보로노이 다이어그램을 활용한 긴급대피소 최적 위치 분석

Optimal Location Identification for Emergency Evacuation Shelters using the Voronoi Diagram

이소영* · 김도현** · 주희선***

Lee, Soyeong*, Kim, Dohyeon**, and Joo, Heesun***

Abstract

Recently, the frequency of earthquakes in Korea has increased; thus it is very important to select the location of an emergency shelter. Therefore, this study proposed a method for selecting an emergency shelter location using the Voronoi diagram, which is usefully used to identify the shortest route or divide jurisdictions. First, Yangsan-si, where the earthquake zone is located, was selected as the target site for the study area, and the evacuation facility area was analyzed using the Voronoi polygon considering an evacuation to nearby emergency shelters regardless of administrative districts. Next, examining the vulnerable portions of the study area based on the existing earthquake outdoor evacuation facility data and floating population data, it was confirmed that there was a large regional variation. Finally, the location of a new shelter in Yangsan-si was selected by quantifying the location data of the building where supply was insufficient and the distance between emergency evacuation facilities as weights. The analysis result showed that installing a total of 7 shelters was the most efficient. The results of this study are expected to contribute to selecting the location of a new evacuation facility and establishing an efficient evacuation plan in the future.

Key words : Shelter Impact Area, Capacity, Location Selection, Voronoi Diagram, k-medoids Algorithm

요 지

최근 한국의 지진 발생 빈도는 점점 높아지는 추세로 긴급대피소의 위치를 선정하는 것이 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 최단 경로를 찾거나 관할구역을 나누기 위해 유용하게 사용되는 보로노이 다이어그램을 활용하여 긴급대피소 위치를 선정하는 방법을 제시하였다. 먼저, 연구지역은 지진대가 위치한 양산시를 대상으로 선정하였으며, 지진 발생 시 행정구역과 관계없이 인근 긴급대피소로 대피한다는 가정하에 보로노이 다각형을 이용한 대피 시설 권역을 분석하였다. 다음으로 기존의 지진 옥외 대피 시설 자료와 유동 인구 데이터를 토대로 연구지역의 대피 취약지를 살펴본 결과, 지역별로 편차가 큰 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 공급이 부족한 곳의 건물 위치 데이터와 긴급 대피 시설 간 거리를 가중치로 정량화하여 양산시 신규 대피소 위치를 선정하였다. 분석 결과, 총 7개의 대피소를 설치하는 것이 가장 효율성이 높은 것으로 도출되었다. 본 연구의 결과는 향후 새로운 대피 시설의 위치를 선정하고 효율적인 대피 계획을 수립하는 데에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 대피소 영향 권역, 수용 능력, 위치 선정, 보로노이 다이어그램, k-medoids 알고리즘

1. 서 론

지진은 상당히 짧은 시간 내 큰 피해를 줄 수 있는 재해이다. 지진으로 일어나는 지면의 진동과 지표면의 파열은 건물

붕괴를 일으켜 화재, 토양 액상화, 방사성 물질 누출, 산사태, 지진해일 등 2차 피해를 유발할 수 있다. 제일 중요한 것은 인명피해로 나타날 수 있다는 점이다(Ministry of Construction and Transportation, 1997).

*정회원, 경상국립대학교 도시공학과 박사과정(E-mail: sodo10111@gnu.ac.kr)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Urban Engineering, Gyeongsang National University

**경상국립대학교 도시공학과 석사과정

Master Candidate, Department of Urban Engineering, Gyeongsang National University

***교신저자, 정회원, 경상국립대학교 도시공학과 조교수(Tel: +82-55-772-1771, Fax: +82-55-772-1779, E-mail: hsjo0@gnu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Urban Engineering, Gyeongsang National University

지진 발생 원인으로는 기존에 존재하던 활성단층의 재활동이 있지만, 한국은 주변국보다 대규모 지진 발생 빈도가 상대적으로 낮아 특정 단층대와 지진의 연관성 규명이 쉽지 않다. 또한 한반도는 단층의 이동률이 낮고 지진의 재발주기가 상대적으로 긴 특성을 가지기 때문에 지진 발생 시 대비가 어렵고 소홀하기 쉽다(Kim et al., 2020). 2021년 8월 30일을 기준으로(KMA, 2021), 1978년 이후 43년간 관측된 지진 발생 횟수 중 규모 3.0 이상은 총 425회이며, 규모 5.0 이상은 10회인 것으로 나타나 한국에서는 간헐적 중소규모의 지진이 주로 발생함을 알 수 있다. 그러나 과거에 성파이 붕괴하고, 100여 명이 사망할 정도의 지진이 발생한 역사 기록 등이 보고된 것으로 보아 지진 발생 주기는 길지만, 규모 6.0 이상의 대규모 지진이 발생할 가능성이 아주 희박하지 않다(Lee, 1998; Jin et al., 2011; KMA, 2012).

한국은 두 번의 지진을 계기로 지진 발생 시 대피 안정성에 대한 국민의 관심도가 매우 증가하였다. 2016년 9월 12일 양산단층대에서 발생한 경주지진은 단층과 지진이 연관되어 있음을 최초로 규명하였다(K.H. Kim et al., 2016; Kim, Rhie et al., 2016; Y.S. Kim et al., 2017). 또한 2017년 11월 15일 발생한 포항지진은 경주지진과 비슷한 규모의 지진이었으나 얕은 진원 및 지반 특성으로 인해 액상화 현상과 함께 큰 피해를 유발하였다(Kim et al., 2018; Kim et al., 2019; Kim et al., 2020).

국가는 재난 발생 시 피해를 최소화하고 국민의 생명을 보호해야 할 의무가 있다. 이에 한국은 재난이 발생하거나 발생할 우려가 있는 지역 주민들에게 대피 장소를 지정하고 있다(Kim, Han et al., 2016). 지진과 같은 특수 자연 재난으로부터 인명피해를 줄이기 위해서는 대피소의 수용 능력 등 필요한 조건을 만족시키는 위치선정 연구가 진행되어야 한다. 각 대피소의 분포 양상, 수용인구 수치에 따라 대피 취약지역이 달라지며, 인구의 밀집 분포 지역에 따라서도 수용 능력이 달라질 것이므로 지역 특성에 맞는 재난 대피소 적정 위치선정에 관한 연구가 필요하다. 이에 본 연구는 첫째, 기존 재난 대피소 자료를 바탕으로 각 대피소 위치에 따른 권역 산정 후 가중치를 도출하여 영향 범위를 파악하고자 한다. 둘째, 앞서 도출된 가중치와 인구자료를 토대로 대피소 수용 능력을 파악한 후 대피소가 부족한 지역을 파악하고자 한다. 마지막으로 대피소가 부족한 곳으로 선정된 지역을 바탕으로 신규 재난 대피소 위치를 결정하여 제안하는 것을 목적으로 한다.

2. 문헌 및 선행연구 고찰

2.1 연구대상 지역 및 대피소 정의

2.1.1 연구대상지

연구대상지인 양산시의 경우, 경상북도 영덕군에서 시작해 부산 낙동강 하구까지 이어지는 길이 약 170 km의 양산단

Fig. 1. Research Area and Fault Zone

층대를 거치고 있다(Fig. 1). 또한 2021년 7월 자 지진 특보에 따르면 양산시 북쪽 20 km 지역에서 규모 1.6의 미소지진이 발생하였다. 이러한 양산-울산 단층계 주변은 1993년 이후 지속적인 활성단층 조사가 이루어지고 있다(Okada et al., 1994; Choi et al., 2012; Choi, 2012). 따라서 양산단층대에 있는 양산시는 지진 발생 시 주민들이 안전하게 대피할 수 있는 재난 대피소에 관한 연구가 필요한 지역임을 알 수 있다.

2.1.2 대피소 정의

재난 대피소는 각 지자체장이 수립하는 ‘안전관리계획’ 상 대피에 관한 사항을 포함하게 되어 있다. ‘안전관리계획’은 ‘재난 및 안전관리 기본법’ 제24조, 제25조에 따라 5년마다 수립되는 ‘국가안전 관리 기본계획’과 매년 수립되는 ‘시·도 안전관리 기본계획’의 하위계획으로 매년 수립된다(Park et al., 2014; Lee et al., 2015). 국내 대피 시설은 재난 유형에 따라 서로 다른 법에 따라 지정·관리되고 있으며, 본 연구에서는 지진이라는 재난을 특정하였기 때문에 ‘안전관리계획’ 상에 포함되는 재난 대피소 중 지진 옥외 대피소 및 지진 발생 시 대피를 위한 시설이나 장소를 분석대상으로 하였다.

2.2 연구 자료구축 및 선행연구 검토

2.2.1 연구 자료구축

본 연구에서 활용하는 대피소 자료는 양산시 생활공간정보와 양산시 통합방재센터, 국민 재난 안전 포털에서 공개되며, 시설물의 위치, 규모, 시설명, 최대 수용 인원 등의 정보를 제공한다. 양산시의 경우, 총 99개의 지진 옥외 대피소가 선정되어 있으며, 운동장 46% 공원 54%로 주된 비율을

차지하는 것으로 나타났다. 해당 대피소의 공개 정보를 토대로 대피소별 영향 권역을 산정하였다.

다음으로 양산시 빅데이터 광장에서 제공하는 읍면동별 유동 인구 데이터를 취득하여 대피소 수용 능력 분석에 활용하였다. 이는 2021년 1월부터 7월까지 통신사 일 평균 유동 인구 데이터를 집계한 것으로 주간인구, 야간인구, 상주인구 데이터를 포함하고 있다. 마지막으로 대피소 후보지는 양산시 통계 DB, 경상남도교육청, 공공데이터 포털에서 제공되는 공원, 학교 주소 자료를 취득하여 추가 대피소 위치 선정에 활용하였다.

2.2.2 선행연구 검토

최근 대피 수용 능력과 대피소 적정 위치 선정에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다. 대피소 수용 능력과 관련하여 Kwon et al. (2015)은 서울시를 대상으로 일반시민뿐만 아니라 고령자를 고려하였는지에 대한 비교 분석 및 대피 취약지역을 분석하였다. M.K. Kim et al. (2016)은 서울시를 대상으로 대피소의 접근성을 파악하여 수용 능력의 자이를 분석하였다. Bae et al. (2018)은 부산광역시 내 지진해일 주민대피지구와 긴급 대피 장소를 대상으로 입지 적정성을 평가하였다. 대피소 위치 선정과 관련하여 Choi et al. (2012)와 S.H. Kim et al. (2017)은 특정 재난인 지진해일 대피소와 홍수대피소를 선정하였다. Yoo et al. (2018)의 연구에서는 파주시 접경지역의 대피 시설 위치를 선정하였다. 또한 Bae et al. (2019)는 부산광역시 해운대구 5개 동을 대상으로 지진해일 대피소를 선정하였다.

선행연구 검토 결과, 대피소 수용 능력 및 위치 선정에 있어 주로 인구 통계자료, 네트워크 자료, 보행속도 등이 활용되었으며, 이중 인구 통계자료의 대부분은 행정구역 단위의 거주인구 자료가 활용되었다. 이는 출근이나 등교 등에 의한 이동 인자를 고려할 수 없으므로 예측이 어려운 짧은 시간 내 발생하는 재난 대비에 한계가 존재한다. 특히, 유동 인구는 많으나 실거주민의 수가 적은 경우, 데이터에 근거하여 최종 위치 선정지에서 제외될 가능성이 크다. 따라서 대피소의 영향 범위 및 수용 능력을 분석하거나 적정 위치를 선정할 때 이러한 차이를 고려한 분석이 이루어져야 한다.

3. 연구 방법

3.1 연구설계

본 연구는 최적 위치에 추가 지정되는 지진 옥외 대피소 선정을 위해 Fig. 2의 과정으로 진행되었다. 제일 먼저 자료구축 단계에서는 양산시 기존 지진 옥외 대피소 위치 정보를 바탕으로 Geocoding을 수행하였다. 두 번째, 본 연구에서는 보행속도에 따른 권역 분석이 아닌 거리에 따른 대피소 영향 권역을 도출하고자 보로노이 다이어그램을 활용하였

Fig. 2. Research Methods and Process

다. 이를 통해 대피소별 영향 권역을 산출한 뒤 산출된 영향 권역의 읍면동별 영향 면적을 합산하였다. 읍면동별 합산을 한 이유는 대피소 수용 능력을 파악에 앞서 유동 인구 데이터가 읍면동별 자료이기 때문에 분석의 편의성을 위해 진행하였다. 합산을 통하여 읍면동별 보로노이 권역의 가중치를 도출하였다. 세 번째, 주민등록인구 데이터와 유동 인구 데이터에 도출된 보로노이 가중치를 활용하여 지역별 대피 수용 능력을 비교한 뒤, 대피소가 정정한 지역과 부족한 취약지역을 도출하였다. 읍면동별 대피 수용 능력은 Eq. (1)과 같이 대피소의 최대 수용 인원을 해당 주민등록인구, 유동 인구로 나누어 계산하였다. n 개의 대피소가 존재할 때, P_k 는 읍면동 k 내 주민등록 인구수, 유동 인구수이며 C_i 는 대피소 i 의 수용 인원이다. R_k 가 1보다 크면 대피 수용 능력이 충분한 것이고, 1보다 작으면 부족한 것이며 이는 읍면동 k 의 대피 수용 능력을 나타낸다(M.K. Kim et al., 2016).

$$R_k = \frac{\sum_i^n C_i}{P_k} \quad (1)$$

마지막으로 대피소 최적 위치를 결정하기에 앞서 k-medoids 군집분석을 활용하여 부족한 지역에 추가로 설치되어야 하는 대피소 개수를 도출하였다. 다음으로 지진 옥외 대피소의 지정요건을 검토한 뒤 신규 대피 시설 데이터를 통해 k-medoids 알고리즘으로 추가로 설치될 대피소의 위·경도를 분석하였다. 이를 통해 추가적인 대피소의 최적 위치를 결정하였다.

3.2 보로노이 다이어그램

보로노이 다이어그램은 평면 특정 점까지의 거리가 가장 가까운 점의 집합으로 나눈 그림이다. 먼저 인접한 대피소 사이를 직선으로 연결한 후 직선들의 수직 이등분선을 그어 연결하게 되면 다각형으로 분할된다. 이 다각형을 보로노이 다각형이라고 한다. 보로노이 다이어그램에서는 Fig. 3과 같이 한 다각형 안에 하나 있는 보로노이 셀, 수직 이등분선들이 하나의 점으로 모인 보로노이 벡스, 수직 이등분선들이 모여 하나의 울타리로 만든 보로노이 폼, 전체적인 영역인 보로노이 스페이스로 구성된다.

보로노이 다이어그램은 특정 점을 기준으로 가장 가까운 점들의 집합이기 때문에 일반적으로 최단 경로를 찾거나 관할구역을 나누기 위해 유용하게 사용되고 있다(Kim, 2016).

3.3 k-medoids 알고리즘

k-medoids 알고리즘은 k 개의 클러스터로 데이터를 정리하는 기계 학습 기법 중 비지도 학습 방법이다. 임의의 점을 중심점으로 사용하는 k-means와 달리 k-medoids는 기존 데이터의 한 점을 기준으로 사용하여 데이터를 나누는 클러스터링 방법이다(Steinhaus, 1956; Kaufmann and Rousseeuw, 1987). 클러스터로 구분한 데이터들의 유클리드 거리를 계산하여 그룹화하고, 비유사도나 비용 함수의 값을 최소화하는 방향으로 진행한다. 이 과정을 통해 하나로 묶인 클러스터와 유사도는 떨어지게 된다.

주어진 입력 데이터 k 개를 3개로 가정하여 그룹화할 경우, 입력 데이터 중 k 개의 클러스터 중심을 지정한 후, 다른 지점의 입력값과 k 와의 중심 데이터 거리를 계산하여 비교하며 새로운 중심점을 선정한다. 이처럼 k-medoids 클러스터링

Fig. 3. Example of Voronoi Polygon

은 새로 선정된 중심에서 다시 클러스터를 묶으면서 이전의 값과 비교하여 더 이상의 최적값이 나오지 않을 때까지 계산한다(Fig. 4).

k-medoids 클러스터링 방법에 따른 진행 과정은 Fig. 5와 같다(Margaret, 2020). 첫 번째, 유클리드 거리를 사용하여 모든 객체 쌍의 거리를 계산한다. 각각의 변수 p 가 있는 n 개의 객체를 주어진 $k(k < n)$ 개로 군집한다고 가정한다. i 와 j 의 변수를 $X_{ij}(i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, p)$ 로 정의하고 각 객체의 거리는 유클리드 거리로 계산한다. Eq. (2)의 유클리드 거리를 활용하여 중심자 분할법에 사용될 것이다.

Fig. 4. An Illustration Of Clustering Procedure

Fig. 5. Flowchart of K-Medoids Clustering

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{a=1}^n (X_{ia} - X_{ja})^2} \quad (2)$$

다음 Eq. (3)의 객체 j 에 대한 $v_j (j = 1, \dots, n)$ 를 계산한다. v_j 를 오름차순으로 정렬하고, 가장 작은 값을 첫 번째 k 로 선택한 뒤 초기 medoids로 설정한다. 각 객체 값을 가까운 medoids에 할당한 뒤, 군집을 형성하여 모든 객체 값에서 medoids 까지 거리를 계산한다.

$$v_j = \sum_{i=1}^n \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}} \quad (3)$$

두 번째, medoids 업데이트 과정이다. 이는 각 군집에서 새로운 medoids를 할당하여 총 거리를 최소화하는 medoids를 찾아 업데이트한다. 세 번째, medoids에 객체를 할당하는 과정이다. 이는 각 객체를 가장 가까운 medoids에 할당하여 군집 결과를 얻는다. 모든 점에서 medoids 까지 거리의 합을 계산하고 합이 이전과 같다면 알고리즘을 정지하고 값을 내보낸다. 이 과정에서 사용되는 알고리즘은 다음과 같다. 1단계, D에서 임의의 초기 medoids들을 선택한다. 2단계, D에서 medoid 되지 못한 데이터 항목들을 가까운 medoid를 중심으로 군집화한다. 3단계, 군집 된 데이터의 data point와 medoid의 거리를 계산하여 이전과 비교한다. 4단계, medoid의 위치 변경 비용의 합이 0 미만인 경우, 새로운 medoid의 위치를 찾아 이동한다. 5단계, medoid의 위치가 변하지 않을 때까지 2, 3, 4단계를 반복한다(Kim and Ryu, 2020).

4. 연구 결과

4.1 대피소 권역 및 영향 범위 산정

양산시 99개의 지진 옥외 대피소 위치 현황은 Fig. 6과

Fig. 6. Location Status of Earthquake Shelter

같으며, 물금읍에 가장 많이 지정된 것으로 나타났다. 이는 물금읍의 등록된 인구수가 다른 읍면동에 비해 약 3~5배 정도 많기 때문이다.

다음으로 Fig. 7은 GIS 프로그램을 통해 얻어낸 양산시 보로노이 다이어그램을 직사각형 모양으로 확장한 것이다. 이를 통해 대피소 각 권역의 면적을 도출한 뒤, 각 행정구역 내 위치한 대피소의 분할된 면적을 병합하였다.

가중치는 동별로 병합된 대피소별 개별 영향 면적 값을 전체 면적으로 나눈 값이며, gis 도구를 사용하여 실제 계산을 수행할 수 있다. Table 1은 읍면동별 산출된 지진 옥외 대피소의 영향 면적과 가중치를 나타낸 표이다. 각각의 읍면동 내 대피소가 미치는 영향력을 파악하면 강서동 10, 덕계동 1.4, 동면 8.6, 물금읍 5.1, 삼성동 4.1, 상북면 16, 서창동 8.9, 소주동 4.4, 양주동 0.7, 원동면 25.7, 중앙동 1.2, 평산동 6.8, 하북면 7.3의 영향을 미치고 있는 것으로 해석할 수 있다. 가장 낮은 영향은 1%에 불과한 양주동이며, 원주동의 대피소별 가중치가 가장 높은 것으로 나타났다. 본 연구에서는 수용 능력을 파악하기 위해 면적을 가중치로 산출하였으나 추후 이동량 등과 같이 다른 분석 내용으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 7. Earthquake Shelter Voronoi Diagram

Table 1. Results of Voronoi Diagram

Admin.	Impact area	Weight
Gangseo-dong	49.634	0.1003
Deokgye-dong	6.655	0.0135
Dong-myeon	42.360	0.0856
Mulgeum-eup	25.048	0.0506
Samseong-dong	20.471	0.0414
Sangbuk-myeon	79.108	0.1599
Seochang-dong	43.771	0.0885
Soju-dong	21.687	0.0438
Yangju-dong	3.366	0.0068
Wondong-myeon	127.003	0.2567
Jungang-dong	6.107	0.0123
Pyeongsan-dong	33.407	0.0675
Habuk-myeon	36.048	0.0729

4.2 대피소 수용 능력

대피소 수용 능력은 주민등록인구와 유동 인구에 대해 앞서 도출된 보로노이 가중치를 활용하여 계산하였다. Fig. 8은 주민등록인구에 대한 대피소 최대 수용 인원 비율을 Natural breaks를 적용한 그림으로 1보다 작으면 주민등록인구보다 대피소의 최대 수용 인원이 적은 것을 의미하며, 1보다 크면 대피소의 수용 가능 인원이 주민등록인구에 비해 많은 것을 의미한다. 분석 결과 원동면을 제외한 12개의 읍면동이 대피소가 1보다 작은 값을 나타내 대피소가 부족한 것으로 나타났다.

Fig. 9는 유동 인구에 대한 대피소 최대 수용 인원 비율을 나타낸 그림으로 Fig. 8과 차이가 있을 것이라 예상하였으나 수치가 조금 달라졌을 뿐 결과에는 차이가 없는 것으로

나타났다. 유동 인구 데이터를 활용한 수용 능력 결과 또한 주민등록인구 데이터 결과와 마찬가지로 원동면을 제외한 12개의 읍면동이 대피소 수용 능력이 낮은 것으로 확인되었으며, Table 2에 정리하였다.

4.3 대피소 최적 위치 선정

본 연구에서는 대피소의 위치를 선정함에 앞서 유동 인구 데이터를 활용한 대피소 수용 능력을 기준으로 대피소가 부족한 12개 지역에 추가로 선정되어야 하는 대피소 개수를 분석하였다. 이는 기존 지진 옥외 대피소 자료를 바탕으로 k-medoids 군집분석을 시행하였다. Fig. 10은 도출된 Silhouette plot과 Dunn index이며, 이는 최적의 군집 수를 탐색한 값이다. Dunn index의 경우 군집 간 거리의 최솟값을 분자로 하고

Fig. 8. Capacity for Residential Population (Ratio)

Fig. 9. Capacity for Floating Population (Ratio)

Table 2. Shelter Capacity by Administrative District

Admin.	Acceptable area (km^2)	Maximum capacity of shelters (Num. of people)	Capacity for residential population (ratio)	Capacity for floating population (ratio)
Gangseo-dong	0.056803	68852	0.760892	0.445108
Deokgye-dong	0.021644	26235	0.020884	0.02657
Dong-myeon	0.312947	284915	0.694025	0.870125
Mulgeum-eup	0.146758	177887	0.074434	0.105019
Samseong-dong	0.040549	49150	0.09177	0.082301
Sangbuk-myeon	0.023083	27979	0.348865	0.269022
Seochang-dong	0.155794	188842	0.587435	0.562825
Soju-dong	0.002341	2838	0.00611	0.006499
Yangju-dong	0.026825	32515	0.00663	0.00721
Wondong-myeon	0.01758	21310	1.624674	1.264512
Jungang-dong	0.037476	45425	0.048517	0.02013
Pyeongsan-dong	0.153908	186555	0.409378	0.428199
Habuk-myeon	0.00157	1903	0.016712	0.012426

내 요소 간 거리의 최댓값을 분모로 하는 지표로 군집화 결과가 좋을수록 Dunn index는 커진다. 분석 결과 $k = 7$ 로 도출되어 7개의 새로운 대피소를 선정하였을 시 그보다 더 많은 대피소를 설치하였을 때와 비교해 변동이 없는 것을 확인하였다.

다음으로 추가될 대피소의 최적 위치를 선정하기 위하여 지진 옥외 대피 시설 지정 요건을 참고하여 접근성이 불량한 산, 대피소가 충분한 원동면, 이전에 지진 옥외 대피 시설로 지정된 곳을 제외한 양산시 광장, 공원, 공터, 학교 운동장 178개 데이터의 최대 수용 인원을 도출한 뒤 k-medoids 알고리즘을 통한 클러스터링을 시행하였다. Table 3은 이전 군집분석 결과로 도출된 k 값에 따라 대피소의 위경도 위치를 결정한 결과이다.

Fig. 11은 산출된 위도와 경도를 바탕으로 7개의 새로운 대피소가 선정된 위치를 보여주며, 물금읍에 3개소, 중앙동,

Fig. 10. Optimal Cluster Search Result

Table 3. Latitude and Longitude of the Shelter

Classification	Lat	Lon
Cluster 1	35.3287	129.039
Cluster 2	35.3987	129.164
Cluster 3	35.3125	128.999
Cluster 4	35.3958	129.054
Cluster 5	35.4842	129.089
Cluster 6	35.2875	129.014
Cluster 7	35.302	128.991

Fig. 11. Optimal Location Selection Result

서창동, 상북면, 하북면, 각각 1개소씩 지정되었다. 이는 높은 유동 인구 밀도로 인한 결과로 확인되었다. 또한, 같은 장소가 반복적으로 선택됨에 따라 데이터에 근거하였을 시 해당 장소가 확률적으로 가장 최적의 대피 장소라는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 양산단층대가 지나고 있는 양산시를 대상으로 지진 옥외 대피소 영향 권역, 수용 능력을 파악한 뒤 추가로 설치되어야 하는 대피소 위치를 선정해보는 연구를 진행하였다.

2021년 기준 양산시에 지정된 지진 옥외 대피소는 99개소이며, 보로노이 권역으로 계산한 가중치와 유동 인구 데이터를 통해 읍면동 단위의 대피소 수용 능력을 파악했을 때 대피 가능 인원이 충분히 확보되지 않는 12개 지역을 확인할 수 있었다. 유동 인구가 많은 지역에 지진 옥외 대피 시설을 추가로 지정할 필요가 있을 것으로 판단된다. 다음으로 본 연구에서는 기계 학습 기법의 하나인 k-medoids 클러스터링 방법을 사용하여 추가로 선정될 대피소 개수와 위치를 결정하였으며, 분석 결과 7개의 대피소를 설치하였을 시 더 많은 대피소를 설치하였을 때와 대피 인원의 변동이 거의 없음을 확인할 수 있었다. 또한, 원동면을 제외한 12개 지역 내 위치한 광장, 학교 운동장, 공원 중 일반주거지역 주변과 유동 인구밀도가 높은 지역에 대피소가 선정된 것을 확인할 수 있었다. 그러나 본 연구에서는 보로노이를 활용할 때 양산시에 인접해 있는 다른 시군을 고려하지 못하였다. 또한, 대피소별 보로노이 영향 권역 내 유동 인구 파악이 미흡했다는 점, 보행속도와 같은 접근성이 함께 고려되지 못한 점, 실제 지진 위험지역에 머무르는 인구를 중심으로 수행되지 못했다는 점이 한계점으로 남는다. 향후 인접한 시군의 영향을 고려하는 작업과 한 대피소가 다른 읍면동에서 받는 영향을 산출하여 변환 계수를 도출할 필요성이 있다. 이러한 한계점이 적절히 보완된다면 효율적인 대피소의 지정 및 관리, 더 나아가 축소에 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 새로운 재난 대피소 위치 선정 방법론으로 활용 가능할 것이며, 효율적인 대피 계획을 수립할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2021년도 한국연구재단 연구비의 지원(2020R1G1A1101214)을 받아 수행되었습니다.

References

Bae, J.S., Kim, M.K., Yoo, S.H., and Sohn, H.G. (2019). Shelter location-allocation for tsunami using floating

- population and genetic algorithm. *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 37, No. 3, pp. 157-165.
- Bae, K.W., Park, H.J., Jun, S.M., and Jung, J.C. (2018). Evaluating the location of tsunami emergency shelter for the children and the old. *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 18, No. 1, pp. 113-123.
- Choi, J.H., Kang, I.J., and King, S.S. (2012). Study on the selection of the tsunami shelter using AHP and GIS analysis. *Korean Journal of Geomatics*, Vol. 30, No. 6, pp. 503-509.
- Choi, S.J. (2012). *Active faults map and seismic hazard map*. National emergency Management Agency, 10.23000/TRKO201600010825.
- Jin, K.M., Lee, M.J., Kim, Y.S., and Choi, J.H. (2011). Archaeoseismological studies on historical heritage sites in the Gyeongju area, SE Korea. *Quaternary International*, Vol. 242, No. 1, pp. 158-170.
- Kaufmann, L., and Rousseeuw, P. (1987). *Clustering by means of medoids*. Data Analysis based on the L1-Norm and Related Methods, pp. 405-416.
- Kim, H.Y. (2016). A research into the development of millineries for daily use utilising voronoi diagrams. *Journal of Fashion Design*, Vol. 16, No. 1, pp. 33-47.
- Kim, K.H., Kang, T.S., Rhie, J.K., Kim, Y.H., Park, Y.C., Kang, S.Y., et al. (2016). The 12 September 2016 Gyeongju earthquakes: 2. Temporary seismic network for monitoring aftershocks. *Geosciences Journal*, Vol. 20, No. 6, pp. 753-757.
- Kim, K.H., Ree, J.H., Kim, Y.H., Kim, S.S., Kang, S.Y., and Seo, W.S. (2018). Assessing whether the 2017 Mw 5.4 Pohang earthquake in South Korea was an induced event. *Science*, Vol. 360, pp. 1007-1009. doi:10.1126/science.aat6081
- Kim, K.H., Seo, W.S., Han, J.W., Kwon, J.A., Kang, S.Y., Ree, J.H., et al. (2019). The 2017 ML 5.4 Pohang earthquake sequence, Korea, recorded by a dense seismic network. *Tectonophysics*, Vol. 774. doi:10.1016/j.tecto.2019.228306
- 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, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 34, No. 1, pp. 1-10.
- Kim, S.H., and Ryu, J.H. (2020). A machine learning based methodology for selecting optimal location of hydrogen refueling stations. *Korean Chem. Eng. Res.*, Vol. 58, No. 4, pp. 285-317.
- Kim, S.H., Kim, D.H., Han, D.G., Lee, M.J., and Kim, H.S. (2017). Selection of flood damage shelters in Miho stream basing AHP method. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 2017, No. 10, pp. 443-444.
- Kim, Y.H., Han, M.J., and Kim, E.J. (2016). Optimal location selection of fire stations using geographic information systems: Focused on ulsan metropolitan area. *Journal of the Korean Housing Association*, Vol. 2016, No. 4, pp. 221-224.
- Kim, Y.H., Rhie, J.K., Kang, T.S., Kim, K.H., Kim, M.O., and Lee, S.J. (2016). The 12 September 2016 Gyeongju earthquakes: 1. Observation and remaining questions. *Geosciences Journal*, Vol. 20, No. 6, pp. 747-752.
- Kim, Y.S., Kim, T.H., Kyung, J.B., Cho, C.S., Choi, J.H., and Chui, C.U. (2017). Preliminary study on rupture mechanism of the 9.12 Gyeongju earthquake, *Journal of the Geological Society of Korea*, Vol. 53, No. 3, pp. 407-422.
- Kim, Y.S., Son, M., Choi, J.H., Choi, J.H., Seong, Y.B., and Lee, J.H. (2020). Processes and challenges for the production of Korean active faults map. *Journal of the Geological Society of Korea*, Vol. 56, No. 2, pp. 113-134.
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2012). *Historical Earthquake Records in Korea (2~1904)*. Yalejeongpan, Seoul, 142.
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2021). Retrieved August 30, 2021, from http://www.weather.go.kr/weather/earthquake_volcano/domesticlist.jsp?startTm=1978-08-30&endTm
- Kwon, J.S., Yoon, D.H., and Koh, J.H. (2015). Analysis of shelters acceptable range according to evacuation speed during flood disaster by severe rain storm. *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 15, No. 3, pp. 115-123.
- Lee, K.H. (1998). Historical earthquake data of Korean. *Journal of the Korean Geophysical Society*, Vol. 1, No. 1, pp. 3-22.
- 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 Korean Society for Geospatial*

Information System, Vol. 23, No. 2, pp. 69-77.

Margaret, H. (2020). *Data mining, introductory and advanced topics*. Prentice Hall.

Ministry of Construction and Transportation (1997). *Seismic code research (II)*.

Okada, A., Watanabe, M., Sato, H., Jun, M.S., Jo, W.R., Kim, S.K., et al. (1994). Active fault topography and trench survey in the central part of the yangsan fault, Southeast Korea. *Journal of Geography*, Vol. 103, pp. 111-126.

Park, S.H., Jeong, T.H., Huh, B.Y., Jang, J.S., and Shim, S.Y. (2014). *A study on improvement of the procedure of selection and maintenance for the shelter*. Research Report, National Disaster Management Institute.

Steinhaus, H. (1956). Sur la division des corp materiels en

parties. *Bull. Acad. Polon. Sci.*, Vol. IV No. C1.III, pp. 801-804.

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 Survey, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 36, No. 6, pp. 573-580.

Received	November 3, 2021
Revised	November 5, 2021
Accepted	November 23, 2021