건물 대피안내도를 활용한 실내 네트워크 구축 기법 연구

Indoor Network Generation Using Building Evacuation Maps

박슬아* · 김성용** · 유기윤*** · 김정옥****

Park, Seula*, Kim, Seong Yong**, Yu, Kiyun***, and Kim, Jung Ok****

Abstract

With the development of indoor positioning technology, there is a growing demand for location-based services such as indoor navigation systems. For such services, it is essential to construct an indoor network of walkable spaces. In this study, we propose a method to construct an indoor network using evacuation maps that can be easily obtained in most buildings. Since the proposed method extracts information for movement represented in the evacuation maps through the deep learning, indoor network can be generated efficiently. In addition, we designed the attribute tables of the network for utilization to actual services directly. We verified the appropriateness of the methodology by constructing an indoor network of parts of the Seoul National University.

Key words : Indoor Network, Indoor Spatial Information, Evacuation Map, Indoor Network Attribute, Conditional Generative Adversarial Network (cGAN)

요 지

복잡한 형태의 대형 건물이 증가하고, 실내 측위 기술이 발달하면서 실내 길안내 서비스와 같은 위치기반 서비스에 대한 수요가 증가하고 있다. 이러한 서비스를 위해서는 실내의 보행 가능 공간에 대한 네트워크 구축이 필수적이다. 본 연구에서는 쉽게 취득이 가능한 실내 대피안내도를 활용하여 실내 네트워크를 구축하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법론은 대피안내도에 포함되어 있는 출입구와 경로 정보를 딥 네트워크를 통해 추출하여 활용하기 때문에 효율적으로 노드와 링크를 생성할 수 있다. 또한 각 출입구에서 복도까지 연결되는 추가 링크를 생성하여 실내 모든 공간에서 층의 주출입구까지 이동 가능한 네트워크를 구축할 수 있다. 본 연구에서는 기하정보 뿐 아니라 실제 서비스에 활용하기 위해 필요한 속성 항목들을 설계하였으며, 실제 서울대학교 31동의 4개 층에 대한 실내 네트워크의 기하와 속성정보를 구축하여 방법론의 적절성을 검증하고자 하였다.

핵심용어 : 실내 네트워크, 실내 공간정보, 대피안내도, 실내 네트워크 속성정보, 조건부 생성적 적대 신경망

1. 서 론

건물의 규모가 커지고 그 형태가 복잡해지면서, 실내에서의 공간 정보 활용에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 특히 실내 측위 기술이 발달하면서 실내에서의 위치

정보를 기반으로 하는 여러 서비스의 제공이 가능해졌는데, 그 중에서도 실내에서 원하는 목적지를 찾기 위한 길안내 서비스에 대한 수요가 증가하고 있다(Taneja et al., 2011). 실내 길 안내 서비스를 위해서는 공간적 요소들의 연결 정보 구축이 필요하고, 연결 정보의 기본 요소로써 실내

*정회원, 서울대학교 건설환경공학부 박사과정(E-mail: seula90@snu.ac.kr)

Member, Ph.D Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University

**서울대학교 건설환경공학부 석사과정

Master's Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University

***서울대학교 건설환경공학부 교수

Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University

****교신저자, 정회원, 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

네트워크가 필요하며(Kim et al., 2015), 특히 복잡한 대형 건물 내부에서는 이동 네트워크를 통해 사람들에게 원하는 목적지를 찾도록 할 수 있다(Dao and Thill, 2018).

실내 이동경로 모델링과 관련하여 여러 연구가 수행되었는데, Taneja et al. (2011)은 Industry Foundation Classes (IFC) 파일을 활용하여 Straight Medial Axis Transform (S-MAT)과 수정된 Medial Axis Transform (MAT) 알고리즘을 적용하여 Geometric Topology Network (GTN)로 변환하기 위한 프로세스를 제안하였다. Isikdag et al. (2013)과 Teo and Cho (2016)는 실내 모델링을 위해 CAD나 BIM을 활용하여, 객체를 기반으로 하는 공간 모델링을 수행하였고, Meijers et al. (2005)은 실내 모델 생성을 위해 그래프 모델을 적용하였다.

Kim et al. (2015)은 클라우드 소싱으로 수집한 보행자 이동 데이터를 활용하여 실내 네트워크를 생성하였다. 수집한 데이터를 단순화하여 노드와 엣지의 관계를 기반으로 기본 네트워크를 생성하고, 이를 보정한 후 층간 연결을 통해 네트워크 데이터를 구축하였다. 그러나 이러한 방식은 높은 수준의 실내 측위가 가능한 환경에서 수집된 데이터가 충분히 확보된 경우에 한해 적용 가능하다는 한계가 있다.

실내 경로 안내는 출입구 간 연결 정보를 기반으로 보행 가능 공간에 대한 안내를 포함한다(Liu and Zlatanova, 2011). 실내 대피안내도는 벽체, 출입구, 창문, 엘리베이터, 계단실 등 건물 내부 정보를 표현(Peter et al., 2010)하고 있을 뿐 아니라 사람의 이동을 위한 경로 정보도 포함하고 있다. 이러한 대피안내도는 건물에서 쉽게 획득할 수 있는 이미지 데이터로, 단일 층에 대해 모든 공간의 출입구와 각 층별 주출입구 정보를 포함하고, 복도를 중심으로 보행 가능 경로를 표현하기 때문에 네트워크를 구성하기 위한 기반 데이터로 활용하기에 적합하다고 볼 수 있다. 실제로 기존 연구들에서 실내 모델링을 위해 대피안내도를 활용하기도 하였는데, Haala et al. (2011)은 경로 정보를 제외하고 벽체나 심볼만을 추출하였다. Peter et al. (2011)의 경우는 대피안내도에 표현된 문 정보를 활용하여 사용자의 위치를 파악하기도 하였으나, 역시 선이나 화살표로 표현되는 경로나 이동 방향 정보는 제거하여 활용하였다.

본 연구에서는 실내 대피안내도 이미지를 활용하여 실내 네트워크 데이터를 구축하기 위한 방법론을 제안하고자 한다. 대피안내도는 도면과는 달리 건물 내에서 단순 촬영만으로 쉽게 획득할 수 있을 뿐 아니라 이미 보행 가능 경로에 대한 정보를 포함하고 있다. 대피안내도의 벽체나 심볼 정보를 활용한 기존 연구와는 달리 본 연구에서는 대피안내도가 표현하는 보행 가능 경로 정보를 사용하고자 한다. 이에 따라, 제안한 방법을 통해 실내의 보행 가능 공간을 별도로 추출하지 않아도 실내 공간의 보행 링크를 구축할 수 있다. 제안한 방법론에 따라 구축된 데이터는 출입구 노드와 출입구 간 연결을 위한 링크로 구성된 실내 네트워크 데이터이며, 이에 따라 향후 층별 실내 경로안내 서비스에 활용될 수

있을 것으로 기대된다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2.1절에서는 실내 네트워크의 기하 정보를 구축하기 위한 방법을 설명한다. 2.2절에서는 네트워크의 속성 데이터베이스(database, DB)의 각 항목을 설계하고, 2.3절에서는 제안한 방법론을 서울대학교 31동에 적용하여 실내 네트워크 데이터를 구축하여 방법론의 적절성을 평가한다. 마지막 3장에서는 연구의 결론을 맺고, 향후 연구 방향을 제시하고자 한다.

2. 실내 네트워크 구축

대피안내도는 출입구와 대피 경로 정보를 포함하여 소화전과 같은 다양한 심볼, 호수와 층수 등의 텍스트 정보 등 많은 정보를 포함하고 있고, 이들은 각각 다양한 형태로 표현되어 있기 때문에 단순히 포맷의 변환으로 벡터 형태의 실내 네트워크 맵을 구성하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 conditional Generative Adversarial Network (cGAN)를 적용하여 대피안내도 이미지를 네트워크 맵 이미지로 변환하여 대피안내도에 표현된 많은 정보들 중에서 네트워크를 구성하기 위한 출입구 정보와 경로 정보만을 추출할 것이다. 추출된 정보는 각각 포인트와 라인 데이터로 변환하여 위치 조정을 통해 노드와 링크로 정의하고자 하며, 실제 서비스에 직접 활용하기 위한 속성 DB를 설계하고자 한다.

Fig. 1은 대피안내도 기반 실내 네트워크 구축을 위한 프로세스를 나타내며, 입력 데이터로는 다양한 유형의 실내 대피안내도 이미지(Fig. 2)가 사용된다. 딥 네트워크를 통해 입력 이미지에서 추출된 정보는 각각 경로와 출입구(공간 출입구와 주출입구)로 분리되어 벡터화와 보정을 거치며, 이후 속성정보 생성을 통해 최종적으로 실내 네트워크를 구축할 수 있다.

Fig. 1. Network Generation Process

Fig. 2. Examples of Building Evacuation Maps with Evacuation Route and Entrances

2.1 기하정보 구축

실내 대피안내도는 각 공간에 대한 출입구 정보와 층별 주출입구 정보를 표현하고 있을 뿐 아니라 복도 중심의 보행 가능로 정보를 나타낸다(Fig. 2). Peter et al. (2010)에 따르면, 실내 대피안내도에 사용되는 각 기호들이나 심볼들은 표준화된 형태로 사용되므로 템플릿 매칭 알고리즘을 통해 쉽게 추출 가능하다. 그러나 실제 대피안내도에 포함되는 정보는 Fig. 2와 같이 그 형태가 통일되지 않고 다양하기 때문에 네트워크 구축에 필요한 정보만을 분리하기 어렵다는 한계를 가진다. 따라서 본 연구에서는 다양한 유형의 실내 대피안내도를 활용하여 cGAN (Isola et al., 2017)을 학습시켜 네트워크 구성에 필요한 보행 가능로와 출입구 정보만을 포함하는 실내 네트워크 맵 이미지를 생성하고자 한다. Isola et al. (2017)에 따르면, cGAN은 이미지의 기본 구조를 유지한 상태에서 스타일을 변환하기 위한 네트워크로 특정 목적에 대한 도메인 변환(domain transfer) 문제에 적합하다. 따라서 해당 딥 네트워크를 통해 도면과 대피 경로, 각종 텍스트 정보 등 많은 정보를 포함하는 이미지에서 네트워크 데이터를 구성하는 데 필요한 문(출입구)과 대피 경로(보행 가능로)만 가지는 새로운 이미지로 변환할 수 있다. 본 연구에서 사용한 cGAN은 U-Net 기반의 생성 네트워크(generator)와 PatchGAN 기반 판별 네트워크(discriminator)로 구성되며, 도면이미지에 적합하도록 Isola et al. (2017)의 네트워크¹⁾와 비교하여 L1 에러와 패치 크기를 조정하였다.

cGAN을 통해 변환된 스타일의 네트워크 맵은 보행 경로, 방의 출입구, 층의 주출입구의 3가지 정보를 포함하며, 추출된 정보는 픽셀 값을 기준으로 분류되어 벡터화할 수 있다. 본 연구에서는 추출된 출입구 픽셀을 노드로 변환하기 위한 방법을 제안하였으며, 해당 프로세스는 Fig. 3과 같다. 먼저 출입구 픽셀군을 폴리곤으로 변환한 후 중심점을 추출하여 노드 후보군으로 변환한다. 노드 후보군과 기 구축된 벽체 데이터를 중첩하여 매칭 쌍을 생성한 후, 각 매칭 쌍 간의 거리가 임계값 이하일 경우에는 벽체 데이터와 교차하도록

노드 후보군의 위치를 보정한다. 보정한 노드를 출입문 폴리곤과 중첩 비교하여 교차하지 않는 노드 후보에 대해서는 다음으로 가까운 벽체로 매칭 쌍을 업데이트한 후 동일 과정을 반복한다. 만약 임계값 이상의 거리를 가질 경우에는 잘못 추출된 노드 후보로 판단하여 해당 노드를 후보군에서 삭제할 수 있다. 이 때 임계 거리로는 출입구 폴리곤의 폭과 높이 중 최대값으로 지정할 수 있다. 모든 노드 후보군에 대해 처리가 완료되면 최종 후보군을 출입구 노드로 정의하여 속성 정보를 생성한다.

Fig. 3. Node Generation Process

Fig. 4는 추출된 경로 픽셀을 링크로 변환하기 위한 프로세스를 나타낸다. 먼저 경로 픽셀군에 스켈레톤 알고리즘을 적용하여 세선화 후 세그먼트로 변환할 수 있다. 세선화 과정에서 오류가 발생할 경우, 경로 픽셀군을 폴리곤으로 인식하여 경로의 가장자리를 듀얼라인으로 추출하게 된다. 실내에서 사람의 이동은 특정한 방향성을 따르지 않으므로, 경로 정보는 단일 선으로 표현하는 것이 적합하다. 따라서 변환한 세그먼트에 대해 듀얼라인 여부를 체크하여 대피안내도 상의 복도 폭 이하의 거리를 가지는 듀얼라인의 경우에

1) <https://github.com/affinelayer/pix2pix-tensorflow>

Fig. 4. Link Generation Process

는 두 라인의 중심선을 추출하고 해당 듀얼라인은 삭제한다. 추출된 경로 정보가 완전하지 않은 경우 연속적인 경로 정보가 아닌 분절된 형태의 세그먼트의 집합으로 링크가 생성될 수 있다. 따라서 듀얼라인 문제가 해결된 세그먼트에 대해서 불연속 부분이 존재하는 지 탐색한다. 대피안내도에서 추출된 경로 정보는 단순화된 단일 선 객체이므로, 각 세그먼트에 대해 일정 반경 내에 위치하는 가장 가까운 이웃 세그먼트에 연결하여 불연속 문제를 해결할 수 있다. 연결성 문제가 해결된 라인에 대해서는 실내 링크로 정의 후 속성 정보를 생성한다.

대피안내도는 복도를 중심으로 경로 정보를 표현하고 있기 때문에, 실내 모든 공간에서 주출입구까지 이동 가능한 네트워크를 구축하기 위해서는 각 출입구와 복도 간의 연결

링크를 생성할 필요가 있다. 또한 건물 구조에 따라 복도와 바로 연결되지 않는 방 내부의 방과 같은 경우에는 두 공간을 연결하는 추가 링크를 생성하여, 안쪽 공간에서 바깥 공간의 출입구를 통해 복도 링크와 연결되도록 링크를 구축해야 한다. Fig. 5는 이러한 추가 링크를 생성하는 프로세스를 나타낸다. 먼저 연결된 링크가 없는 노드들에 대해서는 가장 가까운 링크와 연결하는 링크를 생성한다. 생성한 링크를 벽체 데이터와 중첩하여 교차하는 부분이 없을 경우에는 생성한 링크를 새로운 링크로 저장할 수 있다. 벽체와 교차하는 경우에는 생성한 링크를 삭제하고, 교차하는 벽체에 위치한 노드를 탐색하고 해당 노드와 연결하여 새로운 링크를 재생성하여 저장할 수 있다. 저장된 추가 링크에 대해서는 속성정보를 생성하여 실내 링크로 정의한다.

2.2 속성정보 구축

본 연구에서는 네트워크의 출입구 노드와 보행로 링크로 구성된 실내 네트워크의 속성 DB를 설계하고자 한다. 실내 차량 이동이 아닌 보행이 이루어지는 공간이기 때문에, 실내 네트워크 역시 보행자 수준의 네트워크 설계가 필요하다. 하지만 현재 제공되는 보행자 네트워크의 속성정보는 실외를 기준으로 설계되어 있기 때문에, 방의 고유번호나 출입구 정보와 같이 실내에 특화된 속성 항목을 포함하고 있지 않다. 이에 따라, 국가공간정보포털에서 제공하는 길안내 도로망도의 보행자 네트워크의 노드와 링크가 포함하는 속성정보(National Geographic Information Institute, 2014)와 Isikdag et al. (2013)에서 정의한 속성정보를 기반으로 실내 네트워크의 노드와 링크의 속성 DB를 설계하였으며, 각각의 레이아웃은 Tables 1, 2와 같다.

Fig. 5. Additional Link Generation Process

Table 1. Node Attribute Table

FIELD	TYPE	DIGIT	DEFINITION	NOT NULL	DESCRIPTION
NODE_ID	NUM	10	Unique number for node ID	Y	
ENTRANCE_YN	NUM	2	Main Entrance Y/N	Y	0: Y 1: N
FLOOR	NUM	3	The number of floor	Y	
NODE_TYPE	NUM	2	type of node	N	1: corridor 2: inner room
DOOR_ID	NUM	10	Unique number for door ID	N	NOT NULL, if ENTRANCE_YN= 1
CELL_ID	NUM	10	Unique number for cell (room) ID	N	NOT NULL, if ENTRANCE_YN= 1
NUM_LINK	NUM	2	The number of connected links	N	
R_COORDI_X	NUM	10	X relative coordinate	N	
R_COORDI_Y	NUM	10	Y relative coordinate	N	
DATE	CHAR	8	Date of generation	N	YYYYMMDD

Table 2. Link Attribute Table

FIELD	TYPE	DIGIT	DEFINITION	NOT NULL	DESCRIPTION
LINK_ID	NUM	10	Unique number for link ID	Y	
ENTRANCE_YN	NUM	2	Main Entrance Y/N	Y	0: Y 1: N
FLOOR	NUM	3	The number of floor (level)	Y	
S_NODE_ID	NUM	10	NODE_ID for start node of the link	Y	
E_NODE_ID	NUM	10	NODE_ID for end node of the link	Y	
LINK_TYPE	NUM	2	Type of link	N	1: corridor 2: room to room
DATE	CHAR	8	Date of generation	N	YYYYMMDD

구축한 노드는 ‘노드 ID’ 항목을 통해 고유 번호를 부여하여 관리할 수 있다. 또한 각 노드의 ‘주출입구 여부’ 속성을 통해, 층간 연결을 위한 층별 주출입구인지, 각 공간의 출입구 인지 구분이 가능하다. 링크 레이어는 속성 항목으로 ‘링크 ID’를 포함하여 ‘주출입구 여부’, ‘층수’, ‘시작 및 끝 노드 ID’, ‘링크 유형’과 ‘구축 날짜’ 항목을 포함하도록 설계하였다. 노드와는 달리 링크의 ‘주출입구 여부’ 항목은 층간 연결을 위한 층별 주출입구 노드와 연결된 링크인지 여부를 의미한다. 또한 ‘링크 유형’ 항목에 대해서는 복도에 위치하는 링크인 경우와 안쪽 방과 바깥 쪽 방을 연결하는 링크로 분류하였다.

3. 적용 및 평가

네트워크의 학습을 위해 웹 서칭을 통해 취득한 다양한 유형의 실내 대피안내도 이미지 200장을 활용하였다. 학습

된 모델을 서울대학교 31동의 대피안내도에 적용하여, 이동 경로와 출입구 정보를 추출하였으며, 그 결과는 Fig. 6과 같다. 추출한 이미지의 벡터 변환과 속성정보 구축을 위해 ArcGIS 10.1에서 제공하는 모델 빌더와 파이썬 OpenCV, GDAL 라이브러리를 활용하였다.

추출된 주출입구 정보와 각 공간의 출입구 정보는 노드 생성 프로세스(Fig. 3)를 거쳐 포인트 데이터로 변환하였다. 생성된 노드에 ID를 부여하고, 속성정보를 입력하여 최종적으로 31동의 각 층별로 출입구 노드 데이터를 구축하였다.

대피안내도에서 추출한 경로 정보는 링크 생성 프로세스(Fig. 4)를 통해 라인 데이터로 변환하였으며, 해당 복도 링크로부터 방의 출입구까지 최단 경로로 연결하여 추가 링크를 생성하였다(Fig. 7). 방 안쪽에 위치한 방의 경우에는 Fig. 5와 같이 벽체와의 중첩 여부를 판단하여 바깥 방의 출입구를 통과하여 복도 링크와 연결되도록 링크를 생성하였다. 층별 주출입구의 한 점을 기준점으로 잡아 연결하여

(a) evacuation map and network map for 2nd floor

(b) evacuation map and network map for 4th floor

Fig. 6. Extracted Information of SNU 31dong

(a) without additional links

(b) with additional links connecting entrance to corridor

Fig. 7. Examples of Additional Links; wall - dotted line, corridor route - solid line, additional link - thick solid line

(a) 2nd Floor and 4th Floor

(b) Indoor Network for Four Floors of 31dong

Fig. 8. Generated Indoor Network

층간 연결 링크를 생성하였으며, 최종적으로 31동 4개 층에 대해 구축한 실내 네트워크는 Fig 8과 같다. 해당 네트워크의 노드는 31동의 층별 주출입구와 각 방의 출입구를 나타내고, 링크는 31동 내부의 모든 공간에서 각 층의 주출입구까지의 연결을 포함하기 때문에, 구축된 실내 네트워크를 따라 31동 실내의 각 공간에서 외부로의 이동이 가능하다고 볼 수 있다.

제한한 방법론을 통해 구축한 실내 네트워크의 정확도를

판단하기 위해 기준 네트워크를 생성하여 비교하였다. Kim et al. (2015)에 의하면, 기준 네트워크를 생성할 때, 방을 하나의 셀로 구성할 수 있고 방의 진입로를 통해 방과 복도를 연결할 수 있다. 이에 따라 각 공간의 출입구를 노드로 생성하였고, 출입구에서 복도까지의 최단 경로를 링크로 생성하여 기준 네트워크를 구축하였다. 기준 네트워크와 본 연구에서 구축한 실내 네트워크를 비교한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Precision and Recall of Generated Network

		Precision	Recall
1 st floor	Node	0.77	0.82
	Link	0.87	0.88
2 nd floor	Node	0.71	0.87
	Link	0.79	0.92
3 rd floor	Node	0.77	0.89
	Link	0.84	0.84
4 th floor	Node	0.77	0.83
	Link	0.83	0.89

생성된 네트워크의 정밀도와 재현율을 바탕으로 F1 스코어를 계산한 결과, 각 층에 대해 노드의 F1 스코어는 평균적으로 0.795의 값을 가지는 것으로 나왔다. 링크의 경우에는 평균 0.853의 F1 스코어를 나타냈다.

서울대학교의 대피안내도의 경우 보행이 불가능한 창고와 같은 공간에 대해서도 출입구가 표현되어 있기 때문에 해당 출입구와 그 연결 정보가 노드와 링크로 잘못 생성되는 오류를 포함하는 것으로 확인하였다. 이러한 오류는 학습 데이터를 증가시켜 딥 네트워크를 통한 네트워크 맵 변환 시, 보행 불가능한 공간을 필터링 하여 정보를 추출하도록 하여 해결할 수 있을 것으로 기대한다.

4. 결 론

본 연구에서는 실내 대피안내도 이미지를 활용하여 실내 네트워크를 구축하기 위한 방법론을 제안하였다. 제안한 방법론을 서울대학교 31동 대피안내도에 적용하여 4개 층에 대한 층별 네트워크를 구축하였다.

본 연구에서 제안한 방법론을 적용하여 실내 네트워크를 구축하는 경우 다음과 같은 의미를 가진다. 첫째, 건물에서 쉽게 획득할 수 있는 대피안내도 이미지를 활용하기 때문에 BIM이나 CAD와 같이 벡터화 된 도면이 존재하지 않는 경우에 대해서도 실내 네트워크 구축이 가능하다. 둘째, 기존에 구축된 경로와 출입구 정보를 활용하기 때문에, 보행 가능 공간과 경로를 새롭게 추출하지 않아도 실내 네트워크의 노드와 링크를 생성할 수 있어 효율적이다. 셋째, 건물 내 부착되어 있는 대피안내도 이미지를 간단하게 촬영하는 방식으로 다량의 데이터 수집이 가능하기 때문에, 이를 통해 딥 네트워크를 학습하여 정보를 추출할 경우 딥 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있어 정확도 높은 실내 네트워크의 기하 정보 구축이 가능하다.

현재 층별로 구축된 네트워크의 층간 연결점의 자동 생성과, 계단실이나 외부 출입구에 대한 추가적인 노드 구축은 향후 해결해야 할 과제이다. 또한 실외 지도의 건물 레이아웃

매칭을 통해 실내의 연계 길안내 서비스에 활용 가능한 실내 네트워크의 구축이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토공간정보연구사업(18NSIP-B135746-02)과 행정안전부 재난안전기술개발사업단(MOIS-재난-2015-03)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Dao, T.H.D., and Thill, J.C. (2018). Three-dimensional indoor network accessibility auditing for floor plan design. *Transactions in GIS*, Vol. 22, No. 1, pp. 288-310.
- Haala, N., Fritsch, D., Peter, M., and Khosravani, A. (2011). Pedestrian navigation and modeling for indoor environments. *Proceedings of 7th International Symposium on Mobile Mapping Technology*, Cracow, Poland.
- Isikdag, U., Zlatanova, S., and Underwood, J. (2013). A BIM-oriented model for supporting indoor navigation requirements. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 41, pp. 112-123.
- Isola, P., Zhu, J.-Y., Zhou, T., and Efros, A.A. (2017). Image-to-image translation with conditional adversarial networks. *Proceedings of 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Honolulu, HI, USA, pp. 5967-5976.
- Kim, B.G., Li, K.J., and Kang, H.K. (2015). Generation of indoor network by crowdsourcing. *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 23, No. 1, pp. 49-57.
- Liu, L., and Zlatanova, S. (2011). A “door-to-door” path-finding approach for indoor navigation. *Proceedings of 2011 GeoInformation for Disaster Management*, Antalya, Turkey.
- Meijers, M., Zlatanova, S. and Pfeifer, N. (2005). 3D geoinformation indoors: Structuring for evacuation. *Proceedings of Next Generation 3D City Models*, Bonn, Germany, Vol. 6, pp. 11-16.
- National Geographic Information Institute. (2014). *Manual of road network for pedestrian*. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, South Korea, pp. 2-3.
- Peter, M., Haala, N. and Fritsch, D. (2011). Using photographed evacuation plans to support MEMS IMU navigation. *Proceedings of 2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*,

Guimarães, Portugal.

- Peter, M., Haala, N., Schenk, M. and Otto, T. (2010). Indoor navigation and modeling using photographed evacuation plans and MEMS IMU. *A Special Joint Symposium of ISPRS Technical Commission IV & AutoCarto in conjunction with ASPRS/CaGIS 2010 Fall Specialty Conference*, November 15-19, 2010 Orlando, Florida.
- Taneja, S., Akinci, B., Garrett, J., Soibelman, L. and East, B. (2011). Transforming IFC-based building layout information into a geometric topology network for indoor navigation assistance. *Proceedings of*

International Workshop on Computing in Civil Engineering, pp. 315-322.

- Teo, T.A., and Cho, K.H. (2016). BIM-oriented indoor network model for indoor and outdoor combined route planning. *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 30, No. 3, pp. 268-282.

Received	September 4, 2018
----------	-------------------

Revised	September 7, 2018
---------	-------------------

Accepted	October 1, 2018
----------	-----------------