내 모든 인구가 기준시간 이내에 대피시설로 이동할 수 있다는 것을 의미하지는 않는다. 인구의 분포와 대피시설의 공간적 분포 또한 확인하여 대피시설로의 기준시간 내 도착 가능성을 확인할 필요가 있다. Fig. 4(a)는 연구지역의 읍면동 단위의 인구밀도를 보여주며, Fig. 4(b)는 민방위 대피시설의 분포를 나타낸다. 전반적으로 거주인구가 밀집한 남부지역에 대피소가 많이 분포하고 있으며, 북부지역에는 인구밀도가 낮아 대피시설 또한 낮은 밀도로 분포되어 있는 것을 알 수 있다.

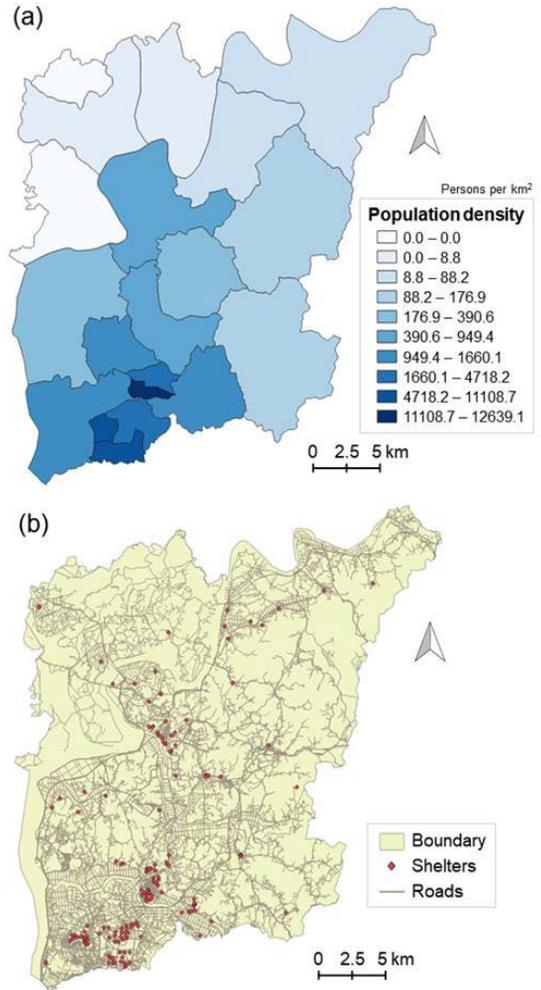


Fig. 4. Population density distribution (a) and the location of shelters (b) in the study area

4.1.2. 대피시설 서비스지역 분포

연구지역 내 대피시설에서부터 기준시간(5분, 10분, 20분, 30분)별로 대피가 가능한 지역을 계산한 결과는 Figs. 5 and 6과 같다. Fig. 5는 15-49세 평균 도로 속도에 대해 산출한 대피시설 서비스지역이며, Fig. 6은 50-64세 평균 도로 속도에 대해 산출한 대피시설 서비스지역을 나타낸다. 대피시설이 밀집되어 있는 곳은 상대적으로 도로 속도 차이보다 전체 서비스지역의 변화가 크지 않지만, 북부지역은 대피시설 간 거리가 커 도로 속도에 따른 차이가 크게 보이는 것을 확인할 수 있다.

이를 수치로 확인하기 위해 행정구역별 대피 서비스지역 및

Table 1. Service area and the capacity of shelters by districts

Eup/myeon/dong	Target area (km ²)	Maximum capacity of shelters (Num. of peoples)	Capacity for population (ratio)	Service area of shelters (km ²)							
				4km/h				3.4km/h			
				5min	10min	20min	30min	5min	10min	20min	30min
Munsan-eup	32.37	176205	3.99	2.61	7.10	17.97	24.68	2.09	5.61	14.93	22.14
Paju-eup	19.93	19368	1.55	1.22	3.22	8.75	13.42	0.97	2.58	7.06	11.26
Beobwon-eup	23.38	5827	0.52	0.23	0.73	2.46	4.57	0.18	0.55	1.93	3.57
Jori-eup	16.67	242657	8.50	1.37	3.44	7.97	11.69	1.10	2.78	6.79	10.11
Jindong-myeon	18.91	161	0.92	0.15	0.39	1.40	3.26	0.13	0.31	1.02	2.28
Jangdahn-myeon	22.27	0	-	0.00	0.00	0.10	0.63	0.00	0.00	0.05	0.29
Jinseo-myeon	4.73	0	-	0.00	0.00	0.19	0.77	0.00	0.00	0.06	0.48
Wollong-myeon	17.62	20190	1.47	0.69	1.69	4.46	8.61	0.56	1.34	3.39	6.57
Tanhyeon-myeon	37.30	8234	0.60	0.70	2.34	7.62	13.03	0.55	1.76	6.00	10.56
Gwangtan-myeon	27.74	12239	1.04	0.54	1.29	3.79	7.00	0.43	1.02	2.92	5.49
Papyeong-myeon	17.95	1827	0.49	1.45	4.06	9.31	12.96	1.13	3.16	7.99	11.53
Jeokseong-myeon	35.54	3893	0.55	0.36	1.30	3.77	7.34	0.27	0.96	3.00	5.33
Gunnae-myeon	23.75	410	1.03	0.52	1.54	4.60	7.19	0.40	1.21	3.62	6.00
Geumchon1-dong	3.22	83676	3.86	0.97	1.99	3.01	3.22	0.78	1.77	2.72	3.22
Geumchon2-dong	2.53	104828	3.05	1.16	1.81	2.47	2.53	1.05	1.64	2.27	2.53
Geumchon3-dong	10.34	52598	1.90	1.32	2.61	5.28	7.01	1.11	2.24	4.64	6.20
Gyoha-dong	26.98	342954	8.73	2.19	4.70	10.75	17.82	1.85	3.93	8.72	14.67
Unjeong1-dong	9.08	512319	12.68	1.83	3.61	6.52	8.52	1.57	3.18	5.90	7.67
Unjeong2-dong	2.83	412479	11.73	1.81	2.53	2.83	2.83	1.59	2.39	2.83	2.83
Unjeong3-dong	5.57	465152	9.04	2.30	3.89	5.30	5.54	2.01	3.49	5.00	5.52

대피시설 인구 수용률을 읍/면/동별로 계산하였다(Table 1). 수계와 산지는 대상 면적에서 제외하여 계산하였으며, 대상 면적에서 대피시설의 서비스지역을 제외한 지역이 취약지역이 된다. 행정구역별 대피시설 수용률은 각 행정구역별 대피시설 면적의 총합을 1인 소요면적으로 나누어 최대 인원을 산출하고, 해당 행정구역의 인구로 나누어 산출되었다. 1 이상이면 대피시설의 수용 능력이 충분, 1 이하인 경우 대피시설의 수용 능력이 부족하다고 판단할 수 있다. 인구 수용 능력의 경우 최대 12.68 (운정1동), 최소 0.49 (파평면)로 편차가 크게 나타났다. 장단면과 진서면의 경우 대피시설이 없었으나 해당 지역의 거주인구 또한 0명으로 집계되어 값이 산출되지 않았다. 전반적으로 고양시와 인접하고 인구밀도가 높은 연구지역 내 남부지역의 경우 모두 1 이상의 수용 능력을 나타내고 있으며, 북부지역의 경우 수용 능력이 낮고 대피 서비스지역의 면적 또한 부족함을 확인할 수 있다.

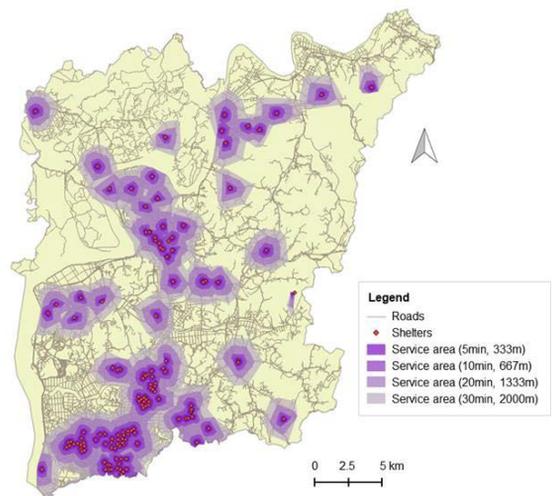


Fig. 5. Service area of shelters (walking speed: 4km/h)

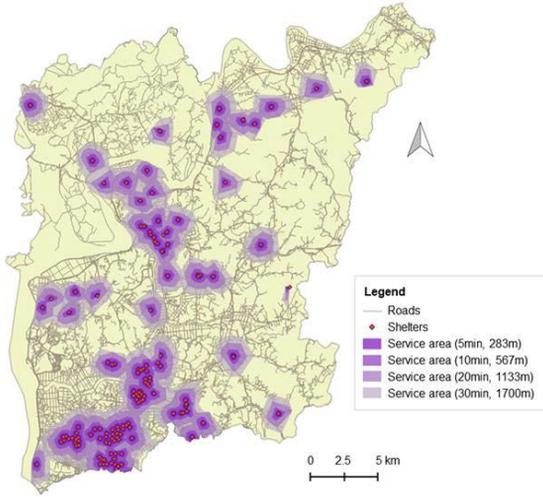


Fig. 6. Service area of shelters (walking speed: 3.4km/h)

4.2. 신규 대피시설 위치 선정

유전자 알고리즘을 활용한 실험은, 신규 대피시설의 개수를 5의 배수 단위(5, 10, 15, 20, 25, 30)로 변화시켜가며 수행하였다. 도보 속도 4km/h, 기준시간을 30분으로 최대 도달거리를 설정하여 유전자 알고리즘을 적용하여 얻은 결과는 Fig. 7과 같다. 신규 대피시설의 개수가 늘어남에 따라 전반적으로 신규 대피시설이 연구지역 내 골고루 분포하는 것을 볼 수 있다. 기존 대피시설이 충분히 있는 지역에서도 신규 대피시설이 선정된 것은 인구밀도 가중치의 영향이 작용한 것으로 보인다. Fig. 8은 30분을 기준으로 도보 속도가 3.4km/h일 때 신규 대피시설의 위치를 모의 선정된 결과를 보여준다. Table 2는 신규 대피시설 위치 개수에 따른 대피시설 서비스지역의 변화를 정리한 결과이다.

행정구역 단위로 신규 위치를 살펴보면, 도보 속도가 4km/h일 때 탄현면, 광탄면, 운정3동 순으로 신규 대피시설이 많이 선정되었고, 도보 속도 3.4km/h일 때는 문산읍, 탄현면, 금촌1동 순으로 신규 대피시설이 많이 선정되었다. 도보 속도와 관계없이 대피시설의 밀도가 낮은 탄현면, 법원읍 지역에 신규 위치가 지정되었고, 진동면과 장단면, 진서면의 경우 어떤 경우에도 신규 대피시설이 선정되지 않아 전반적인 분포 자체는 비슷하게 나타나고 있다. 파평면의 경우, 수용 능력 측면에서 가장 낮은 값을 보였으나 신규 대피시설은 해당 지역에 지정되지 않았는데, 이는 기존의 대피시설 서비스 면적이 확보된 것에 비해 수용 인원이 부족하기 때문으로 보인다.

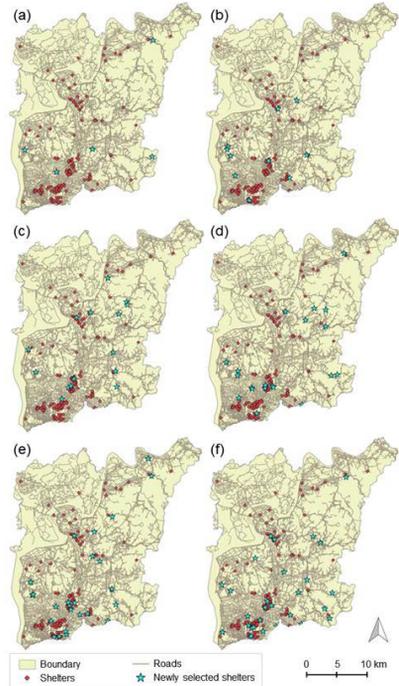


Fig. 7. Location of newly selected shelters; (a) 5, (b) 10, (c) 15, (d) 20, (e) 25, (f) 30 (4km/h, 30min)

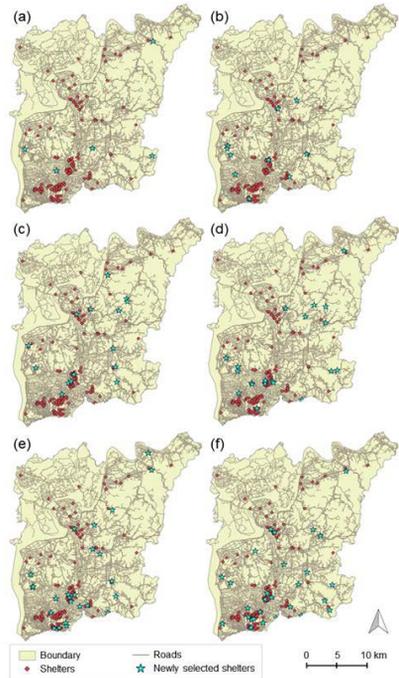


Fig. 8. Location of newly selected shelters; (a) 5, (b) 10, (c) 15, (d) 20, (e) 25, (f) 30 (3.4km/h, 30min)

Table 2. Service area of shelters depending on the number of newly selected shelters

Eup/myeon/dong	Service area of shelters (km ²)											
	4km/h, 30min						3.4km/h, 30min					
	n=5	n=10	n=15	n=20	n=25	n=30	n=5	n=10	n=15	n=20	n=25	n=30
Munsan-eup	24.68	26.18	25.04	25.65	25.95	24.68	23.63	23.52	22.14	22.14	22.76	22.77
Paju-eup	13.72	13.93	13.77	13.42	14.71	16.39	11.46	11.28	11.94	11.46	11.36	13.85
Beobwon-eup	4.57	5.18	8.19	9.15	4.60	5.63	3.83	7.10	4.46	4.50	3.57	6.07
Jori-eup	11.80	11.78	11.69	12.30	12.76	13.76	10.11	10.17	10.15	10.38	12.39	10.48
Jindong-myeon	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28
Jangdahn-myeon	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Jinseo-myeon	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.48	0.48	0.48	0.56	0.48	0.48
Wollong-myeon	12.76	8.64	8.69	8.61	8.61	9.44	6.57	9.51	6.57	10.35	7.99	7.79
Tanhyeon-myeon	18.00	21.89	18.92	22.53	21.82	21.77	14.97	14.51	15.37	18.02	19.41	17.04
Gwangtan-myeon	7.46	7.09	12.92	10.16	9.45	12.22	5.49	5.50	5.64	5.91	8.17	10.48
Papyeong-myeon	12.96	12.96	13.61	13.13	13.80	12.96	11.53	11.53	11.53	11.88	11.80	11.78
Jeokseong-myeon	7.65	7.34	7.34	7.99	12.53	7.34	9.55	5.33	5.53	5.41	7.08	5.87
Gunnae-myeon	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19	6.00	6.00	6.00	6.37	6.00	6.00
Geumchon1-dong	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
Geumchon2-dong	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22
Geumchon3-dong	7.19	7.03	7.01	8.36	7.23	7.03	6.20	6.21	6.29	6.75	6.20	6.47
Gyoha-dong	19.81	21.64	18.41	21.50	20.06	18.78	15.40	15.21	22.88	21.23	17.94	19.77
Unjeong1-dong	8.52	8.52	8.52	8.52	8.97	9.07	8.20	8.50	8.96	8.85	8.32	8.94
Unjeong2-dong	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83	2.83
Unjeong3-dong	5.54	5.54	5.54	5.54	5.57	5.57	5.52	5.53	5.56	5.53	5.55	5.52

n: number of newly selected shelters

5. 결론

본 연구에서는 접경지역인 파주시를 대상으로 네트워크 분석을 시행하여 대피에 취약한 지역을 확인하였다. 또한, 평균 연령이 높은 지역이 많은 것을 고려하여, 보행자의 이동속도에 따라 노령인구의 대피 취약지역을 확인하고, 행정구역별로 대피시설의 최대 수용 인원과 인구를 비교하여 대피시설의 수용 능력을 확인할 수 있었다. 효과적으로 신규 대피시설을 지정하기 위해 대표적인 휴리스틱 알고리즘인 유전자 알고리즘을 활용하였으며, 제시한 위치 선정 방법을 통해 신규 대피시설의 수에 따른 대피시설의 위치를 모의해볼 수 있었다.

연구지역의 경우, 전체 시민 수와 전체 대피시설 수용면적을 기준으로 대피시설의 수용 능력이 충분한 것으로 나타났으나, 지역별로 대피시설의 접근성의 차이가 매우 큰 것으로 나타났다. 남부지역의 경우 대피 서비스 지역과 수용 능력이 충분히 확

보되었으나, 북부지역의 경우 대피시설의 서비스 지역과 수용 인원이 충분히 확보되지 않는 것을 확인할 수 있었다. 신규 대피시설 선정 실험 결과, 대피시설이 충분히 확보되지 않은 지역 중에서도 인구밀도가 높은 곳을 우선순위로 신규 위치가 선정되는 것을 볼 수 있었다.

본 연구는 네트워크 분석을 활용하여 민방위 대피시설의 대피 가능지역 및 수용 능력 현황을 분석하고, 유전자 알고리즘을 활용하여 신규 대피시설을 선정하는 방안을 제시한 점에 의의가 있으며, 연구의 결과는 향후 새로운 대피시설의 위치를 지정하고 효율적인 대피 계획을 수립할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 행정안전부의 시뮬레이션 기반 조직단위 비상대비 훈련기술 개발(2018-MOIS33-001)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Bae, K., Park, H. Jun, S., and Jung, J. (2018), Evaluating the location of tsunami emergency shelters for the children and the old, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 1, pp. 113-123. (in Korean with English abstract)
- Choi, J.-H., Kang, I.-J., and King, S.-S. (2012), Study on the selection of the tsunami shelter using AHP and GIS analysis, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 30, No. 6, pp. 503-509. (in Korean with English abstract)
- Choi, J. and Joo, S. (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 with English abstract)
- Choi, K.H., Lee, H.M., Cho, K.H., Hwang, D.Y., and Nam, S.I. (2016), *A Study on Improvement of Criteria for Civilian Evacuation Facility*, MPSS Policy Research Report, Korea Research Institute for National Strategy, Seoul, pp. 140-146.
- Kang, S. (2015), *A Study on the Selection of Vulnerable Area for Disaster Shelter Using Network Analysis*, Master's thesis, Yonsei University, Seoul, Korea, 49p. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.-K., Kang, S., Kim, S.-P., Sohn, H.-G. (2016a), A spatial analysis of shelter capacity using floating population, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 34, No. 1, pp. 1-10. (in Korean with English abstract)
- Kim, N., Kim, S.-P., Kim, M.-K., and Sohn, H.-G. (2016b), A genetic algorithm to solve the optimum location problem for surveillance sensors, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, No. 34, No. 6, pp. 547-557.
- Lee, H. and Sung, M. (2013), GIS based analysis for the capacity of emergency evacuation shelters in Cheonan - focused on class-2 shelters in old downtown, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 14, No. 9, pp. 4572-4579. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.H., Goo, S.H., Chun, Y.W., and Park, Y.J. (2015), The spatial location analysis of disaster evacuation shelter for considering resistance of road slope and difference of walking speed by age – case study of Seoul, Korea, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 23, No. 2, pp. 69-77. (in Korean with English abstract)
- LOCALDATA (2018), Opening of local administrative license data, *Korea Local Information Research & Development Institute*, <http://localdata.go.kr/> (last date accessed: 21 November 2018).
- Ma, S. and Kim, H. (2011), Accessibility to welfare facilities for the aged through GIS network analysis: focused on inland areas in Incheon, *The Korea Spatial Planning Review*, Vol. 70, pp. 61-75. (in Korean)
- National Law Information Center (2018), Framework act on civil defense, Korea Ministry of Government Legislation, <http://www.law.go.kr/법령/민방위기본법> (last date accessed: 21 November 2018).
- Paju-si (2018), Annual population status, http://stat.paju.go.kr/new_stat/new02_02.asp (last date accessed: 21 November 2018).
- Panchal, G. and Panchal, D. (2015), Solving NP hard problems using genetic algorithm, *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, Vol. 6, No. 2, pp. 1824-1827.
- Park, J.K. and Kim, D.M. (2012), Analysis of shelter service areas according to walking speed using network analysis, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 20, No. 4, pp. 37-44. (in Korean with English abstract)
- Son, S.R. and Yoo, H.H. (2013), Evacuation suitability assessment of shelters in disaster risk districts of Changwon city, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 21, No. 3, pp. 27-35. (in Korean with English abstract)
- Yoo, H.H. and Son, S.R. (2012). Suitability assessment for flood disaster shelters of Jinju city, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 20, No. 3, pp. 91-99. (in Korean with English abstract)
- Yu, W., Kim, Y.C., and Kim, T.H. (2005), Selection of appropriate location for the disaster relief shelter in the city, *Proc. of Korea Planning Association*, Korea Planning Association, 4-5 November, Seoul, Korea, pp. 171-184. (in Korean with English abstract)