

오픈스트리트맵 도로망 완성도 및 정확도 평가: 화성특례시를 사례로*

홍일영**

Assessment of OpenStreetMap Road Network Completeness and Positional Accuracy: A Case Study of Hwaseong Special City*

Ilyoung Hong**

요약 : 본 연구는 화성특례시 4개 권역을 대상으로 OpenStreetMap(OSM) 도로망의 완성도와 위치 정확도를 국토지리정보원 공식 도로망과 비교하여 평가하였다. 2025년 OSM Korea PBF 자료와 공식 도로망 자료를 동일 좌표계로 변환한 뒤, 총연장 기반 완성도, 누락 도로의 공간분포, RMSE 및 5m·10m 버퍼 기반 위치 일치율을 분석하였다. 분석 결과, 완성도는 동탄구 137.93%, 병점구 99.37%, 효행구 68.75%, 만세구 56.33%로 권역별 차이가 컸으며, 위치 정확도는 RMSE 2.02~4.41m로 전반적으로 양호하였다. 다만 동탄구의 100% 초과 완성도는 분석에서 이용한 OSM과 공식 도로망 간 도로 유형 포함 범위의 차이에 따른 상대적 결과로 해석할 필요가 있다. 본 연구의 결과는 공식 도로망과 사용자 참여를 통해 작성한 OSM 도로망 간의 상호 보완적 활용의 가능성을 제시한다.

주요어 : OpenStreetMap, 도로망 품질 평가, 완성도, 위치 정확도, 화성특례시

Abstract : This study evaluates the completeness and positional accuracy of the OpenStreetMap (OSM) road network in four districts of Hwaseong Special City by comparing it with the official road network provided by the National Geographic Information Institute (NGII). The 2025 OSM Korea PBF data and the official road network data were transformed into the same coordinate system, and district-level analyses were conducted using total road length-based completeness, spatial distribution of missing roads, RMSE, and 5 m and 10 m buffer-based positional matching rates. The results show substantial regional variation in completeness: Dongtan District recorded 137.93%, Byeongjeom District 99.37%, Hyohaeng District 68.75%, and Manse District 56.33%. Positional accuracy was generally favorable, with RMSE values ranging from 2.02 to 4.41 m. However, the completeness value exceeding 100% in Dongtan District should be interpreted as a relative result caused by differences in road-type coverage, including footways, cycleways, and service roads in OSM. This study highlights the potential for complementary use of public road network data and OSM.

Key Words : OpenStreetMap, Road network quality assessment, Completeness, Positional accuracy, Hwaseong Special City

*이 논문 또는 저서는 2024년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문사회분야 중견연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2024S1A5A2A01022062).

**남서울대학교 드론공간정보공학과 부교수(Associate Professor, Department of Drone & GIS Engineering, Namseoul University, ilyoung.hong@nsu.ac.kr)

I. 서론

공간정보의 개방과 활용이 활발해짐에 따라 공공기관 뿐만 아니라 민간 및 일반 사용자에게 의해 생성되는 자발적 공간정보(Volunteered Geographic Information, VGI)의 중요성이 크게 부각되고 있다(Goodchild, 2007; Goodchild and Li, 2012). 그 대표적인 사례로 OpenStreetMap(OSM)은 누구나 자유롭게 공간 데이터를 생성·편집·공유할 수 있는 오픈 플랫폼으로, 2000년대 중반 이후 전 세계적으로 빠르게 성장하고 있다(Haklay and Weber, 2008). 특히 도로망, 건물, 토지피복 등 다양한 주제에서 연구 및 응용 사례가 늘어나면서, OSM은 기존의 공공지도 데이터를 보완할 수 있는 대안적 자료로 주목받고 있다(Sehra *et al.*, 2014; Brovelli and Zamboni, 2018).

OSM에서 도로망 데이터는 전체 데이터 중 가장 활발히 생성·편집되는 항목으로, 공간 네트워크 분석, 내비게이션 시스템, 교통 시뮬레이션 등 다양한 응용 분야에서 핵심적인 역할을 수행한다(Barron *et al.*, 2014). 이러한 도로망 데이터는 기여자의 위치 인식과 이동 경로를 반영한 결과물로서, 건물이나 POI(Point of Interest) 항목에 비해 상대적으로 갱신 빈도가 높고 도시 구조의 실제 공간적 패턴을 잘 반영하는 특성이 있다. 그러나 동시에, OSM 데이터는 지역별 사용자 수와 활동 밀도에 따라 품질 편차가 발생하기 쉽고, 도심과 비도심 간의 불균형이 두드러지게 나타나는 한계가 있다(Koukoletsos *et al.*, 2012; Zielstra and Hochmair, 2012). 따라서 OSM 도로망의 완성도와 정확도를 분석하는 것은 VGI 데이터 전반의 품질 구조를 이해하고 개선 방향을 모색하는 데 의미 있는 시도가 될 수 있다.

한편 국내에서는 국토지리정보원 등 공공기관을 통해 고정밀의 국가공식 도로망 데이터가 제공되고 있다. 일반적으로 국가에서 제공하는 데이터의 경우 VGI 방식에 비해 갱신 주기가 상대적으로 길고 실시간 변화 반영이 어렵다는 구조적 한계를 지닌다. 반면 OSM은 사용자 참여를 기반으로 최신 정보가 빠르게 축적될 수 있어, 두 데이터 간의 상호보완적 활용 가능성이 크다(Kanasugi *et al.*, 2019). 특히 도시개발이 빠르게 진행되거나 공공데이터의 갱신 주기가 긴 지역에서는, OSM의 실시간성과 민간 참여 기반 특성이 데이터 갭(Data Gap)을 메우는 중요한 대안으로 작용할 수 있다. 이러한 점에서 OSM 도로망 데이터의 품질 수준과 지역별 완성도를 체계적으로 평가

하는 것은 향후 공간정보 융합정책 수립 및 공공-민간 데이터 연계 전략 마련에 필수적인 기초 자료로서 의의가 있다.

국내의 경우 수도권이나 주요 대도시권에서는 OSM 데이터의 구축 수준이 비교적 양호했지만, 중소도시나 외곽 지역에서는 도로 누락과 공간적 불균형이 여전히 존재한다. 그럼에도, 국내에서 수행된 OSM 품질 관련 연구들은 대부분 특정 지역을 대상으로 한 사례연구에 머물렀으며(이재은 등, 2016), 지역적인 차이에 대한 분석은 충분히 이루어지지 않았다. 또한 OSM 기여자의 참여 정도와 공간적 품질 간의 상관관계를 정량적으로 분석한 연구는 제한적이다. 해외에서는 Haklay(2010), Neis *et al.*(2012), Zielstra and Zipf(2010) 등이 도로망 완성도 및 위치정확도에 대한 비교 연구를 통해 OSM의 품질 구조를 체계적으로 제시한 반면, 국내에서는 이러한 접근이 아직 초기 단계에 머물러 있다.

이에 본 연구는 2026년 2월, 4개 일반구 체제로 개편된 화성특례시를 사례 대상으로, OSM 도로망 데이터의 완성도와 위치 정확도를 정량적으로 평가하였다. 화성특례시는 농촌·해안 지역(만세구), 대학 중심 준도시 지역(효행구), 기존 시가지(병점구), 계획 신도시(동탄구)가 명확히 구분된 4개 일반구로 구성되어 있어, 단일 행정 단위 내에서 상이한 도시화 단계별 OSM 품질 특성을 통제된 조건에서 비교할 수 있는 최적의 사례 지역이다. 이는 미국 카운티 단위에서 대도시·비대도시·농촌 간 OSM 품질 차이를 분석한 Li *et al.*(2025)의 연구와 유사한 맥락이지만, 본 연구는 화성시 내부 하위 단위인 4개 구 간의 비교를 통해 보다 미시적인 공간 품질 구조를 조명한다.

본 연구는 기존 연구에서 충분히 다루어지지 않았던 단일 도시 내부 권역 간 OSM 도로망 완성도 비교를 수행함으로써, 국내 OSM 데이터의 공간적 불균형과 품질 편차를 실증적으로 규명하고자 한다. 특히 화성특례시는 계획 신도시, 기존 시가지, 준도시 지역, 농촌·해안 지역이 하나의 행정구역 안에 공존하고 있어, 도시화 단계에 따른 OSM 도로망 품질 차이를 비교하기에 적합한 사례 지역이다. 이러한 분석은 향후 공공 도로망 데이터와 OSM 간의 상호 보완적 활용체계 구축 및 민간 참여형 공간데이터 관리 전략 수립에 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. 이론적 배경 및 관련 연구

공간정보의 개방과 활용이 활발해짐에 따라 공공기관 뿐 아니라 민간 및 일반 사용자가 생산하는 자발적 공간 정보(Volunteered Geographic Information, 이하 VGI)의 중요성이 점차 커지고 있다(Goodchild, 2007; Goodchild and Li, 2012). 그 대표적인 예가 OSM으로, 2004년 영국에서 시작된 오픈소스 기반의 공간데이터 구축 프로젝트이다(Haklay and Weber, 2008). OSM은 Web 2.0 기술의 발전, GPS 보급, 오픈데이터 운동의 확산과 함께 빠르게 성장하였으며, 현재 전 세계 수백만 명의 사용자가 참여하고 있다(Neis and Zielstra, 2014).

OSM은 정부 주도의 공간정보 구축 체계와 달리 사용자 참여형 클라우드소싱 모델에 기반하므로, 시의성과 세부 표현력이 높고, 기여자 활동이 활발한 지역일수록 데이터의 공간적 밀도가 높게 나타난다. 그러나 동시에 기여자 수의 지역별 편중, 태그의 비표준화, 속성 누락 등으로 인한 품질 불균형 문제가 존재한다(Girres and Touya, 2010). 이러한 비균질성은 데이터 갱신 과정에서도 발견되며, 예를 들어 스트리트뷰 영상을 활용한 보행 장애물 정보 갱신 연구(박슬아·송아람, 2021)에서도 공간객체 자동추출 기술의 정확도 및 갱신 빈도가 지역별로 상이하게 나타나는 한계를 확인하였다.

OSM 데이터는 기하 구조(geometry)와 속성(attribute) 정보를 기반으로 노드(Node), 웨이(Way), 릴레이션(Relation)의 세 가지 객체로 구성된다. 노드는 위도와 경도를 가지는 점형 객체로, 교차점이나 POI(Point of Interest)를 표현하는 데 사용된다. 웨이는 여러 노드가 연결된 선 또는 면 구조로, 도로, 하천, 건물 경계 등을 나타낸다. 릴레이션은 여러 노드나 웨이, 혹은 다른 릴레이션을 논리적으로 묶어 복합 객체를 표현한다. 이러한 구조는 OSM이 단순한 도로지도가 아닌, 사회적·교육적 학습 도구로도 활용될 수 있는 기반을 제공한다(이규영·김영훈, 2020).

공간데이터의 품질은 일반적으로 위치 정확도(positional accuracy), 속성 정확도(attribute accuracy), 시간적 정확도(temporal accuracy), 논리적 일관성(logical consistency), 완성도(completeness)의 다섯 가지 요소로 평가된다(Guptill and Morrison, 2013). 이 중 완성도(completeness)는 현실 세계의 참조 데이터와 비교하여 누락된 객체의 비율을 평가하는 핵심 지표로 활용된다. Zhou and Tian(2018)과

Zhou and Lin(2019)은 도로망의 완성도를 평가하기 위해 기준 데이터 대비 객체 누락률, 도로 연장 비교, 도로 유형별 포함률, 격자 기반 커버리지, 도로망 폐쇄성(closed block ratio) 등을 제시하였다. 해외에서는 Haklay(2010), Zielstra and Hochmair(2012), Helbich *et al.*(2012) 등이 OSM의 품질을 정량화하였으며, 도심 지역의 커버리지는 높으나 외곽 지역에서는 누락이 많음을 보고하였다.

국내 연구들은 OSM 공간데이터를 활용하여 도시 접근성, 도로 연결성, 사회적 활용성 등을 다양한 관점에서 분석해 왔다(홍일영, 2024). 예를 들어 김유나 등(2024)은 신시가지 간의 가로연결성을 비교 분석하여 도시 유형별 도로망 구조의 공간적 특성을 제시하였다. 또한 이상수·김영옥(2013)은 가로망의 이동성 평가지표를 개발하여 탄소저감형 도시 설계와 도로 연결 구조의 효율성 간의 관계를 분석하였다. 이와 같은 연구들은 OSM 도로망이 도시분석에 있어서 유용하게 활용되고 있음을 시사한다. 이와 유사하게 국내에서도 정한유 등(2017)은 스마트폰 내비게이션 시스템의 사용자 데이터를 활용하여 일반통행도로 정보를 자동 갱신하는 방법을 제시하였으며, 이는 OSM의 기여자 기반 정보 갱신 구조와 유사한 클라우드소싱 접근 방식이라 할 수 있다. 또한 백민혁 등(2023)은 가상환경에서 OSM을 기반으로 구축된 자율주행 실증맵의 성능을 평가하여, OSM이 실세계 지리정보를 가상공간에서 재현할 수 있는 실질적 활용 가능성을 제시하였다. 한편, 공간 네트워크 기반 접근성 연구도 OSM 품질 평가와 밀접한 관련이 있다. 전병운 등(2024)은 고령 인구의 보행속도를 고려한 공공서비스시설 접근성을 분석하였는데, 이는 공간 네트워크의 현실적 반영 정도가 사회적 활용성을 결정짓는다는 점을 보여준다. 이러한 연구들은 OSM 데이터가 단순히 지도 제작용 데이터 세트를 넘어 도시 공간의 연결성(connectivity), 이동성(mobility), 접근성(accessibility)을 평가하는 핵심 자료로 확장될 수 있음을 뒷받침한다.

이와 같이, OSM 데이터는 데이터 접근 및 활용의 편의성 덕분에 다양한 도시 연구 및 공간정보 분석에 활발히 활용되고 있으나, 기존 연구가 특정 지역이나 주제에 국한되어 있으며 국내 OSM 도로망의 완성도와 공공데이터 간의 정합성을 종합적으로 비교한 사례는 부족한 상황이다. 이에 본 연구는 화성시를 사례지역으로 OSM 도로망의 완성도를 정량적으로 평가하고, 국가수치지도와의 비교를 통해 품질 수준을 진단하고자 한다.

III. 연구방법

1. 연구자료 및 분석 과정

본 연구에서는 OSM 도로망 데이터의 품질을 평가하기 위해 완성도와 정확도를 핵심 평가지표로 설정하였다. OSM은 자발적 참여 기반의 클라우드소싱 공간 데이터이므로, 품질 평가는 국가기관에서 제작한 권위 있는 참조 데이터(authoritative data)와의 비교를 통해 수행하였다.

본 연구는 공공기관이 제작한 참조 데이터를 기준으로 OSM 도로망과의 비교를 통해 품질을 평가하는 외부 평가 접근법(extrinsic quality assessment)을 사용하였다. 외부 참조자료 기반 품질평가는 VGI 데이터의 품질을 공공기관 또는 상업기관이 구축한 참조 데이터와 비교하여 평가하는 방식으로, OSM 도로망 품질평가 연구에서 널리 활용되어 왔다. 선행연구에서는 OSM 도로망의 완성도를 평가하기 위해 참조 도로망 대비 총연장, 세그먼트 수, 누락 도로 비율, 도로 유형별 포함률 등을 활용하였으며, 위치 정확도는 OSM 도로 중심선과 참조 도로 중심선 간 최단거리(RMSE), 버퍼 기반 일치율 등을 통해 평가하였다. 본 연구는 이러한 선행연구의 방법론을 바탕으로 총연장 기반 완성도, 누락 구간의 공간분포, RMSE 기반 위치 오차, 5m·10m 버퍼 기반 위치 일치율을 분석지표

로 설정하였다.

분석에 사용된 데이터는 다음과 같다. 평가 대상 데이터는 Geobank 웹사이트에서 제공하는 2025년 OSM Korea PBF(Protocolbuffer Binary Format) 형식 데이터를 활용하였다. 참조자료는 브이월드 디지털트윈국토에서 제공하는 국토지리정보원 연속수치지형도 도로중심선 자료를 사용하였다. 해당 자료는 SHP 형식으로 제공되며, 브이월드 자료 설명에 따르면 갱신주기는 연간이고 데이터 좌표계는 [GRS80] UTM-K(EPSG:5179)이다. 본 연구에서는 2025년 8월 1일 갱신 자료를 내려받아 사용하였으며, 분석 과정에서 OSM 도로망과의 좌표계 일치를 위해 세계측지계 중부원점 평면직각좌표 2010(KGD2002 / Central Belt 2010, EPSG:5186)으로 투영 변환하였다. 다만 OSM 자료와 공식 도로망 자료는 생산 방식과 갱신 체계가 서로 다르므로, 완성도 분석 결과는 동일 시점의 절대적 누락률이라기보다 자료 기준 시점과 도로 유형 포함 범위의 차이를 고려한 상대적 비교 결과로 해석하였다.

본 연구는 화성특례시를 단일 사례지역으로 선정하였다(그림 1). 화성시는 2026년 2월 4개 일반구 체제로 개편되었으며, 각 구는 뚜렷이 구분되는 도시화 특성을 갖는다. 동탄구는 2000년대 중반 이후 조성된 계획 신도시, 병점구는 1990년대 형성된 기존 시가지, 효행구는 대학교 중심의 준도시 지역, 만세구는 농촌·해안 지역에 해당한다. 이러한 구역 구분은 단일 행정단위 내에서 계획도시-



그림 1. 연구 대상지역인 화성특례시의 위치 및 4개 일반구 행정경계(만세구·효행구·병점구·동탄구, 2026년 2월 개편 기준)

구도심-준도시-농촌의 4단계 도시화 스펙트럼을 통제된 조건으로 비교 분석할 수 있는 최적의 연구 설계를 제공한다.

데이터 취득에는 두 가지 단계의 전처리 과정을 수행하였다. 첫째, OSM PBF 데이터를 GIS 데이터 형식으로 변환한 후, 행정경계 자료를 기준으로 클립하여 연구 대상 지역의 도로망만을 추출하였다. 둘째, 두 데이터셋을 세계측지계 중부원점 평면직각좌표 2010(KGD2002 / Central Belt 2010, EPSG:5186)으로 투영 변환하여 좌표계를 통일하였다. 이러한 전처리 과정을 통해 분석의 일관성과 정확성을 확보하였다. 데이터의 전처리 및 공간 분석에는 QGIS와 ArcGIS의 지오프로세싱 분석도구를 활용하였다.

본 연구의 전체 분석 흐름은 그림 2와 같이 요약할 수 있다. 먼저 데이터 수집 단계에서는 Geobank로부터 2025년 OSM Korea PBF 파일을, 브이월드 디지털트윈국토에서 국토지리정보원 제작 공식 도로망 데이터를 확보하

였다. 데이터 전처리 단계에서는 PBF를 Geodatabase로 변환하고, 화성시 4개 권역 경계로 클립한 후, 좌표계를 EPSG:5186으로 통일하였다. 품질 분석 단계는 완성도 분석과 위치 정확도 분석으로 이원화하여 수행하였다. 완성도 분석에서는 OSM과 기준 도로망의 총 연장 비교를 통한 정량적 평가와 세그먼트 식별 및 커널 밀도 분석을 통한 공간적 누락 패턴 분석을 병행하였다. 위치 정확도 분석에서는 Generate Near Table 도구를 활용하여 RMSE를 계산하였고, 5m·10m 버퍼 기반 일치율 분석을 수행하였다. 최종적으로 권역별 결과를 종합하여 공간적 품질 편차를 해석하고, 공공데이터와 OSM의 상호 보완 전략 수립을 위한 시사점을 도출하였다.

2. 도로망 완성도(Completeness) 분석

도로망 완성도는 OSM 도로망이 참조 도로망 대비 어느 정도 구축되어 있는지를 평가하는 지표이다. 본 연구

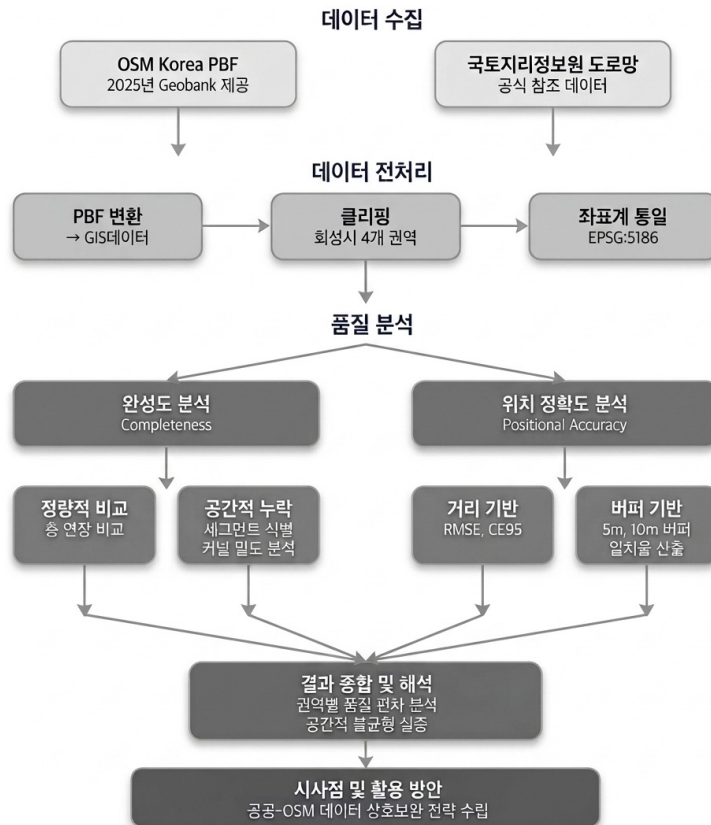


그림 2. OSM 도로망 완성도 및 위치 정확도 분석 흐름도

에서는 선행연구에서 활용된 총연장 기반 비교 방식을 적용하여 OSM 도로망과 NGII 도로망의 상대적 구축 수준을 분석하였다. 다만 OSM과 NGII 도로망은 도로 유형 포함 범위와 세그먼트 분할 방식이 다르기 때문에, 본 연구의 완성도 값은 절대적 품질 지표라기보다 두 데이터셋 간 상대적 도로 연장 비율로 해석하였다. 또한 정량적 비교만으로는 누락 도로의 공간적 분포를 파악하기 어렵기 때문에, 본 연구에서는 총연장 기반 완성도 분석과 공간적 누락 패턴 분석을 병행하였다.

$$\text{도로망 완성도}(\%) = (L_{\text{OSM}} / L_{\text{NGII}}) \times 100$$

여기서 L_{OSM} 은 OSM 도로망의 총 연장(m), L_{NGII} 은 NGII 도로망의 총 연장(m)이다. 완성도 평가를 위해 도로망을 시군구별로 클립하여 완성도를 분석하였고, 공간분석 도구를 활용하여 두 데이터셋 간의 공간적 차이를 분석하였다. 본 연구는 도로 기하 객체의 완성도와 위치 정확도에 초점을 두었으므로, 속성 누락이나 분류 오류 등 속성 정보의 차이는 분석 범위에 포함하지 않았다. 따라서 본 연구의 공간적 누락 분석 결과는 도로 기하 객체 기준의 상대적 완성도를 나타낸다. 참조 도로 데이터는 국토지리정보원의 도로중심선 데이터, OSM 도로 데이터를 테스트 데이터로 지정하고, 화성시 각 구별 단위로 누락된 도로 세그먼트를 분석하였다.

다음으로, 공간적 누락 패턴 분석은 참조 데이터에는 존재하지만 OSM 데이터에는 없는 도로 세그먼트를 식별하여 지리적 누락 분포를 파악하는 과정이다. 누락 세그먼트의 공간적 분포를 시각화하기 위해 누락된 도로를 점형자료로 변환하여 커널 밀도 분석(Kernel Density Analysis)을 적용하여 누락 도로가 집중된 핫스팟 지역을 식별하였다. 이를 통해 도시지역과 농촌지역, 신도시와 구도심 등 지역 특성에 따른 OSM 데이터 구축 수준의 차이를 공간적으로 분석할 수 있다.

3. 도로망 정확도(Accuracy) 분석

위치 정확도는 OSM 도로 중심선과 참조 도로 중심선 간의 공간적 편차를 평가하는 지표이다. 본 연구에서는 선행연구에서 사용된 거리 기반 위치 오차 분석과 버퍼 기반 위치 일치율 분석을 병행하였다.

첫 번째 방법은, 거리 기반 위치 오차 분석으로 OSM

도로 세그먼트와 참조 도로 간의 직접적인 위치 편차를 측정하는 방식을 활용하였다. 각 OSM 도로 세그먼트에 대해 가장 인접한 참조 도로까지의 최단 거리를 계산하고, 평균 위치 오차(Mean Offset), 제곱평균제곱근 오차(RMSE) 등을 계산하였다. 위치 편차 값에 따라 도로 세그먼트를 5개 등급(0-3m, 3-5m, 5-10m, 10-20m, 20m 이상)으로 분류하고, 각 등급별로 색상을 구분하여 위치 오차 분포도를 작성하였다. 이러한 시각화 결과는 도시 지역과 농촌 지역 간의 품질 차이, 신도시와 구도심의 데이터 구축 수준 비교 등 공간적 품질 편차의 원인을 해석하는데 활용하였다.

두 번째 방법은, 버퍼 기반 위치 일치율 분석이다. 허용 오차 범위 내에서의 위치 일치 정도를 평가하기 위해 버퍼 기반 분석을 수행하였다. 기준 도로망을 중심으로 5m 및 10m 거리의 버퍼 폴리곤을 생성하였으며, 버퍼 거리는 GPS 위치 정확도($\pm 3-5\text{m}$)와 일반 도로의 평균 폭(3-7m)을 고려하여 설정하였다. 위치 정확도는 다음 수식을 통해 산출하였다:

$$\text{위치정확도}(\%) = \frac{\text{버퍼 내 포함된 OSM 도로의 총 연장(m)}}{\text{OSM 도로의 총 연장(m)}} \times 100$$

5m 및 10m 두 가지 버퍼 거리에 대해 각각 위치 정확도를 산출하고, 버퍼 거리 증가에 따른 정확도 변화 패턴을 분석하였다. 위치 정확도 분석 결과를 공간적으로 시각화하여 OSM 데이터 품질의 지역별 편차를 파악하였다.

IV. 분석 결과

1. OSM 도로망 완성도 분석 결과

화성시를 구성하는 4개 권역(동탄구, 병점구, 만세구, 효행구)을 대상으로 OSM 도로망과 국토지리정보원 기준 도로망의 총 연장을 비교하여 완성도(Completeness)를 산출한 결과는 표 1과 같다. 분석 결과, 동탄구의 경우 OSM 총 연장은 656.30 km로 기준 도로망(475.81 km)보다 180.49 km 길게 나타났으며, 완성도는 137.93%로 산출되었다. 다만 동탄구의 완성도 137.93%는 OSM 도로망이 NGII 기준 도로망보다 절대적으로 더 완전하다는 의미라기보다, 두 데이터 간 도로 유형 포함 범위와 세그

표 1. 화성시 권역별 OSM 도로망과 기준 도로망의 완성도 비교

권역	OSM 세그먼트 (개)	NGII 세그먼트 (개)	OSM 연장 (km)	기준 연장 (km)	길이 차이 (km)	완성도 (%)
동탄구	3,033	11,588	656.30	475.81	+180.49	137.93
병점구	1,556	10,304	326.88	328.94	-2.06	99.37
만세구	9,367	148,713	3,069.60	5,449.36	-2,379.77	56.33
효행구	3,903	48,013	1,172.40	1,705.26	-532.85	68.75

먼트 구성 방식의 차이를 반영한 상대적 결과로 해석할 필요가 있다. 특히 OSM에는 보행로, 자전거도로, 단지 내부 서비스도로, 비법정 도로 등이 포함될 수 있으므로, 총연장 기반 완성도 지표는 동일 도로 유형만을 대상으로 한 절대적 누락률이 아니라 두 자료의 표현 범위 차이를 포함한 비교 지표로 이해해야 한다.

권역별로 살펴보면, 병점구 지역은 OSM 총 연장 326.88 km, 기준 총 연장 328.94km로 상대 차이가 -0.63%에 그쳐 완성도 99.37%의 매우 우수한 수준을 보였다. 반면 효행구는 완성도 68.75%, 만세구는 56.33%로 상대적으로 낮게 나타났으며, 특히 만세구의 경우 기준 도로망 대비 약 2,379.77 km(43.67%)의 도로 세그먼트가 누락된 것으로 확인되었다. 공간적 누락 패턴을 시각화한 결과(그림 3), 만세구 서부 해안지역과 효행구 산지 경계부에서 누락 밀도가 높게 나타났다. 이러한 결과는 OSM 도로망의 구축 수준이 도심 밀집 지역에서는 공공 기준 데이터와 유사한 수준을 확보하고 있으나, 농촌·산지 및 신개발 지

역에서는 기여자 참여 부족으로 인해 공간적 커버리지에 현저한 편차가 존재함을 시사한다.

그림 4는 화성시 권역별 OSM 도로망과 기준 도로망의 완성도를 비교한 것이다. GIS 데이터에서 세그먼트(segment)란 도로 네트워크를 구성하는 개별 선형 객체(feature)의 최소 단위로, 실제 도로 1개가 아니라 데이터 베이스 내에서 하나의 행(row)으로 저장된 선분 조각을 의미한다. 동일한 도로라도 데이터 생산 방식에 따라 분

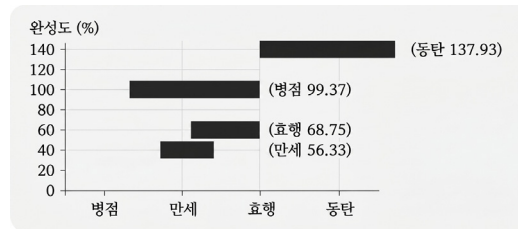


그림 4. 화성시 권역별 OSM 도로망 완성도 비교

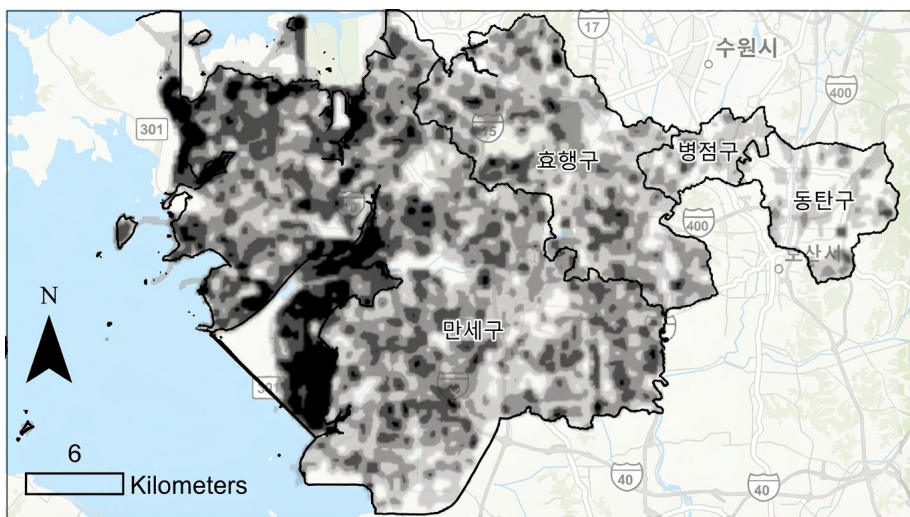


그림 3. 누락된 도로 구간의 커널 밀도 지도

할 기준이 상이하여 세그먼트 수에 큰 차이가 발생할 수 있다. 수치지도는 교차로·행정경계·속성 변환점마다 도로를 세분화하여 저장하는 반면, OSM은 하나의 way 객체로 연속 저장하는 구조를 취하기 때문에 OSM의 세그먼트 하나가 수치지도 대비 약 5.3배 더 긴 것으로 나타났다. 또한 OSM은 수치지도의 포함 범위를 초과하는 보행로(footway), 자전거도로(cycleway), 아파트 단지 내부 서비스도로(service road) 등 비법정 도로를 다수 포함하고 있어 총 연장이 증가하는 주요 원인이 된다.

2. OSM 도로망 위치 정확도 분석 결과

정확도 분석은 거리 기반 위치 오차 분석과 버퍼 기반 위치 일치율 분석을 실행하였다. 우선 위치 오차분석의 경우 OSM 도로 중심선과 기준 도로 중심선 간의 직접적인 위치 편차를 정량화하기 위하여 ArcGIS의 Generate

Near Table 도구를 활용하여 권역별 RMSE(제공평균제곱근오차) 값을 산출하였다. 분석 결과는 표 2에 제시하였으며, 4개 권역의 RMSE는 2.023m에서 4.409m 범위로 나타나 전반적으로 GPS 기반 측위 오차 수준($\pm 3\sim 5\text{m}$)에 근접한 양호한 위치 정확도를 보였다.

권역별로는 만세구가 RMSE 2.023m로 가장 우수한 위치 정확도를 보였으며, 효행구(RMSE 2.101m)와 동탄구(RMSE 2.420m)가 그 뒤를 이었다. 반면 병점구는 RMSE 4.409m로 4개 권역 중 가장 큰 위치 오차를 보여, 구도심 특유의 복잡한 도로 구조와 불규칙한 가로망이 OSM 기여자의 수작업 디지털라이징 과정에서 위치 편차를 증폭시킨 것으로 판단된다.

OSM 도로망의 위치 오차 결과로 얻어낸 선형자료를 점형 데이터로 변환하고 커널 분석을 통해 오차 공간 분포를 시각화한 결과는 그림 5와 같다. 분석 결과, 동탄구와 병점구의 주요 간선도로 및 도심 도로에서 위치 오차가 상대적으로 높게 나타난 것을 확인할 수 있다. 만세구와 효행구의 외곽 지역 일부 도로에서는 상대적으로 위치 편차가 산발적으로 나타났다. 이러한 공간 분포 패턴은 도시화 밀도가 높은 지역에서 위치 오차가 상대적으로 크게 나타나고, 농촌·산지 지역에서는 GPS 궤적 기반 매핑의 한계로 인한 위치 오차가 간헐적으로 발생함을 시사한다.

다음으로, 버퍼 기반 위치 일치율 분석을 위해 기준 도

표 2. 화성시 권역별 OSM 도로망의 거리 기반 위치 정확도

권역	RMSE (m)	비고
동탄구	2.420	신도시 지역
병점구	4.409	구도심, 오차 최대
만세구	2.023	오차 최소
효행구	2.101	—

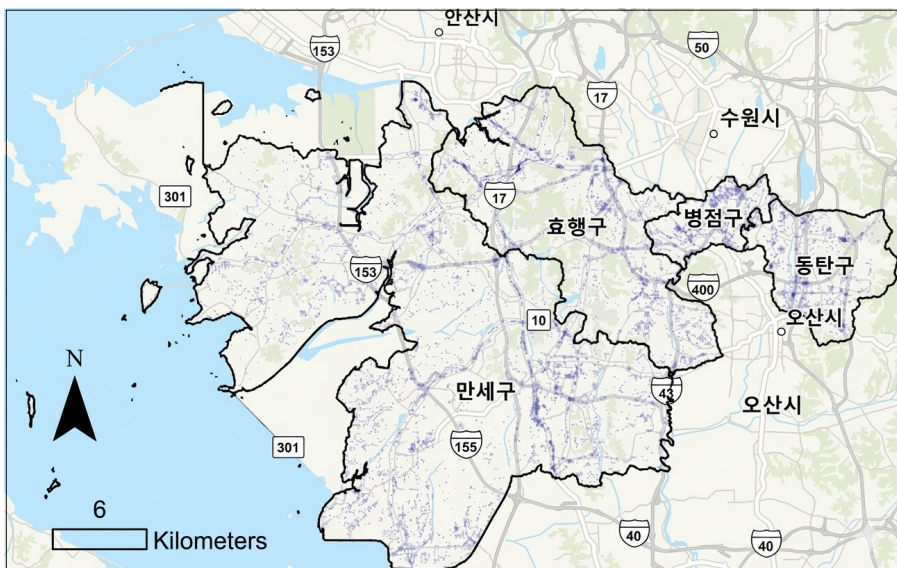


그림 5. 지역 간 OSM 도로 네트워크에서 위치 공간 분포

로망을 중심으로 5m 및 10m 버퍼 폴리곤을 생성한 후, 버퍼 내에 포함되는 OSM 도로 연장의 비율을 산출하였다. 그림 6은 버퍼 기반 OSM 도로망과 기준 도로망 간 위치 일치 분포를 보여주고 있다. 분석 결과는 표 3에 제시하였다. 10m 버퍼 기준에서 만세구(88.74%)와 효행구(88.15%)는 약 88%대의 높은 일치율을 보였으며, 병점구(79.51%)와 동탄구(64.21%)가 그 뒤를 이었다.

주목할 만한 점은 버퍼 거리 확대에 따른 개선폭이 권역별로 상이하게 나타났다는 것이다. 만세구(+8.67%)와 병점구(+9.63%)는 버퍼 확대에 따른 개선폭이 10% 미만으로 완만한 증가 양상을 보인 반면, 동탄구는 5m 버퍼 기준 48.27%에서 10m 버퍼 기준 64.21%로 +15.94%의 가장 큰 개선폭을 기록하였다. 이는 동탄구 지역 OSM 도로망이 기준 도로망으로부터 5~10m 구간에 집중적으로 분포하고 있음을 의미하며, 무작위 오차가 아닌 일정 방향으로의 체계적 위치 편이(systematic shift) 가능성을 시사한다. 이러한 편이는 OSM 매핑에 사용된 기준 항공

영상의 좌표 오차 또는 기여자의 좌표계 변환 과정에서 발생한 구조적 편차로 추정되며, 향후 정밀 좌표 검증을 통한 보정이 필요한 것으로 판단된다.

이상의 분석 결과를 종합하면, 화성시 OSM 도로망은 위치 정확도 측면에서는 전반적으로 양호한 수준(RMSE 2~4m대)을 유지하고 있으나, 완성도 측면에서는 권역별 편차가 약 81.6%(만세구 56.33% ~ 동탄구 137.93%)에 달하는 극심한 공간적 불균형을 보이는 것으로 나타났다. 즉, OSM 도로망은 그려진 도로는 정확하나, 얼마나 그려져 있는가는 지역별로 상이한 구조적 특성을 지니며, 이는 클라우드소싱 기반 공간정보의 본질적 한계인 기여자 활동의 공간적 편중에서 기인하는 것으로 해석된다. 따라서 OSM 도로망을 공간 네트워크 분석이나 접근성 분석에 활용할 경우, 대상 지역의 완성도에 대한 사전 검증과 공공 기준 데이터와의 상호 보완적 활용이 필수적임을 시사한다.

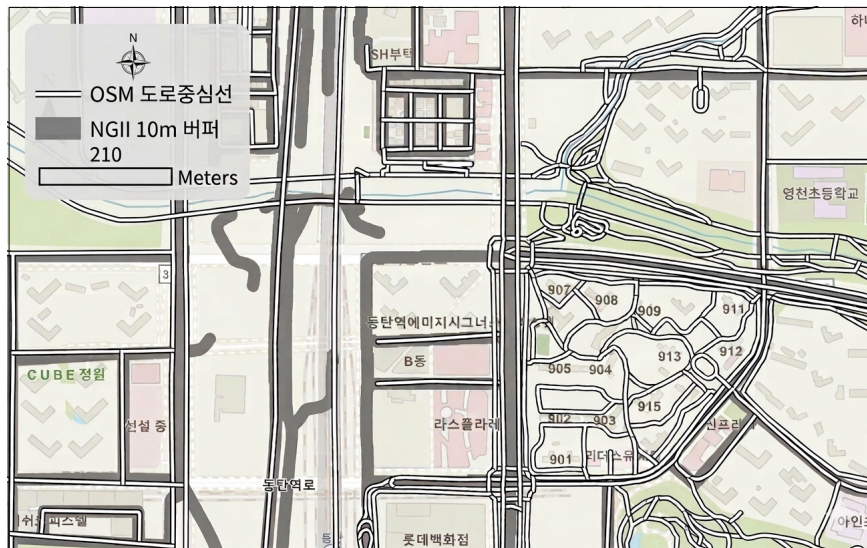


그림 6. 버퍼 기반 OSM 도로망과 기준 도로망 간 위치 일치 분포

표 3. 화성시 권역별 버퍼 기반 위치 일치율 분석 결과

권역	5 m 버퍼 정확도(%)	10 m 버퍼 정확도(%)	개선폭(%)	해석
동탄구	48.27	64.21	+15.94	체계적 위치 편이 의심
병점구	69.88	79.51	+9.63	완만한 증가
만세구	80.07	88.74	+8.67	안정적 일치율
효행구	75.89	88.15	+12.26	세부 도로 편차 존재

V. 결론

본 연구는 2026년 2월 4개 일반구 체제로 개편된 화성 특례시를 대상으로 OSM 도로망 데이터의 완성도와 위치 정확도를 정량적으로 평가하였다. 화성시는 계획 신도시(동탄구), 기존 시가지(병점구), 준도시 지역(효행구), 농촌·해안 지역(만세구)이 명확히 구분되어, 단일 행정단위 내에서 도시화 단계별 OSM 품질 특성을 통제된 조건에서 비교할 수 있는 최적의 사례 지역이다.

분석 결과, OSM 도로망의 품질은 도시화 단계에 따라 뚜렷한 공간적 편차를 보였다. 위치 정확도는 4개 권역 모두 RMSE 2.02~4.41m의 양호한 결과를 나타냈으나, 완성도는 권역별로 56.33%~137.93%에 달하는 극심한 불균형을 보였다. 기존 시가지인 병점구는 99.37%의 균형 잡힌 완성도를 기록한 반면, 농촌·해안 지역인 만세구(56.33%)와 대학 중심 준도시인 효행구(68.75%)는 낮은 완성도를 나타냈다. 계획 신도시인 동탄구는 137.93%의 완성도를 보였으나, 이는 OSM의 세분화된 보조 도로(보행로, 자전거도로, 서비스도로) 포함과 양방향 도로 중복 매핑에 기인한 것으로 분석되었다. 또한 동탄구는 버퍼 5m에서 10m 확대 시 정확도 개선폭이 +15.94%로 가장 크게 나타나, 무작위 오차가 아닌 일정 방향으로의 체계적인 위치 오류 가능성을 시사하였다. 이는 OSM 매핑에 사용된 기준 항공영상의 좌표 오차 또는 좌표계 변환 과정의 구조적 편차에 기인한 것으로 추정된다.

본 연구는 다음의 학술적 의의를 갖는다. 첫째, 버퍼 기반 정확도 분석과 커널 밀도 기반 누락 패턴 분석을 병행함으로써 OSM 도로망의 공간적 품질을 다각적으로 평가하였다. 둘째, OSM 도로망의 경우 도로의 위치 정확성과 데이터의 완성도는 서로 높은 상관성을 보이지 않는다는 점을 확인하였다. 이는 크라우드소싱 데이터가 기여자의 활동 패턴에 의해 공간적으로 형성된다는 VGI 이론을 뒷받침한다. 셋째, 국가공식 도로망 데이터와의 비교를 통해 OSM 데이터의 강점과 한계를 동시에 제시함으로써, 공공데이터와 OSM 간의 상호 보완적 활용 가능성을 구체적으로 논의할 수 있는 기초 자료를 제공하였다.

본 연구는 다음과 같은 방법론적 한계를 갖는다. 첫째, 기존 도로망을 참조자료로 활용하였으나, 해당 자료 역시 구축 시점과 제작 목적에 따라 오차를 포함할 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 완성도와 위치 정확도는 절대적 품질 평가라기보다 OSM과 공공 도로망 간의 상대적

비교 결과로 해석되어야 한다. 둘째, 길이 기반 완성도 지표는 OSM과 NGII 데이터 간 세그먼트 분할 방식 및 도로 유형 포함 범위의 차이를 충분히 반영하지 못한다. 셋째, 본 연구는 도로의 기하학적 위치와 연장에 초점을 맞추었으며, 차선 수, 도로 폭, 일방통행 여부 등 속성 정보의 정확성은 평가하지 못하였다.

본 연구 결과는 다음의 실무적 함의를 제공한다. 첫째, OSM 도로망의 완성도와 정확도는 단순히 도시 규모의 문제가 아니라 기여자 참여 밀도와 데이터 갱신 빈도에 의해 결정되는 공간적 특성을 지닌다. 따라서 OSM 데이터를 활용한 공간 네트워크 분석이나 접근성 분석 시 대상 지역의 완성도에 대한 사전 검증이 필수적이다. 둘째, 공공 도로망 데이터의 갱신 주기가 긴 지역이나 신도시 외곽 지역에서는 OSM 데이터가 변화 탐지 및 보조 자료로 활용될 수 있으며, 반대로 OSM의 품질이 낮은 농촌·산지 지역은 공공데이터를 기준으로 보완 우선 대상 지역으로 설정할 수 있다. 이는 공공데이터와 OSM 간의 상호 보완적 통합 활용 전략 수립에 중요한 기초 자료가 된다.

향후 연구 방향은 다음과 같다. 첫째, 시계열 분석을 통해 OSM 도로망의 성장 과정과 품질 변화 양상을 장기적으로 평가할 필요가 있다. 둘째, 도로 위계별(motorway~tertiary) 정밀 분석과 네트워크 매칭 기반 완성도 평가를 통해 도로 유형 간 품질 차이를 규명해야 한다. 또한 OSM의 세부 도로 유형의 포함 여부를 단계적으로 통제하고, 공공 도로망과 대응할 수 있는 객체만을 선별한 민감도 분석을 수행할 필요가 있다. 셋째, 기여자 특성(활동 빈도, 편집 유형, 참여 지속성)과 도로망 품질 간의 상관관계 분석을 통해 OSM 데이터 품질 개선을 위한 정책적·기술적 전략을 제시할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김유나·장아영·강명구, 2024, “신시가지의 가로연결성 비교 분석: 일산, 분당, 왕숙, 창릉을 사례로,” 국토계획, 59(7), 35-48.
- 박슬아·송아람, 2021, “스트리트뷰 영상의 객체탐지를 활용한 보행 장애물 정보 갱신” 한국측량학회지, 39(6), 599-607.
- 백민혁·박진우·심중석·박성정·임용섭·최경호, 2023, “가상환경에서 OSM을 활용한 자율주행 실증 맵 성능

- 연구,” *자동차안전학회지*, 15(2), 42-48.
- 이규영·김영훈, 2020, “오픈스트리트맵 활용 수업과 학생 활동 연구: 중학교 자유학기제를 사례로,” *한국지도학회지*, 20(2), 87-98.
- 이상수·김영욱, 2013, “탄소저감형 도시 구현을 위한 가로망의 이동성 평가지표 개발에 관한 연구,” *대한건축학회 논문집-계획계*, 29(5), 233-240.
- 이재은·김지영·유기운, 2016, “배경지도로써의 활용을 위한 OpenStreetMap의 정확도 평가,” *대한토목학회 학술대회*, 15-16.
- 전병윤·이창효·송학주, 2024, “고령인구의 보행속도를 고려한 공공서비스시설별 접근성 분석: 대전광역시를 사례로,” *한국산학기술학회 논문지*, 25(1), 283-294.
- 정한유·Nguyen, H. H.·박재현·권준호, 2017, “오픈스트리트맵에서 스마트폰 내비게이션 시스템 기반 일방통행도로 정보 갱신,” *데이터베이스연구*, 33(2), 14-25.
- 홍일영, 2024, “오픈스트리트맵을 이용한 북한 도시의 도로망 네트워크 분석,” *한국지도학회지*, 24(1), 33-43.
- Barron, C., Neis, P., and Zipf, A., 2014, A comprehensive framework for intrinsic OpenStreetMap quality analysis, *Transactions in GIS*, 18(6), 877-895. <https://doi.org/10.1111/tgis.12073>
- Brovelli, M.A. and Zamboni, G., 2018, A new method for the assessment of spatial accuracy and completeness of OpenStreetMap building footprints, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(8), 289. <https://doi.org/10.3390/ijgi7080289>
- Girres, J.F. and Touya, G., 2010, Quality assessment of the French OpenStreetMap dataset, *Transactions in GIS*, 14(4), 435-459.
- Goodchild, M.F., 2007, Citizens as sensors: The world of volunteered geography, *GeoJournal*, 69(4), 211-221. <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>
- Goodchild, M.F. and Li, L., 2012, Assuring the quality of volunteered geographic information, *Spatial Statistics*, 1, 110-120. <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2012.02.002>
- Guptill, S.C. and Morrison, J.L., eds., 2013, *Elements of Spatial Data Quality*, Elsevier.
- Haklay, M., 2010, How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(4), 682-703. <https://doi.org/10.1068/b35097>
- Haklay, M. and Weber, P., 2008, OpenStreetMap: User-generated street maps, *IEEE Pervasive Computing*, 7(4), 12-18. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2008.80>
- Helbich, M., Amelunxen, C., Neis, P., and Zipf, A., 2012, Comparative spatial analysis of positional accuracy of OpenStreetMap and proprietary geodata, *GI_Forum*, 4, 24.
- Kanasugi, H., Seto, T., Sekimoto, Y., and Shibasaki, R., 2019, Comparison between OpenStreetMap roads and digital road map on the perspectives of positional difference and completeness, *Theory and Applications of GIS*, 27(1), 43-52.
- Koukoletos, T., Haklay, M., and Ellul, C., 2012, Assessing data completeness of VGI through an automated matching procedure for linear data, *Transactions in GIS*, 16(4), 477-498. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2012.01371.x>
- Li, D., Maha Gamage, M., Cao, J., Jiang, Y., Li, Y., Zhang, L., and Siebeneck, L.K., 2025, Mapping the completeness and positional accuracy of OpenStreetMap road data at the county level in the contiguous United States, *Transactions in GIS*, 29(4), e70077. <https://doi.org/10.1111/tgis.70077>
- Neis, P. and Zielstra, D., 2014, Recent developments and future trends in volunteered geographic information research: The case of OpenStreetMap, *Future Internet*, 6(1), 76-106. <https://doi.org/10.3390/fi6010076>
- Neis, P., Zipf, A., and Zielstra, D., 2012, The street network evolution of crowdsourced maps: OpenStreetMap in Germany 2007-2011, *Future Internet*, 4(1), 1-21. <https://doi.org/10.3390/fi4010001>
- Sehra, S.S., Singh, J., and Rai, H.S., 2014, A systematic study of OpenStreetMap data quality assessment, in *Proceedings of the 11th International Conference on Information Technology: New Generations*, 377-381. <https://doi.org/10.1109/ITNG.2014.73>
- Zhou, Q. and Tian, Y., 2018, The use of geometric indicators to estimate the quantitative completeness of street blocks in OpenStreetMap, *Transactions in*

- GIS, 22(6), 1550-1572. <https://doi.org/10.1111/tgis.12486>
- Zhou, Q. and Lin, H., 2019, Investigating the completeness and omission roads of OpenStreetMap data in Hubei, China by comparing with street map and street view, *arXiv preprint*, arXiv:1909.04323.
- Zielstra, D. and Zipf, A., 2010, A comparative study of proprietary geodata and volunteered geographic information for Germany, in *13th AGILE International Conference on Geographic Information Science*, 1-15.
- Zielstra, D. and Hochmair, H.H., 2012, Using free and proprietary data to compare shortest-path lengths for effective pedestrian routing in street networks, *Transportation Research Record*, 2299(1), 41-47. <https://doi.org/10.3141/2299-05>

교신 : 홍일영, 31020, 충청남도 천안시 서북구 성환읍 대학로 91, 남서울대학교 드론공간정보공학과(이메일: ilyoung.hong@nsu.ac.kr)

Correspondence: Ilyoung Hong, 31020, 91 Daehak-ro, Seonghwan-eup, Sebuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, South Korea, Department of Drone & GIS Engineering, Namseoul University (Email: ilyoung.hong@nsu.ac.kr)

투고접수일: 2026년 5월 6일

심사완료일: 2026년 5월 27일

게재확정일: 2026년 6월 8일