



보행자 중심의 풍수해 대피시설에 대한 안전범위 분석

Safety Analysis of Pedestrian-centered Flood Evacuation Facility

김정옥* · 이재강**

Kim, Jung Ok*, and Lee, Jae Kang**

Abstract

There are no quantitative criteria for the location, size, etc. of shelter during floods. An empirical study was conducted on the location distribution of the shelters considering their accessibility. In this study, a safety zone that can be immediately evacuated using a pedestrian-level network was identified for each shelter. For the area under study, GIS network analysis was used to divide the area to be evacuated for each shelter and to generate a base map so that the most accessible shelter can easily be identified. We found that it is possible to identify a suitable shelter and evacuation route using pedestrian networks. In an emergency, it should be possible to get to the evacuation shelter as soon as possible, to avoid the high risks due to flooding. We conclude that, flooding maps can be effective for evacuation.

Key words : Shelter, Safety Zones, Service Area Analysis, Pedestrian Network

요 지

본 연구에서는 보행자 수준의 네트워크를 활용하여 즉각적으로 대피할 수 있는 대피소별 수용영역을 설정함으로써, 대피소 입지나 규모 등에 관한 정량적 기준이 없는 현 실정에서 접근성을 고려한 대피소 입지 분포에 대한 실증분석 연구를 진행하였다. 사례지역에 대해 GIS 네트워크분석인 서비스영역분석을 통하여 대피 대상지역을 각 대피소에 분할 할당하고 가장 빨리 도달할 수 있는 대피소를 쉽게 확인할 수 있는 기반 지도를 생성하였다. 또한 기존의 관련 연구들과는 달리 보행자용 네트워크를 이용하여 도보로 대피하기에 적합한 영역 및 대피 경로를 제공할 수 있도록 하였다. 이로써 짧은 시간 내에 대피를 완료하여야 하는 급박한 상황에서는 침수 위험이 높은 위치를 피하여 조금이라도 더 빠른 시간 내에 대피소에 도착할 수 있어야 하므로 침수예상지를 고려한 서비스 영역이 효과적인 대피에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 대피소, 안전범위, 서비스영역분석, 보행자 네트워크

1. 서 론

자연재해가 발생하면 안전한 곳으로의 유도과 대피를 해야 인명피해를 줄일 수 있다. 대피가 필요한 자연재해로는 지진, 태풍, 호우 등으로 대피발령이 실시되고 단시간에 안전한 장소로 대피해야 한다. 그러나 현재 재해 발생 후 대피시간 안에 지역 주민을 수용할 수 있는지에 대한 정확한 데이터나 통계자료는 알 수가 없다. 우리나라에서 가능

큰 대도시인 서울의 경우에도 태풍과 호우에 따른 풍수해를 항상 경험함에도 이에 준하는 대피소 설치는 물론 대피소의 안전입지선정이나 행동요령관련법규 등이 불확실한 상황이며 대피소의 의미조차 모호한 것이 사실이다(Kwon et al., 2015).

대피소 입지나 규모 등에 접근성을 고려한 대피소 입지 분포에 대한 실증분석 연구가 필요하다. 현재 재해정보지 도에는 침수예상지역에서 대피소까지의 대피 경로를 대략

*교신저자, 정희원, 서울대학교 건설환경종합연구소 연구교수(Tel: +82-2-880-1596, Fax: +82-2-873-2684, E-mail: geostar1@snu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Research Professor, Institute of Construction and Environmental Engineering, Seoul National University

**조지아공과대학 토목공학과 연구교수(E-mail: jaekanglee612@gmail.com)

Research Professor, Department of Civil Engineering, Georgia Institute of Technology

의 화살표로 제공하고 있을 뿐이다. 즉, 인접 거리에 대피소가 여러 개 있는 경우 주민들은 어떤 대피소로 이동해야 하는지 의문이다. 이러한 문제는 행정구역이 아닌, 권역에 따른 대피소별 서비스 영역을 제공함으로써 해결가능할 것이다.

대피소의 공간적 분석 및 적정 위치 선정, 수용 능력 등을 분석하기 위해 GIS 기법을 활용한 연구가 진행되었다. Park and Kim (2012), Kwon et al. (2015)은 보행자를 이동속도에 따라 유형별로 구분하고 이를 고려하여 네트워크 분석을 수행해 서울시의 대피소 서비스 지역과 취약지역을 파악하였다. 이와 유사한 방법론을 적용하여 각각 진주시 홍수재해 대피소, 창원시 재해 위험지구 대피소의 적합성을 평가한 연구가 있다. Lee et al. (2015)도 보행자의 연령별 보행속도 차이를 고려하고 도로의 경사도 등 지형요소까지 포함하여 3차원 기반의 대피 경로 산정 방법을 제시하였다. 이를 토대로 대피소의 서비스 권역을 산출하여 대피소의 수용력을 분석하였다. Ashar et al. (2014)은 인도네시아 파당(Padang)의 대피소 연구를 위해 서비스영역분석을 실시하였다.

기존연구에서는 재난 상황 시 실제로 대피하는 보행거리 산정은 주도로나 간선도로와 같이 차량이 이동하는 2차선 이상의 간선도로망을 이용하여 네트워크 분석을 수행하였다는 한계점이 있다. 이에 보행자도로 기반의 네트워크 분석을 통한 대피소 서비스 지역 및 공간적 차이 분석을 통해 보다 실질적인 대피 수용능력을 분석하는 것이 필요하다.

Lee et al. (2015)에서는 네트워크의 링크에 이동 시 저항요소로 작용하는 경사와 고도정보를 추가로 작성하여 구성하였다. 이는 네트워크의 개별 링크에는 경사도를 적용하여 경사도가 낮은 지역으로 우선 대피하도록 설정한다. 즉, 대피소까지의 도달까지 가장 넓고 완만한 도로가 우선적인 대피경로가 되도록 설정한다.

또한 분석대상 대피소에 민방위 대피소와 함께 이재민 대피소, 이재민 수용시설 등을 포함하여 분석하고 있어 재난 유형에 따른 대피소 서비스영역분석이 이루어지고 있지 못하다(National Disaster Management Research Institute, 2014). 민방위 대피소의 경우 민간 및 정부지자체-공공단체 소유의 지하시설물을 대피시설로 지정한 사례가 대부분이기 때문에 연안도시 홍수피해를 위한 안전장소라 할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 연안도시 풍수해예방정보 중 대피소의 수용범위를 일반성인의 보행속도와 재해약자 중 고령자의 보행속도에 대해 분석하고, 침수예상지역을 적용하여 현존하는 대피소의 서비스 영역 즉, 수용범위를 분석한다. 연구의 목적은 연안도시에 현재 등록되어 있는 대피소 중 홍수피해 시 안전한 장소를 분류하고, 현존 대피소의 수용범위를 분석하도록 하여 차후 대피소의 보완이나 추가설치 등에 기초적 자료로 활용하고자 한다. 또한 실제적으로 자신이 살고 있는 집 주변에 대피소가 존재한다는 사실 조차

모를 정도로 방재정보에 대한 교육 및 정보제공이 매우 부족한 현상향을 타개하기 위한 서비스를 제공하고자 한다.

본 연구에서는 연안도시 홍수피해 대처를 위한 대피소 안전범위분석을 위해 연안도시로 군산의 풍수해 대피소를 대상으로 보행속도와 대피시간을 고려한 접근성에 기반을 둔 대피장소 안전범위를 구축한다. 풍수해 대피소는 이재민 대피소, 이재민 수용시설 등으로 제한하여 분석하였다. 일반적으로 대피소라하면 민방위 대피소도 포함하고 있으나 민방위 대피소의 경우 민간 및 정부지자체-공공단체 소유의 지하시설물을 대피시설로 지정한 사례가 대부분이고, 지하시설물은 홍수피해 시 안전한 장소가 아니기 때문에 본 연구에서 제외시켰다. 또한 본 연구에서는 행정경계에 인접해 있는 대피소와 같은 경우는 행정경계를 고려하지 않고 대피소의 수용범위 자체를 고려하였다. 예를 들면 구 경계에 거주하고 있는 시민들은 무조건 거주하는 동일 구내의 대피소를 향하는 것이 아닌 가장 가까운 대피소를 탐색하기 때문에 지역구내의 대피소뿐만 아닌 인접 지역구 대피소의 수용범위까지 포함하여 분석하였다.

2. 이론적 배경

2.1 서비스영역분석

네트워크 분석은 선형의 공간자료를 바탕으로 다양한 분석인자를 통하여 서로 연관된 일련의 선형 형상물의 연결성과 경로를 분석하는 것으로 노드와 링크로 구성된 모델을 구축하여 다양한 기법으로 분석할 수 있다. 크게 최단경로나 최소비용으로 비용경로를 찾는 경로탐색(path finding), 시설물을 적정한 위치에 할당하는 배분(allocation), 네트워크상에서 연결성을 추적하는 추적(tracing), 지역 간의 공간적 상호작용(spatial interaction), 수요에 맞게 가장 효율적으로 재화나 서비스 시설을 입지시키는 입지-배분(location-allocation) 기법으로 유형화된다. 네트워크 분석은 유량모델링, 상수관망 해석 등의 수자원분야; 도로, 철도 등의 교통 분야와 공공시설의 접근성 및 시설물의 최적입지 선정 등에 많이 활용되고 있으며 가장 효율적인 경로검색 또는 근접시설검색, 이동방향 생성, 이동 시간에 따른 서비스 영역 정의, Origin Destination (OD) 네트워크와 같은 네트워크 기반 분석에도 활용된다 (Kwon et al., 2015).

서비스영역분석은 네트워크분석 중 하나로 접근성을 바탕으로 특정 지점을 기준으로 하여 특정 소요시간, 속도, 이동거리 등 주어진 조건을 만족하는 영역을 분석하는 방법으로, 특정시간에 시설이 서비스할 수 있는 구역을 설정하는데 유용하다. 예를 들어 환자가 5분 내 도착할 수 있는 병원 찾기, 병원에서 5분 이내 구급차가 환자에게 도착할 수 있는 구급 서비스영역분석 확인, 파출소 관할지역 설정, 소방서의 적정위치 선정, 학교에서 통학 가능 영역 분석 등에 활용한다.

따라서 대피소의 서비스 영역은 보행자 유형별로 설정된

보행속도에 대한 대피소 서비스 영역이라 할 수 있다. 대피 대상면적 대비 보행속도 유형별 서비스 면적은 즉, 대피소 위치를 기준으로 도로네트워크 상 5분, 10분, 15분 이내 도달 가능한 영역을 표시하며, 대피시간 기준은 평균 보행속도를 1m/s로 가정했을 때 예를 들어 300 m, 500 m, 1,000 m 이내에 도달 가능한 공간 범위라 할 수 있다.

2.2 보행속도와 대피시간

보행속도는 사람이 걷는 속도로 일본의 경우 지진이나 쓰나미와 같은 재난 발생 시 주민이 신속히 대피소로 이동할 수 있도록 피난 계획 수립 시 주요인자로 활용한다. 그러나 보행자의 나이, 신장 등의 신체조건에 따른 개인차가 심하고, 보행시 다양한 장애물과 지형조건 등에 따라 보행속도도 달라짐으로 일률적으로 보행속도를 정의하는 데는 한계가 있다. 일반적으로 대피소까지 이동하는 보행속도에 대해서는 실외에 대한 보행경로를 대상으로 정의한다. 또한 개인차에 따라 편차가 심하기 때문에 평균보행속도로 보행속도를 정의하기도 한다. Park and Kim (2012)이 정리한 선행연구를 보면 보행자 유형별로 조건에 따른 보행속도의 평균은 느린걸음 1.006 m/s, 보통걸음 1.298 m/s, 빠른걸음 1.888 m/s로 나타났다.

보행시간은 재난·재해 발생 시 본인의 위치에서 신속하게 안전한 대피소로 이동할 때 걸리는 시간이다. 즉, 차량 등을 이용하지 않고 보행을 통해 이동하는 시간이다. 몇 분 이내에 대피소로 이동해야 하는지에 대한 정확한 근거나 지침은 없다. 노약자의 경우 통상적으로 보행권의 거리를 최소 300 m로 보고 있어 느린걸음(1 m/s)으로 300 m를 가는데 5분이 소요된다. 국립재난안전포털¹⁾에 따르면 국민의 안전을 위해 국내에 설치 또는 지정된 대피소는 주변 반경 5분 이내에 도착할 수 있는 대피소가 1개 이상 지정되어 있다고 한다.

국내에서는 자연재해에 대한 안전가이드가 단순히 대피 발령 후 최단 시간 내에 대피, 지진재해가 발생하는 경우는 30분 이내에 대피, 홍수나 침수의 경우는 대피발령 후 가장 가까운 대피소로의 이동이라는 정보만 알려주고 있다. 지진해일에 관한 계획으로서 E-30 (Evacuation-30 minutes)²⁾은 재난발생 뒤 기상특보 발령 후 30분 이내에 대피하는 30분 대피계획으로 활용되고 있다. E-30은 지진해일, 태풍, 호우 등 재난이 발생할 경우 재난 위험 발생 시 위험지역에 있는 주민이 30분 내에 안전지역으로 대피할 수 있도록 하는 것이다. 이에 따라 기상청은 지진이 발생할 경우 15분 이내에 특보를 발령과 동시에 지진해일 예상도착시간을 해당지역 시군구에 직접 전달하고, 중앙과 해당 지역의 재난안전대책 본부는 5분 이내에 경보사이렌, 대피안내방송, 재난문자발송 등을 통해 해당지역 주민에게 알리며, 25분 이내에 안전한

지역으로 대피하도록 안내한다. 이렇게 할 경우 지진발생 45분, 경보발령 후 30분까지 대피가 완료된다. 태풍이나 집중호우 등으로 인한 침수, 붕괴의 경우에도 기상특보와 동시에 경보가 발령되고 5분 이내에 주민대피가 시작돼 25분 이내에 대피를 완료하도록 하고 있다.

3. 적용

사례지역인 군산시는 바다와 접하고 있는 지리적 특수성으로 시내도심지(EL. 4.0 m)가 해수위(EL. 4.5 m)보다 낮아 집중호우시 상습 침수피해가 발생하는 연안도시이다(Ministry of the Interior and Safety, 2018).

서비스영역분석은 ArcGIS의 네트워크분석을 사용하여 네트워크 기반의 GIS분석을 수행하였다(ArcGIS, 2018). 일반적으로 서비스영역분석 시 시민은 본인이 이동할 수 있는 모든 도로망을 이동한다는 가정으로 분석을 수행하여야하므로 보행자 네트워크를 기준으로 하여 네트워크 데이터셋을 구축하였다. 이는 기존 연구에서 차량용 네트워크를 사용하여 분석한 것과 차별점을 갖는다. 보행자용 네트워크는 연속수치지형도, 도로명주소기본도, 항공사진 등을 이용하여 상세한 보행자길 정보를 구축한 지도이다. 또한 이동시 저항요소로 작용하는 경사와 고도정보를 추가로 작성하

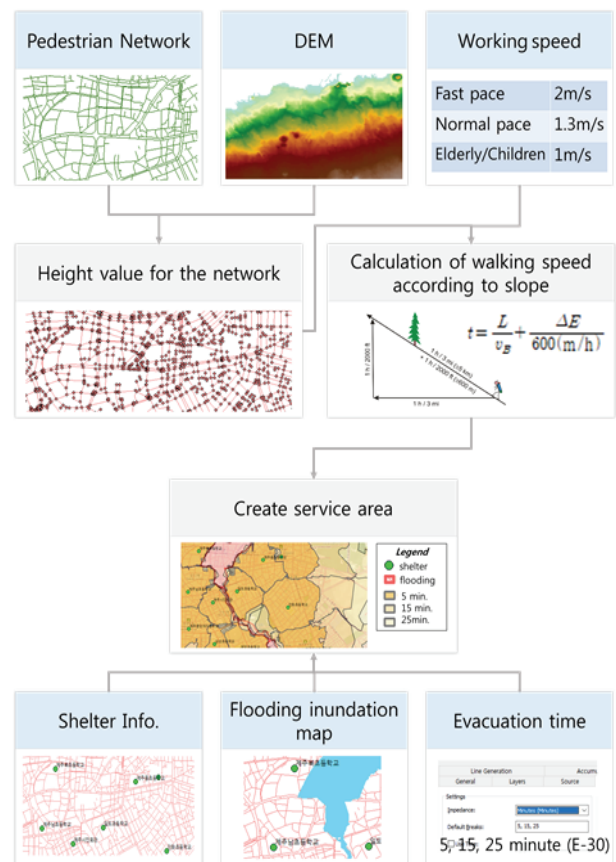


Fig. 1. Flow Chart

1) 국립재난안전포털(<http://www.safekorea.go.kr/>)
 2) 김포시 재난안전 대책본부 (http://www.gimpo.go.kr/safety/content.do?menu_cd=101565)

여 구성하였다. 네트워크의 개별 링크에는 경사도를 적용하여 경사도가 낮은 지역으로 우선 대피하도록 설정한다. 즉, 대피소까지의 도달까지 가장 넓고 완만한 도로가 우선적인 대피경로가 되도록 설정한다. 보행속도는 기존연구를 참조하여 보수적으로 설정하였다. 빠른 걸음 2 m/s, 보통걸음 1.3 m/s, 고령자 및 어린이는 1 m/s의 속도로 설정하였으며, 시간적 접근범위로는 최소 5분에서 최대 25분의 대피시간을 가정하였다(Fig. 1).

3.1 사용데이터

3.1.1 대피소

본 연구에서 활용한 대피소 데이터는 연구 대상 지역인 군산에 대하여 이재민 임시주거시설 정보를 이용하였다. ESRI shape file 형식의 점(point) 데이터로 구축하였으며, 좌표체계는 GRS80 타원체 기반, 단일평면직각좌표계로 제작하였다.

3.1.2 침수예상도

침수예상도는 재난안전기술개발사업단의 연구과제 성과물을 활용하였다(Ministry of the Interior and Safety, 2018). 연구 대상 지역에 대하여 각각 내수 및 외수 침수 구역으로 구분되어 있으며, 발생 빈도별·강우량별로 세부적인 침수 예상 영역이 구축되어 있다. 또한 각 침수예상도는 침수 시 예상 수심에 따라 분리된 폴리곤 형태로 구성되어 있다. 침수예상도 역시 ESRI shape file 형식을 따르며, 폴리곤 데이터로 이루어져 있다. 본 연구에서는 주거지구와 상업지구를 관류하는 도심지역의 하천인 군산시의 경포천을 대상 하천으로 작성한 침수지도를 사용하였다. 내수는 10년 빈도, 500 mm, 180분 강우시 내수에 의한 침수예상도를 사용하고, 외수는 10년 빈도, 500 mm, 360분 강우시 외수에 의한 침수예상도를 사용하였다.

3.1.3 보행자용 네트워크

서비스영역분석은 각 시설물로부터 최단거리를 산출하여 그 거리를 기준으로 영역을 생성하는데, 이때 가장 중요한 기반 데이터가 바로 최단거리 산출을 위한 배경 도로망도이다. 본 연구에서는 대피소별 서비스영역분석을 위한 배경 도로망으로서 보행자용 도로 네트워크를 이용하였다.

기존의 선행 연구에서는 대부분 차량용 도로 네트워크를 기반으로 최단거리 또는 대피경로 등을 산출하였다. 그러나 풍수해 발생 시 차량 및 기타 대중교통을 이용하기 어려우며 즉각적인 대피가 요구되므로, 대피 영역 및 대피 경로 산출시 보행자 입장에서 이용할 수 있는 최단거리의 탐색이 필요하다. 보행자용 도로 네트워크는 차량용에 비하여 더욱 상세한 도로까지 표현되어 있으며, 특히 도로 가장자리 보도, 횡단보도, 지하보도, 기타 보행자전용도로 등 보행자가 이동할

수 있는 경로들이 상세하게 구축되어 있다는 특징이 있다.

본 연구에서는 국가공간정보포털 오픈마켓³⁾을 통하여 보행자용 DB를 제공받아 활용하였다. 보행자용 네트워크 데이터는 보행자가 이동할 수 있는 경로에 대한 모델이므로, 차량용 도로 네트워크와는 달리 보행자가 실제로 이동해야 하는 경로를 탐색할 수 있다. 따라서 짧은 거리 내에서는 더 정확한 경로를 산출할 수 있다. 또한 차량과는 달리 보행자의 이동 과정은 회전 제한이나 방향 제한 등을 고려할 필요가 없으므로 모든 도로 링크에 대하여 양방향 통행을 가정하고 탐색한다.

3.1.4 수치표고모델

본 연구는 보행자를 대상으로 하므로 보행 소요 시간에 따라서 대피 영역 및 대피 경로 산정이 이루어져야 한다. 그런데 보행자의 속도는 차량의 경우와 달리 경로의 경사도에 크게 영향을 받는다. 또한 홍수 피해에 대한 대피는 주로 낮은 곳에서 높은 곳으로 이루어지기 때문에, 분석 과정에서 경로의 경사도를 반드시 고려하여야 한다. 특히 고령자와 어린이의 경우 경사도를 고려하여 보행 소요 시간을 결정할 필요가 있다.

경사도를 고려하기 위하여, 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM)을 활용하였다. DEM은 지표의 각 지점의 고도 값이 수치로 저장되어 있는 래스터 데이터로서, 도로 네트워크와 중첩함으로써 각 도로의 높이 차를 계산하여 활용할 수 있다. 본 연구에서는 국가공간정보포털 오픈마켓을 통하여 90 m × 90 m 해상도의 데이터를 제공받아 활용하였다. 이 데이터는 각 시군구별로 분할되어 구축되어 있으며, 좌표체계는 TM좌표계(중부원점)로 이루어져 있다.

3.2 서비스 영역 생성 프로세스

각 대피소별 서비스 영역을 생성하기 위하여 일반적으로 활용되는 서비스영역분석 방법을 적용하였다. 서비스영역 분석은 비즈니스 및 공공서비스 분야 등 많은 GIS 응용 분야에서 여러 시설물의 서비스 제공 범위를 산출하기 위하여 활용되는 방법이다. 도로망도를 바탕으로 각 시설물에 대하여 정해진 시간 내 도달 범위를 산출하거나, 최단시간 내 도달할 수 있는 시설물에 따라 공간을 분할 할당할 수 있다.

서비스영역분석은 Fig. 1과 같은 과정에 의하여 이루어진다. 먼저 배경이 되는 보행자용 도로 네트워크 데이터를 서비스영역분석에 활용할 수 있는 형식의 네트워크 데이터 셋으로 변환한다. 이 때, DEM으로부터 추출한 높이 값과 보행 속도 통계를 이용하여, 서비스영역분석을 위한 보행 소요시간을 산정하여 입력한다. 이렇게 생성된 네트워크 데이터를 기반으로 서비스 영역 레이어를 생성하고, 여기에

3) 국가공간정보포털 오픈마켓(<http://data.nsd.go.kr>)

대피소 시설 데이터와 침수예상도 데이터를 융합하여 서비스 영역 레이어를 구성한다. 서비스 영역은 개별 대피소의 대피시간별 서비스 영역으로 구축할 수 있다.

3.2.1 네트워크 데이터셋 생성

보행자용 도로 네트워크는 서비스영역분석의 배경으로 사용하기 위하여 노드/링크 구조⁴⁾의 네트워크 데이터셋으로 변환하여야 한다. 도로 네트워크 사이의 연결 관계가 식별 가능해야만 최단거리 탐색 및 서비스 영역을 생성할 수 있기 때문이다. 이 과정은 네트워크 분석을 위해 일반적으로 수행되는 과정이다.

3.2.2 보행소요시간

서비스영역분석은 도로 네트워크상의 도로를 이동하는데 소요되는 비용을 기준으로 하여 이루어진다. 이 비용 값은 네트워크 데이터셋 생성 과정에서 입력하여야 한다. 비용으로 다양한 요소들을 고려할 수 있지만, 대피 영역의 경우 가장 중요한 요소는 이동 시간이다. 이동 시간은 기본 속도, 도로의 길이, 그리고 경사도(높이차)에 의하여 결정된다.

먼저 보행 기본 속도는 기존의 연구를 참고하여 성인의 경우 보통 걸음 1.3 m/s, 빠른 걸음 2 m/s, 고령자나 어린이의 경우 1 m/s로 가정하였다. 도로의 길이를 속도로 나누면 소요시간을 계산할 수 있다. 예를 들어 고령자 또는 어린이가 50 m의 도로를 이동하는 데 소요되는 시간은 (50 m) / (1 m/s) = 50초이다.

여기에 경사도를 고려하면 최종적인 보행 소요시간을 계산할 수 있다. 일반적으로 진행 방향으로 경사도가 높을수록 보행 소요시간이 증가한다. 경사도에 따른 보행 소요시간을 예측하는 데는 네이스미스의 법칙(Naismith's Rule; Naismith, 1892)이 가장 널리 알려져 있다. 네이스미스의 법칙은 오르막 길에서 경사도에 따른 보행 속도를 예측하기 위한 어렵짐작 방법의 하나로서 1892년 스코틀랜드의 산악인 윌리엄 네이스미스(William W. Naismith)에 의하여 제안되었다. 그에 따르면 보통의 사람은 3마일을 걷는 데 1시간이 소요되는데, 오르막의 경우 높이 차이 2000피트당 소요 시간이 1시간씩 증가한다고 하였다(Naismith, 1892). 미터법으로 적용할 경우 보통 3마일 대신 5 km, 2000피트 대신 600 m로 계산한다. 따라서 어떤 도로 구간의 보행 소요시간(t , 단위: 초)은 대략적으로 Eq. (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$t(s) = \frac{L}{v_B} + \frac{\Delta E}{600} * 3600 \quad (1)$$

4) 노드/링크(Node/Link) 구조: 네트워크 데이터 구조에서, 구간의 끝점들이 만나는 점을 나타내는 '노드'와 구간의 선형을 나타내는 '링크'의 두 레이어로 나누어져 있고 각 노드와 링크 간 연결 관계를 나타내는 위상 정보가 포함되어 있는 데이터 구조

Eq. (1)에서 L 은 도로 구간의 길이(단위: m), v_B 는 기준 속도(보통 걸음: 1.3 m/s, 고령자/어린이: 1 m/s), ΔE 는 끝점과 시작점 사이의 높이 차이(단위: m)이다.

본 연구에서는 오르막 뿐 아니라 내리막길의 경사도를 함께 반영하기 위하여 수정된 Langmuir 법칙을 적용한다. Langmuir (1984)에 따르면 오르막길에서는 네이스미스의 법칙이 일반적으로 적용될 수 있으나, 내리막길에서는 경사도에 따라 보행 조건이 다양하게 달라지기 때문에 이를 반영하여 소요 시간을 예측하여야 한다. 따라서 내리막길의 경사도에 따라 서로 다른 보정 규칙을 적용하도록 하였다. 즉, 경사각 0도에서 5도 사이의 내리막길에서는 소요시간을 보정하지 않으며, 5도에서 12도 사이의 완만한 내리막길에서는 높이 차이 1800 m당 소요 시간이 1시간씩 감소하고, 12도 이상의 급한 내리막길에서는 오히려 높이 차이 1800 m당 소요 시간이 1시간씩 증가한다. 따라서 본 연구에서는 Langmuir의 수정된 법칙에 따라 보행 소요 시간을 계산하였다.

본 연구에서는 DEM을 이용하여 각 도로 구간의 양 끝점의 높이 값을 추출하여 소요 시간 계산에 활용하였다. 즉, 도로 구간 양 끝점의 높이 값을 비교하여 대상 도로가 오르막인지 내리막인지 구분하고, 내리막일 경우 경사도에 따른 보정 규칙 적용을 위해 대략의 경사도를 계산하였다. 이렇게 산출된 소요 시간은 네트워크 데이터셋 생성 과정에서, 각 도로 구간 객체의 속성정보로 입력된다.

3.2.3 시설 데이터와 제한영역 입력

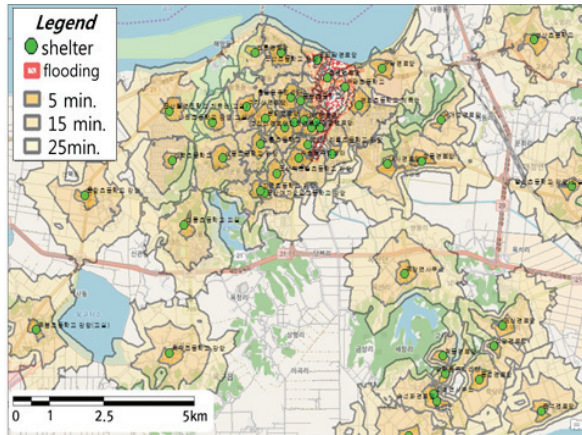
먼저 서비스영역분석을 수행하기 위하여 분석의 기준점이 되는 대피소 데이터를 시설(facilities) 데이터로 입력한다.

서비스영역분석에서는 제한 영역(barrier)을 입력함으로써 네트워크 데이터 중에서 통행할 수 없는 부분 또는 통행에 제한을 받는 부분을 설정할 수 있다. 본 연구에서는 침수예상도를 제한 영역으로 입력하여 각 대피소의 서비스 영역을 산출할 때에 침수가 예상되는 지역을 고려하였다. 즉, 어떤 경로가 침수 예상 지역을 지나는 경우, 해당 도로는 통행에 제한 또는 방해가 받으므로 그만큼의 통행 비용이 가산된다. 이때 통행 비용은 침수예상도에 함께 구축되어 있는 침수 수심 값에 의하여 결정된다.

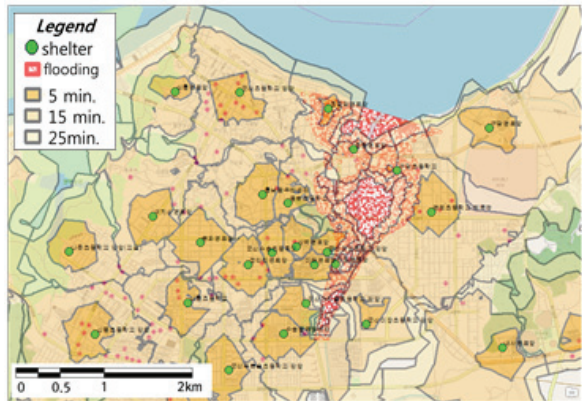
3.3 서비스 영역 생성 결과

본 연구에서는 시설(대피소)별 및 거리 기준치(대피 시간)별 서비스 영역에 해당하는 서비스 영역을 생성하였다. 각 대피소별/대피 시간별 서비스 영역 산출 결과는 다음과 같다 (Fig. 2).

군산시의 경우 도서 지역에 대피소가 다수 위치하고 있기 때문에, 도서 지역을 최대한 포함하여 대피소 서비스 영역을 생성하였다.



(a) Result of Service Area of Gunsan



(b) Downtown area



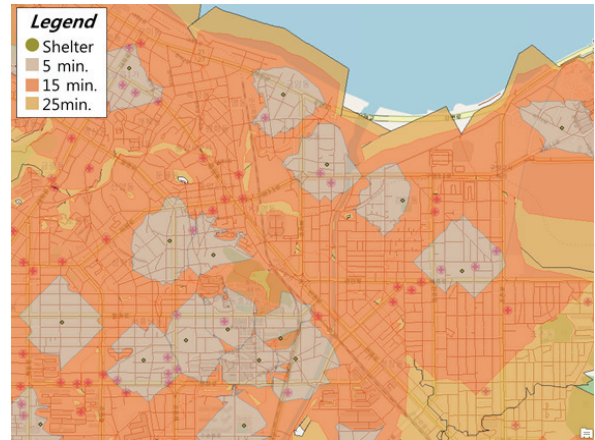
(c) Offshore island

Fig. 2. Result of Creating Service Area

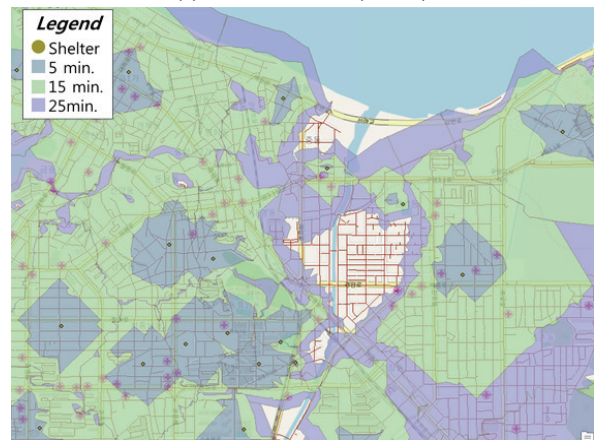
3.3.1 침수예상지에 따른 대피소 서비스 영역

본 연구에서는 침수예상도를 이용하여 침수예상지를 고려한 대피소별 서비스 영역을 생성하였다. 침수예상지에 따라서 생성되는 서비스 영역 결과를 비교하면 다음 Fig. 3과 같다. Fig. 3(a)는 고령자/어린이의 보행속도로 침수예상도를 고려하지 않고 서비스영역을 만든 결과이며, Fig. 3(b)는 침수예상도를 반영하여 수정된 서비스영역 결과이다. 3(b)의 경우 경포천이 광범위하게 범람할 것으로 예상되는 지역은 대피소의 서비스영역이 구축되지 않았음을 확인할

수 있다. 실제로 두 사례의 생성된 서비스영역의 면적을 비교하면 Fig. 3(b)의 면적이 줄어들었다. 침수가 예상되는 위치에서는 동일한 대피 시간 내에 이동할 수 있는 거리가 침수되지 않는 위치보다 짧아지게 된다. 따라서 동일한 대피 시간에 대한 서비스 영역이 좁아지게 된다. 또한 각 대피소까지의 도달 시간 역시 달라지기 때문에, 가장 빨리 도착할 수 있는 대피소가 달라지는 경우도 발생할 수 있다.



(a) Service Area (1 m/s)



(b) Service Area including Flooding Map (1 m/s)

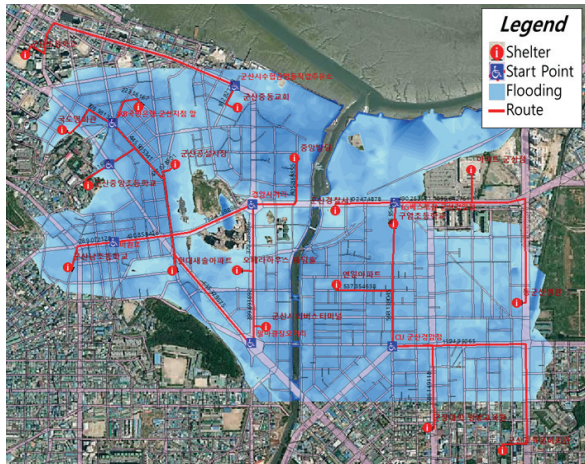
Fig. 3. Service Area According to Flooding Map

3.3.2 보행자 네트워크 활용

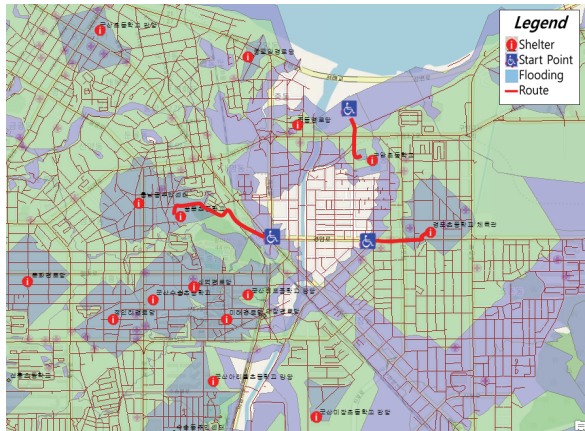
침수예상지 주변에서는 각 대피소까지 도달하는 최단 경로 또한 침수예상지를 고려하지 않았을 때와 다르게 나타나는 경우가 있으므로, 이에 따라 가장 빨리 도달할 수 있는 대피소까지의 대피 경로 역시 기존의 대피 경로와 다른 결과로 산출된다. 본 연구에서 생성한 서비스 영역을 바탕으로 미리 설정된 출발지로부터 대피 경로를 산출하여, 그 결과를 기존 대피 콘텐츠의 대피 경로와 비교하였다.

Fig. 4는 외수에 의한 침수예상지를 고려한 대피소별 서비스 영역을 바탕으로 다시 산출한 대피 경로를 보여준다. 기존 대피 콘텐츠의 대피 경로와 비교하면, 기존의 경로들 중 침수예상지를 가로질러 대피하는 경로 대신 침수예상지

를 회피하여 다른 대피소로 향하도록 하는 경로로 변경된 경우가 발생하였다. 짧은 시간 내에 대피를 완료하여야 하는 급박한 상황에서는 침수 위험이 높은 위치를 피하여 조금이라도 더 빠른 시간 내에 대피소에 도착할 수 있어야 하므로 위와 같이 침수예상지를 고려한 서비스 영역이 효과적인 대피에 도움을 줄 수 있다. 또한 새로운 대피 경로는 보행자용 도로 네트워크를 활용하였기 때문에 더 짧은 경로를 산출하였다는 의의가 있었다.



(a) Existing Evacuation Routes



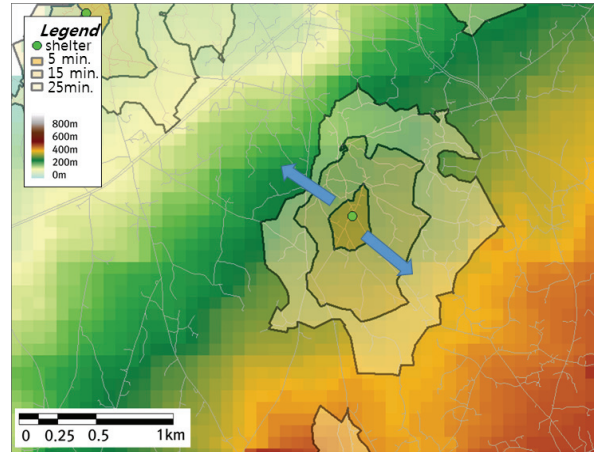
(b) Evacuation Routes by Service Area

Fig. 4. Results of Evacuation Routes Considering Service Area

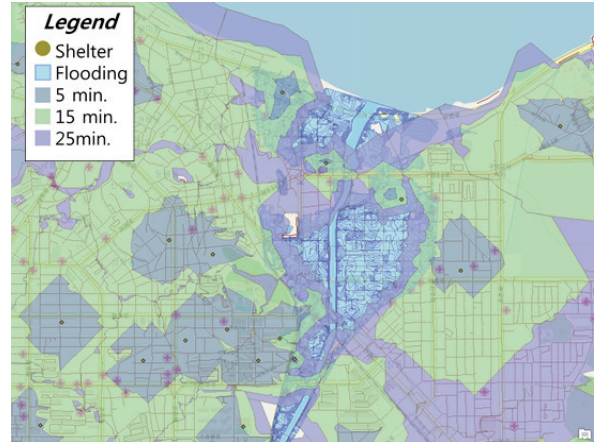
3.3.3 도로의 경사를 포함한 보행속도 차이

본 연구에서는 보행 소요 시간 산정 과정에서 도로의 경사도를 고려하였기 때문에, 대피소의 서비스 영역 역시 대피소에 접근하는 방향으로의 경사도에 따라 그 범위가 다르게 나타난다. 경사도를 고려하지 않고 대피소의 서비스 영역을 산출한 결과로서, 영역의 범위가 방향에 관계없이 비교적 균등하게 나타난다. 반면 Fig. 5(a)는 도로의 경사도를 이용하여 보행 소요 시간을 계산하고 그를 기준으로 서비스 영역을 산출한 결과이다. 그림에서 확인할 수 있듯이, 고도가 낮은 위치에서 높은 위치에 있는 대피소로 접근하는 방향의

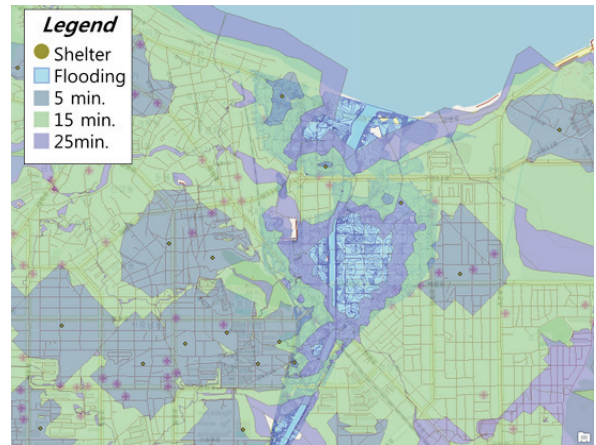
경우에는 동일한 대피 시간 내에 도달할 수 있는 서비스 영역의 범위가 좁게 나타난다. 고도가 높은 곳에서 낮은 위치에 있는 대피소로 접근하는 방향의 경우에는 위치에 따라 범위가 넓은 곳과 좁은 곳이 모두 나타난다. Figs. 5(b)와 5(c)는 보행속도를 달리 적용한 서비스영역으로 고령자와 어린이의 5분 이내 도달 가능한 대피소의 범위가 도심지에서 많이 부족한 것을 확인할 수 있었다.



(a) Service Area Considering Slope



(b) Service Area (1 m/s)



(c) Service Area (1.3 m/s)

Fig. 5. Service Area Considering Walking Speed and Slope

4. 결론

대피소 입지나 규모 등에 관한 정량적 기준이 없는 현실에서 접근성을 고려한 대피소 입지 분포에 대한 실증분석 연구를 진행하였다. 구체적으로 풍수해예방정보 중 대피소의 수용범위를 일반성인의 보행속도와 재해약자의 보행속도, 침수예상지역을 적용하여 풍수해 재해에 취약한 연안 도시에 대해 현존하는 대피소의 서비스 영역 즉, 안전범위를 분석하였다.

본 연구에서는 경사로의 이동부하를 고려한 도보거리의 계측방법을 고안하여 서비스 영역설정에 반영하였다. 침수 예상지를 반영하여 침수가 예상되는 위치에서는 대피소 서비스 영역이 좁아지게 되므로 대피 시간이 상대적으로 길어지는 영역을 생성하였다. 침수가 예상되는 위치에서는 동일한 대피 시간 내에 이동할 수 있는 거리가 침수되지 않는 위치보다 짧아져서 동일한 대피 시간에 대한 서비스 영역이 좁아지게 되었다. 따라서 각 대피소까지의 도달 시간 역시 달라지기 때문에, 가장 빨리 도착할 수 있는 대피소가 달라지는 경우도 발생하였다.

보행자 네트워크는 차량용에 비하여 도로 양측 보도, 횡단 보도, 지하보도, 보행자전용도로 등 더욱 상세한 도로까지 표현하고 있어 보행자 기준의 최단거리를 탐색하여 기존보다 더 짧은 경로를 산출하였음을 알 수 있었다.

본 연구를 통해 재난발생시 대피요령, 대피장소, 대피경로 등의 대피계획 관련사항을 도면에 표시하여 재해발생시 지역주민이 직접 활용하는 지도로서 재해정보지도의 기본이 되는 피난활용형 재해정보지도로 본 연구의 결과물을 활용할 수 있는 수단이 될 것으로 기대된다.

향후 인구밀도 등을 고려한 네트워크 분석 기반의 입지할당모형을 적용하여 대피소 신설이나 임시 대피소 설치를 위한 최적입지분석의 기반자료로 사용하여 추가 연구를 실행할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 [MOIS-재난-2015-03].

References

ArcGIS. (2018). *Service Areas Analysis*. Retrieved from desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/net

work-analyst/service-area.htm

- Ashar, F., Amaratunga, D., and Haigh, R. (2014). The analysis of Tsunami vertical shelter in Padang city. *Procedia Economics and Finance*, Vol. 18, pp. 916-923.
- Kwon, J., Yoon, D., and Koh, J. (2015). Analysis of shelters acceptable range according to evacuation speed during flood disaster by severe rain storm. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 3, pp. 115-123.
- Langmuir, E. (1984). *Mountaincraft and Leadership. Official Handbook of the Mountain Leader Training Boards of Great Britain and Northern Ireland*. Scottish Sports Council.
- 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 slop and difference of walking speed by age: Case study of Seoul, Korea. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 23, No. 2, pp. 69-77.
- Ministry of the Interior and Safety. (2018). *Development of the evaluation technology for complex causes of inundation vulnerability and the response plans in coastal urban areas for adaptation to climate change*. Disaster and Safety Management Institute, MOIS, Republic of Korea (in Korean with English abstract).
- Naismith, W.W. (1892). Excursions. Cruach Ardran, Stobinian, and Ben More. *Scottish Mountaineering Club Journal*, Vol. 2, No. 3, p. 136.
- National Disaster Management Research Institute. (2014). *Technology development of integrated shelter management and evacuee support in shelter*. National Disaster Management Research Institute, Republic of Korea (in Korean with English abstract).
- 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.

Received	September 17, 2018
Revised	September 19, 2018
Accepted	October 1, 2018