

정밀도로지도 공간관계 참조객체의 속성 입력 자동화에 관한 연구

성동기¹·민승현^{2*}·최윤수³·오종민⁴

A Study on Automated Input of Attribute for Referenced Objects in Spatial Relationships of HD Map

Dong-Gi SUNG¹·Seung-Hyun MIN^{2*}·Yun-Soo CHOI³·Jong-Min OH⁴

요 약

최근 4차 산업혁명 핵심 중 하나인 자율주행의 기술이 발전하고 있지만 예상하지 못한 상황에서 사고가 발생하는 등 센서 기반 자율주행에 한계를 보이고 있어, 이를 보완하기 위해 정밀도로 지도는 자율주행의 핵심 인프라로 활용되고 있으며, 공공 및 민간에서 관심이 높아지면서 정밀도로 지도의 최신성과 정확성 확보를 위한 다양한 연구와 기술개발이 이루어지고 있다.

현재 국토지리정보원은 자율주행차의 운행이 많을 것으로 예상되는 수도권 등 전국 도심지역 및 주요도로를 대상으로 확대 구축 중이며, 기 구축된 구간 중 도로변화가 발생한 지역의 신속갱신 체계를 마련하고, 품질검증을 통해 데이터 오류를 최소화할 위해 노력하고 있다.

이에 본 연구는 국토지리정보원에서 구축 중인 정밀도로지도의 신속, 정확한 갱신과 제작을 위해 속성 구조화 공정에서 참조객체의 공간관계를 분석하고, 오픈소스 기반 PyQGIS의 라이브러리를 활용하여 공간관계가 성립되는 참조객체의 속성입력 자동화 방법론을 적용하여, 고속국도·일반국도·C-ITS(Cooperative Intelligent Transport Systems)실증구간 등 도로유형별로 대상지를 선정하여 자동화를 실시하였다.

본 연구에서 개발한 속성자동화 도구를 활용하여 공간관계 참조객체의 속성을 자동으로 입력하는데 대상지별 약2~5분의 시간이 소요되었으며, 참조객체 속성입력 자동화 결과 고속국도 86.4%, 일반국도 79.7%, C-ITS의 경우 82.4%, 평균 82.8%의 속성입력 정확도를 확보하였다.

주요어 : 자율주행, 정밀도로지도, 공간관계, 속성입력, 자동화, 오픈소스

2023년 11월 27일 접수 Received on November 27, 2023 / 2024년 1월 30일 수정 Revised on January 30, 2024 / 2024년 1월 31일 심사완료 Accepted on January 31, 2024

1 공간정보산업진흥원, 주임연구원 / Spatial Industry Promotion Institute, Researcher

2 서울시립대학교 공간정보공학과, 박사과정 / Department of Geoinformatics, University of Seoul, Doctor's Course

3 서울시립대학교 공간정보공학과, 정교수 / Department of Geoinformatics, University of Seoul, Professor

4 공간정보산업진흥원, 처장 / Spatial Industry Promotion Institute, Chief

* Corresponding Author E-mail: sh.min@spacen.or.kr

ABSTRACT

Recently, the technology of autonomous driving, one of the core of the fourth industrial revolution, is developing, but sensor-based autonomous driving is showing limitations, such as accidents in unexpected situations. To compensate for this, HD-map is being used as a core infrastructure for autonomous driving, and interest in the public and private sectors is increasing, and various studies and technology developments are being conducted to secure the latest and accuracy of HD-map.

Currently, NGII will be newly built in urban areas and major roads across the country, including the metropolitan area, where self-driving cars are expected to run, and is working to minimize data error rates through quality verification.

Therefore, this study analyzes the spatial relationship of reference objects in the attribute structuring process for rapid and accurate renewal and production of HD-map under construction by NGII. By applying the attribute input automation methodology of the reference object in which spatial relations are established using the library of open source-based PyQGIS, target sites were selected for each road type, such as high-speed national highways, general national highways, and C-ITS demonstration sections.

Using the attribute automation tool developed in this study, it took about 2 to 5 minutes for each target location to automatically input the attributes of the spatial relationship reference object. As a result of automation of attribute input for reference objects, attribute input accuracy of 86.4% for high-speed national highways, 79.7% for general national highways, 82.4% for C-ITS, and 82.8% on average were secured.

Key words : autonomous driving, HD map, spatial relationships, attribute input, automation, open source

서론

최근 전 세계적으로 자율주행에 관심이 높아지면서 미국의 Google, 유럽의 HERE, 일본의 DMP 등 많은 기업에서 자율주행 기술 고도화를 위한 연구에 집중하고 있다.

국내에서는 카카오·SKT·현대 등 많은 기업에서 자율주행 상용화를 위해 ICT 기술을 개발하고 자율주행 차량의 위치 및 상황 판단을 위한 기반 자료인 정밀도로지도를 자체 포맷에 맞게 구축하는 등 완전 자율주행 실현을 위한 다양한 연구를 진행 중이며, 국가에서도 자율주행을 위한 인프라를 구축 중이다.

국토지리정보원에서는 자율주행 지원을 위해서 2015년 정밀도로지도 시범구축 이후 매년

구축범위를 확대하여 현재 고속국도와 일반국도 전 노선에 대해 구축을 완료하였고, 2025년까지 4차로 이상 지방도, 2030년까지 전국 주요 도로에 대한 정밀도로지도를 구축할 계획이며, 기구축 데이터의 최신성 확보를 위해 도로변화 공간에 대한 신속한 갱신체계를 마련 중이다.

정밀도로지도 제작은 공정별로 자동 또는 수동으로 이루어진다. 특히 벡터 데이터를 생성하는 세부도화 및 속성구조화 공정은 반복적인 수작업으로 데이터가 구축되어 많은 인력과 시간의 투입이 불가피하며, 데이터 품질검증 시 속성구조화 공정에서 가장 많은 오류가 발견되어 속성입력 자동화를 통해 데이터 구축 시간 단축과 속성 오류의 최소화가 요구된다.

선행연구 동향을 살펴보면 국내·외에서 정밀도로지도의 제작과 갱신 관련하여 국가 및 민간

에서 큰 관심을 가지고 많은 연구가 진행되고 있으며, 데이터의 최신성 확보를 위해 신속·정확한 제작 및 갱신 방법에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

항공사진을 이용한 정밀도로지도 구축에 관한 연구(Choi, 2020)에서는 기존 MMS (Mobile Mapping System) 측량 장비의 한계가 있던 부분을 보완하기 위해 항공사진을 활용한 정밀도로지도 구축으로 비용과 시간을 절감하는 등 향후 정밀도로지도 구축 시 항공사진 도입을 위한 연구를 진행하였다.

IPM 기반 정밀도로지도 매칭을 통한 지도 신속 갱신 방법(Kim, 2021)은 역 관점 매핑(IPM : Inverse Perspective Mapping) 기법을 사용하여 카메라 이미지의 원근 효과를 제거하여 버드뷰 이미지를 생성한 후, GNSS(Global Navigation Satellite System)/INS(Inertial Navigation System)를 참조하여 촬영된 이미지와 정밀도로지도 영역을 이미지로 생성하여 두 이미지의 모양 및 문자를 인식하여 정밀도로지도의 객체와 비교하여 갱신 여부를 판단하며, GNSS/INS 측위를 적용하여 신속한 갱신이 가능하다고 제시하였다.

정밀도로지도 품질검증 분야에서는 정밀도로지도 품질향상을 위한 자동 오류 판독 연구(Hong, 2020)에서 기존 수치지형도의 오류탐지 방법의 한계점을 도출하여 국토지리정보원에서 정의한 정밀도로지도 레이어를 DE-9IM(Dimensionally Extended nine-Intersection Model)의 공간 연산자를 이용하여 레이어 내 객체의 도형 무결성과 관련된 검사 기법 및 객체 간 참조관계 오류 유형을 상세하게 제시하였다.

정밀도로지도 오류 검사 자동화에 관한 연구(Oh, 2021)에서는 정밀도로지도의 구조와 품질을 분석하고 정밀도로지도 품질검사 항목을 도출해 데이터의 도형 무결성부터 속성공간관계까지 QGIS 기반의 오류 검사 자동화 방법론을 설계 및 구현하여 실험·분석하였다.

선행연구를 분석한 결과 기존 정밀도로지도 선행연구에서는 제작 방식의 다양화, 신속 갱신

체계 마련, 품질검사 오류 자동화 등의 많은 연구가 수행되고 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 공간관계 참조객체의 속성입력 자동화를 통해 정밀도로지도 갱신 및 제작 시 많은 양의 데이터를 효율적으로 처리하고, 속성 데이터를 입력하는 시간과 수작업을 최소화하기 위해 개발한 오픈소스 기반 플러그인을 통해 기존 고비용의 상용 SW를 대체하여 비용 절감과 속성입력 자동화를 통해 오류율 최소화 방안을 제시하고자 하였다.

공간관계 참조객체 도출을 위한 정밀도로지도 현황 분석

1. 정밀도로지도 제작 현황

국토지리정보원에서는 2015년 자율주행차 시범운행 구간(고속국도 1호선, 50호선 등)과 자동차안전연구원 내 주행시험장 등 약 227km에 대한 정밀도로지도의 시범 구축을 시작으로 매년 구축범위를 확대하여, 2022년엔 고속국도 및 일반국도 전 구간에 대한 구축을 완료하였고, 지방도(4차로 이상 및 기타 구간) 등 전국 주요도로에 대한 정밀도로지도를 구축 중이다.

2023년에는 기 구축된 약 21,683km 중 도로변화 발생지역의 신속한 갱신과 서울·인천·경기도 일원의 도심지 내 주요도로를 신규 제작하고, 지방도, C-ITS 실증구간, 자율주행 구간 및 신규 개통구간 등으로 구축범위가 확대되고 있다.

정밀도로지도의 벡터 데이터는 구체적인 구축 레이어와 속성의 차이가 존재하지만, 기하학적 형태를 묘사하고 있다. 또한, 속성정보를 입력하는 기본적인 제작 방식은 유사하기 때문에 공공에서 신속하고 정확한 데이터를 제작하면 민간에서는 해당 데이터를 중복으로 제작하지 않고 활용할 수 있다.

2. 정밀도로지도의 레이어별 참조객체 분석 현황

정밀도로지도 제작에 적용되는 데이터모델의 속성입력 방식은 주행경로링크(A2)의 경우 연

TABLE 1. Analysis of reference objects of HD Map's layer

Base Layer	Field	Reference Layers
A2_LINK	From Node ID	A1_NODE
	To Node ID	
	R_Link ID	A2_LINK
	L_Link ID	
	Section ID	A3_DRIVEWAY SECTION
Section ID	A4_SUBSIDIARY SECTION	
A5_PARKINGLOT	Section ID	A4_SUBSIDIARY SECTION
B1_SAFETYSIGN	Link ID	A2_LINK
	Post ID	C6_POSTPOINT
B2_SURFACE LINEMARK	R_Link ID	A2_LINK
	L_Link ID	
B3_SURFACE MARK	Link ID	A2_LINK
C1_TRAFFIC LIGHT	Link ID	A2_LINK
	Post ID	C6_POSTPOINT
C2_KILOPOST	Link ID	A2_LINK
C3_VEHICLE PROTECTION SAFETY	Ref_ID	C3_VEHICLE PROTECTION SAFETY
C4_SPEEDBUMP	Link ID	A2_LINK
C5_HEIGHT BARRIER	Link ID	A2_LINK

관된 주행경로노드(A1), 객체 주변 진행 방향 차량의 중심을 연결한 가상의 선인 주행경로링크(A2), 도로의 최 외부인 차도구간(A3), 도로 시설물(A4)과의 상관관계를 참조하여 링크 매칭 등 정확한 속성이 입력된다.

정밀도로지도 제작 매뉴얼(NGII, 2023)에는 기준 레이어, 필드명, 공간 연산, 비교 레이어 등 속성입력에 대한 세부지침이 정리되어 있으며, 벡터 데이터 제작 시 속성구조화 공정에서 논리적 위상관계를 기반으로 참조객체의 속성을 입력하여야 한다.

정밀도로지도 품질검사 매뉴얼(NGII, 2021)에도 표 1과 같이 벡터 레이어 14개 중 논리적 공간관계를 기반으로 연관 객체 속성값(노드, 링크 ID 등)에 해당하는 레이어 객체와의 관계를 정의하고 있다. 또한, 정밀도로지도의 구축 및 갱신 등에 관한 규정 제21조(속성 구조화) 제 2항을 참조하여 속성 공간관계 항목을 품질 검사 한다.

정밀도로지도 제작 매뉴얼과 품질검사 매뉴얼의 속성정보 입력지침을 기반으로 그림 1과 같이 공간연산을 통해 논리적 공간(위상)관계를

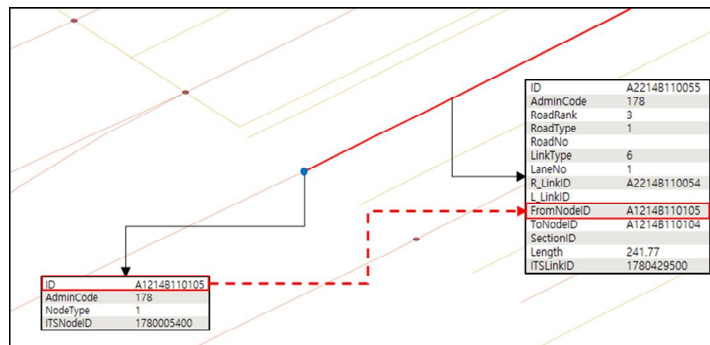


FIGURE 1. Example of spatial relationship

TABLE 2. Attribute information input automation analysis of HD Map's layer

Base Layer	Field	Spatial Relationship	Layers
A2_LINK	From Node ID	Touches	A1_NODE
	To Node ID		
	R_Link ID	Cross Product	A2_LINK
	L_Link ID		
	Section ID	Within	A3_DRIVEWAY SECTION
Section ID	A4_SUBSIDIARY SECTION		
A5_PARKINGLOT	Section ID	Within	A4_SUBSIDIARY SECTION
B2_SURFACELINEMARK	R_Link ID	Cross Product	A2_LINK
	L_Link ID		
B3_SURFACEMARK	Link ID	Crosses	A2_LINK
C4_SPEEDBUMP	Link ID	Crosses	A2_LINK

갖는 연관객체의 속성을 분석하였다. 또한, 기존에 구축된 벡터 데이터를 국토지리정보원 품질 검증 SW로 검사한 결과 공간관계가 성립됨을 확인하여 표 2와 같이 속성정보 입력 자동화가 가능한 레이어를 도출하였다.

공간관계 참조객체 속성정보 입력의 자동화 방안

1. 실험방법 설계

정밀도로지도 공간관계 참조객체 속성정보 입력 자동화를 설계하기 위해서는 공간 연산자와

지리(위치) 데이터의 공간적인 상호 작용과의 관계를 이해하고 공간적인 패턴을 파악해야 한다. 공간관계 연산자(Spatial Relational Operators)는 그림 2와 같이 Equals(동일), Disjoint(불일치), Intersections(교차) 등의 공간관계 연산자가 있다.

본 연구에서는 실험 방법론을 설계하기 위해 DE-9IM 공간 연산자 모델을 참조하였고, 해당 모델은 매트릭스 모델을 기반으로 그림 3과 같이 점, 선, 면으로 정의한 두 객체 간의 내부(Interior), 경계(boundary), 외부(exterior)의 총 9가지 경우의 교집합 차원 관계를 행렬로 설명(Hong, 2020)하고 있다.

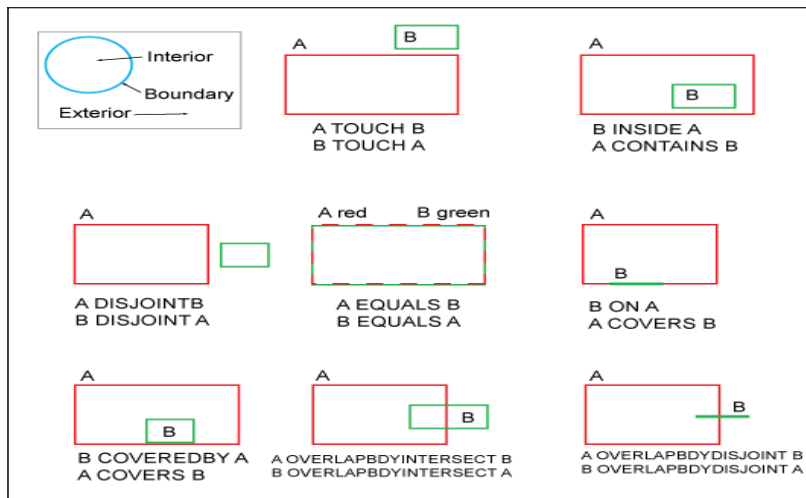


FIGURE 2. Type of spatial relationship

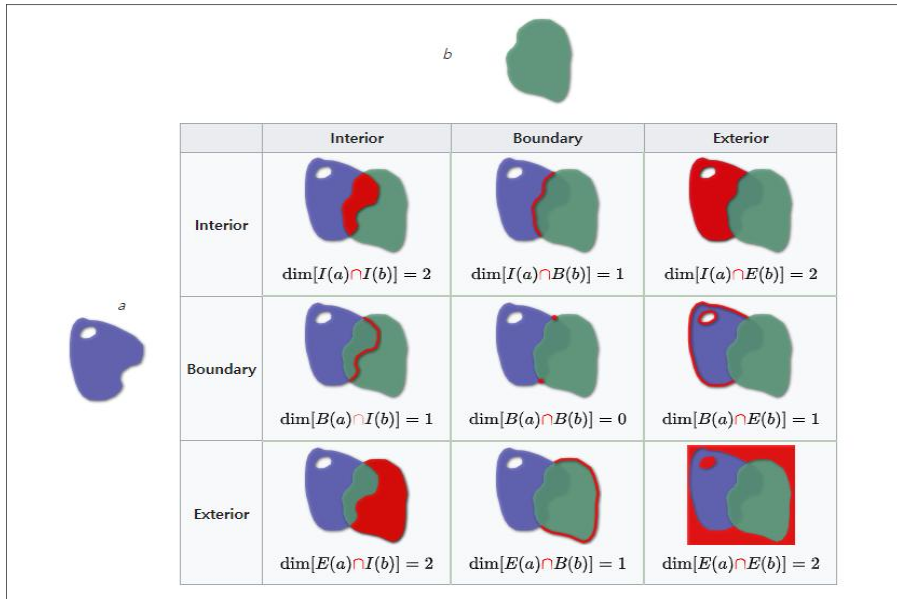


FIGURE 3. Illustration of DE-9IM

다양한 공간관계를 정의 및 판별하여 공간 데이터의 쿼리, 분석, 토폴로지 분석 등에 사용되며, 두 영역의 공간적 관계를 설명하는 데 쓰이는 위상 모델로 표준으로 기하학 관계를 분류하기 위해 행렬을 통해 참/거짓(T/F)을 판정하여 공간관계의 성립을 그룹화 하였다.

아래의 식과 같이 교차 행렬(3×3)을 기반으로 하고 본 연구에서 공간관계 참조객체 속성정보의 입력을 자동화하고자 하는 항목들의 공간 연산을 정의하고 그 항목들에 대한 방법론을 DE-9IM 모델을 기반으로 설계한다.

$$\begin{bmatrix} \dim(I(a) \cap I(b)) & \dim(I(a) \cap B(b)) & \dim(I(a) \cap E(b)) \\ \dim(B(a) \cap I(b)) & \dim(B(a) \cap B(b)) & \dim(B(a) \cap E(b)) \\ \dim(E(a) \cap I(b)) & \dim(E(a) \cap B(b)) & \dim(E(a) \cap E(b)) \end{bmatrix}$$

dim의 경우 기하학 a와 b의 내부(I), 경계(B), 외부(E), 교차점(∩) 등의 차원으로 공간 연산자의 표기법은 공집합의 차원(∅)은 -1 또는 F(거짓)로 표현하며, 비어 있지 않은 집합의 경우 최대 차원 수로 점은 0, 선은 1, 면은 2로 표시하였다.

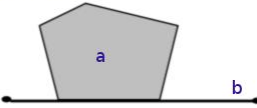
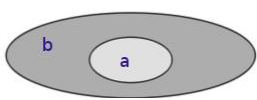
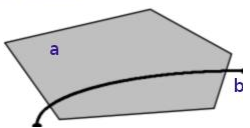
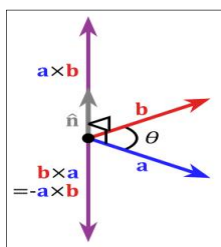
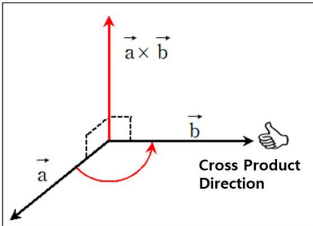
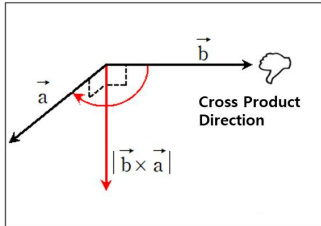
$$\begin{aligned} I(a) &= a_0, \\ B(a) &= \partial a, \\ E(a) &= a^e \end{aligned}$$

공간 연산 유형의 종류에는 공간쿼리(Spatial Query), 공간분석(Spatial Analysis), 공간 연산자(Spatial Operating)로 구분하고 있다. 특히 지리 데이터를 조작하거나 변환하는 연산자인 공간 연산자(Spatial Operating)를 이용하여 공간 연산을 시행하고 있다.

공간 연산자는 정밀도로지도 뿐만 아니라 위치기반 서비스 등 공간정보 분야에서 널리 쓰이는 유형으로 해당 공간 연산을 통해 공간정보 데이터의 위치적 특성과 속성을 연계하여 더욱 정확하고 신속한 정밀도로지도 제작 및 갱신을 할 수 있으므로 본 연구에서 활용하였다.

또한, 정밀도로지도 제작 및 품질검증 매뉴얼을 기반으로 접촉(Touches), 포함(Within), 교차(Crosses)와 외적(Cross Product) 4가지 유형을 추출하여 표 3과 같이 분석하였다.

TABLE 3. Spatial relationship analysis operator

Spatial Relationship	Details
<p>Touches(a,b)</p>  <p>Toushes</p>	<p>Analyzing the geometry relationship that indicates whether two spatial objects touch or meet at the boundary $(a \cap b \neq \emptyset) \wedge (a \cap b \neq \emptyset)$ First, an analysis of whether some of the boundaries of a come into contact with the boundaries of b Second, the interior points of a are included in the boundary of b</p>
<p>Within(a,b)</p>  <p>Within</p>	<p>Analyze geometry relationships where geographic areas (points or lines) are fully embedded inside other geographic areas (polygons) $a \cap b = a$ First, the interior of a is an analysis of whether all points are included in the interior of b Second, Boundary of a. Analysis of whether all points are included on the boundary or outside of b</p>
<p>Crosses(a,b)</p>  <p>Crosses</p>	<p>Analysis of relationships in which two or more geographic areas overlap each other in a spatial data set, with some but not all internal points in common $\dim(a) \neq \dim(b) \wedge \dim(\text{any}) = 1$ First, the boundary of a is cross-related with b Second, the interior point of a is included in b Third, the external point of a intersects with b</p>
 <p>Cross Product</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>It is mainly used in three-dimensional space and is calculated using two vector (x, y, z) coordinate values as above $a = x1, y1, z1 / b = x2, y2, z2$ $w = (y1 * z2) - (z1 * y2)$ $vy = (z1 * x2) - (x1 * z2)$ $vz = (x1 * y2) - (y1 * x1)$</p> <p>First, the external case is defined according to the law of the right hand, and determines the direction of rotation of the two input vectors and detects the direction of the virtual vector in the vertical direction Second, by closing your hand from vector a to vector b, the direction in which the thumb points becomes outward, and if vector a is on the side relative to vector b, the thumb points in the sky and + values are derived. If it is on the right, it points in the ground direction - values are derived</p>

2. 속성입력 자동화 프로그램 개발

실험 방법론에서 제시한 실계를 기반으로 자동화를 구현하기 위해 오픈소스 GIS 상용 SW 인 QGIS에서 벡터 데이터를 처리하기 위해 제공하는 Python 라이브러리 및 API(Application

Programming Interface)를 활용하였다.

QGIS Python API Documentation의 문서를 참조하여 그림 4와 같이 QgsGeometry 클래스 내에 포함된 touches 함수를 그림 5와 같이 Python 코드로 작성하여 속성입력 자동

touches(self, geometry: QgsGeometry) → bool

Test for if geometry touch another (uses GEOS)

New in version 1.5.

Parameters

geometry (QgsGeometry) -

Return type

bool

```

@staticmethod
def A2_A1_FromToNode(a2_layer, a1_layer):
    if not a2_layer.isEditable():
        a2_layer.startEditing()
    a2_edit_buffer = a2_layer.editBuffer()
    for a2_feature in a2_layer.getFeatures():
        a2_geom = a2_feature.geometry()
        for a1_feature in a1_layer.getFeatures():
            a1_geom = a1_feature.geometry()
            if a2_geom.touches(a1_geom):
                intersect_geom = a2_geom.intersection(a1_geom)
                intersect_point = intersect_geom.get()
                f_point = a2_geom.get(0)
                e_point = a2_geom.get(-1)
                f_point.dropMValue()
                e_point.dropMValue()
                a1_id = a1_feature.attribute('ID')
                a2_feature_id = a2_feature.id()
                if intersect_point == f_point:
                    a2_field_idx = a2_feature.fieldNameIndex('FromNodeID')
                    a2_edit_buffer.changeAttributeValue(a2_feature_id,
a2_field_idx, a1_id)
                elif intersect_point == e_point:
                    a2_field_idx = a2_feature.fieldNameIndex('ToNodeID')
                    a2_edit_buffer.changeAttributeValue(a2_feature_id,
a2_field_idx, a1_id)
                else:
                    continue
    a2_layer.commitChanges()
    
```

FIGURE 4. Algorithms of QgsGeometry touches

FIGURE 5. Touches code for QGIS

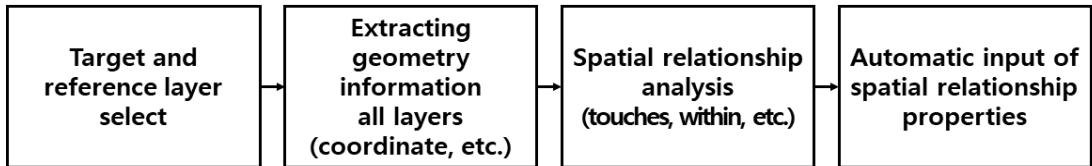


FIGURE 6. Study folwchart

화 프로그램을 구현하였고, QGIS에서 제공하는 라이브러리 또한 DE-9IM 모델을 기반으로 정의되었다.

속성정보 입력 자동화가 진행되는 과정의 경우 그림 6과 같이 ①속성 입력 대상 레이어와 값을 참조하는 레이어를 활성화한 후 ②각 레이어 객체의 형상(좌표) 정보를 추출하여 ③공간

관계(접촉 등)의 성립 여부를 확인하여 ④공간 관계가 성립이 되는 각각의 두 객체 간 참조값을 자동으로 속성을 입력한다.

3. 자동화 적용

속성입력 자동화에 사용한 데이터는 국토지리 정보원에서 제공하는 정밀도로지도 벡터 데이터

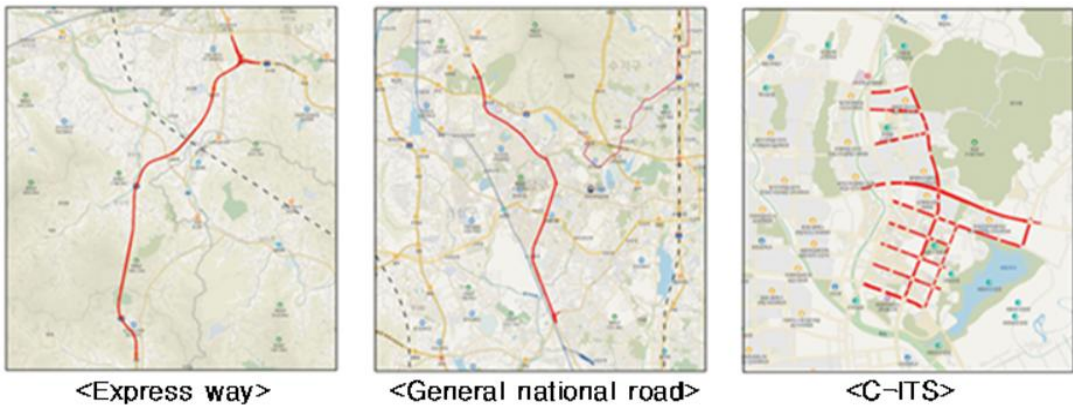


FIGURE 7. Region for study

ID	R_LinkID	L_LinkID	FromNodeID	ToNodeID
A2196F601275	A2196F601274		A1196F601257	A1196F601267
A2196F601274	A2196F601273	A2196F601275	A1196F601256	A1196F601266
A2196F601273	A2196F601272	A2196F601274	A1196F601255	A1196F601265
A2196F601272		A2196F601273	A1196F601254	A1196F601264
A2196F601271		A2196F601270	A1196F601263	A1196F601260
A2196F601270	A2196F601271		A1196F601262	A1196F601259
A2196F601269	A2196F601270		A1196F601261	A1196F601258
A2196F601268		A2196F601267	A1196F601260	A1196F601253
A2196F601267	A2196F601268	A2196F601266	A1196F601260	A1196F601252
A2196F601266	A2196F601267	A2196F601265	A1196F601259	A1196F601251

FIGURE 8. Automation data attributes table



FIGURE 9. Attribute automation tool

이며 대상 지역은 그림 7과 같이 고속국도 25호선(논산천안선) 천안JC~정안JC(약 18.4km), 일반국도 1호선 병점지하차도~의왕 IC(약 16km), 행정중심복합도시(세종) 정부세종청사 주변(약 12km) C-ITS 구간으로 도로 유형별로 실험 대상지를 선정하였다.

자동화 실험은 정밀도로지도 제작 단위인 구간(Section) 단위로 진행하며 공간관계 참조객체의 속성 자동화를 비교 및 분석하기 위하여, 품질검증을 통해 오류의 소거가 완료된 기구측 데이터에 입력되어 있던 속성정보를 그림 8과 같이 모두 Null 값으로 변경한 후 오픈소스를 활용하여 개발한 그림 9의 속성 자동화 도구를 이용하여 속성정보 입력 자동화를 수행하였다.

속성 자동화 도구를 활용한 자동화 후 공간관계 참조객체 속성입력 자동화 결과분석을 위해

자동으로 속성이 입력된 레이어별 객체수 / 품질검사가 완료된 원본 데이터의 레이어별 객체수를 비교하여 레이어별 자동화 결과를 도출하고 자동화율 분석을 수행하였다.

4. 자동화 결과분석

속성자동화 도구를 활용하여 한 개 구간(Section)의 공간관계 참조객체의 속성입력을 자동화 하는데 구간별 약 2~5분의 시간이 소요되었으며, 평균 82.8%의 정확도를 확보하였다.

정밀도로지도 구축 및 품질검증 메뉴얼의 데이터 제작 기준으로 방법론을 정의하였고 세부도화 및 속성 구조화 세부 기준은 「정밀도로지도 구축 및 관리 등에 관한 규정(국토지리정보원 고시 제2022-4096호)」을 기준으로 정확

TABLE 4. Automation input results by road type

Layer	Field	Reference Layer	Express way	General National Road	C-ITS
A2_LINK	From Node ID	A1_NODE	100%	81%	79%
	To Node ID				
	R_Link ID	A2_LINK	61%	51%	58%
	L_Link ID				
	Section ID				
A5_PARKINGLOT	Section ID	A3_DRIVEWAYSECTION	77%	67%	77%
	Section ID	A4_SUBSIDIARYSECTION	86%	-	-
B2_SURFACELINEMARK	Section ID	A4_SUBSIDIARYSECTION	100%	100%	100%
	R_Link ID	A2_LINK	67%	59%	63%
L_Link ID					
B3_SURFACEMARK	Link ID	A2_LINK	100%	100%	100%
C4_SPEEDBUMP	Link ID	A2_LINK	100%	100%	100%

도를 산정하였다.

표 4는 본 연구에서 진행한 공간관계 참조객체의 속성입력 자동화 결과로 고속국도의 경우 평균 86.4%, 일반국도 79.7%, C-ITS의 경우 82.4%의 정확도를 확보했다. 고속국도는 자동화의 정확도가 가장 높은 것을 확인 할 수 있지만 레이어별로 제작된 객체 수와 레이어가 다르므로 절대적인 수치보다는 상대적인 수치로 분석할 필요가 있다.

주행경로링크(A2_LINK)와 주행경로노드(A1_NODE)의 시·종점 노드 ID 항목의 경우 평면 교차로 등 여러 가지 도로 형태로 인해 일반국도와 C-ITS 실증구간의 정확도가 낮은 것을 확인할 수 있었다.

주행경로링크(A2_LINK)와 노면선표시(B2_SURFACELINEMARK)의 우측/좌측링크 ID 항목의 경우 상대적으로 도로의 형태나 유형이 단순한 고속국도의 경우 정확도가 높음을 확인하였고, 속성입력 자동화가 되지 않은 경우는 공간관계가 잘 성립되어 있는 것처럼 제작되어 있지만 객체를 확대해 본 결과 단절되어 공간관계가 성립되지 않아 속성 자동입력이 불가하였다.

일반국도의 부속구간(A4_SUBSIDIARYSECTION)은 보도, 자전거도로가 제작되어 주행 경로링크(A2_LINK)와 공간관계가 성립되지 않았고, C-ITS 구간의 경우 부속구간(A4_SUBSIDIARYSECTION)은 제작되지 않

아 주행경로링크(A2_LINK)와 공간관계가 성립되지 않는다.

결론

본 연구에서는 정밀도로지도의 신속한 갱신을 위해 정밀도로지도 제작 작업 규정, 제작 매뉴얼 등을 참조하여 레이어 간 공간관계 및 속성을 자동으로 입력하기 위한 공간 연산자의 모델(DE-9IM)을 분석하고 오픈소스 기반의 자동화 방법론을 설계 및 GIS 상용 SW에 PyQGIS(Python+QGIS) 라이브러리를 사용하여 플러그인으로 구현하였다.

국토지리정보원에서 제작한 고속국도, 일반국도, C-ITS 실증구간을 연구 대상으로 선정하여 자동화하였으며 품질검증이 끝난 기구축 데이터와 본 연구를 통해 자동으로 입력된 속성값을 비교하고 자동화의 신속성과 정확성을 분석하여 도출된 결과는 다음과 같다.

첫째, 정밀도로지도 제작 및 갱신 시 레이어 간 공간관계 참조객체의 속성입력을 자동으로 입력하여 평균 82.8%의 정확도를 확보하였으며 한 개의 구간(Section)을 자동화하는 데 걸리는 시간은 약 2~5분으로 기존의 벡터 데이터 제작을 위해 소요되는 많은 시간과 인력을 줄일 수 있는 효과가 있다. 또한, 속성입력 시 수작업으로 작업자의 단순 실수 등을 자동화하여 데이터

의 일관성 문제를 해결할 수 있다.

둘째, 본 연구에서는 오픈소스 기반으로 자동화 방법론을 설계 및 구현하여 기존의 정밀도로지도 제작을 위해 사용하는 SW를 대체하여 비용적 측면에서 절감할 수 있었으며, 상대적으로 도로 형태와 유형이 단순한 고속국도의 경우 공간관계 참조객체의 속성입력 자동화 정확도가 높게 나타났다.

셋째, 본 연구를 통해 일부 항목의 공간관계 참조객체의 속성입력 자동화가 가능하고 신속, 정확한 데이터를 확보하여 효율적인 갱신 및 제작 프로세스를 성립하여 많은 공공분야와 민간분야의 최신화 데이터를 활용할 수 있고 타 데이터(국가기본도 등)와도 연계가 가능한 기반을 마련할 수 있었다.

본 연구에서 한계는 첫째, 기존에 구축된 데이터를 이용하여 속성입력의 자동화를 하였으나 공간관계가 제대로 성립되어 있지 않아 속성이 자동으로 입력되지 않은 예외 사항도 도출되었다.

둘째, 속성을 입력하기 전 공정인 세부도화 공정에서도 속성입력의 정확도를 높이기 위해 세부도화 자동화에 관한 추가 연구와 일반국도, C-ITS 실증구간, 지방도 등 하위 등급의 도로 또한 제작 및 갱신 중으로 하위 도로 등급에 맞는 추가적인 실험방법에 관한 연구가 필요하다.

셋째, 정밀도로지도 작업지침과 매뉴얼 등이 고속국도 및 일반국도 위주로 제작이 되어있지만, 하위 도로 등급(ROAD_RANK)에 맞는 작업지침과 매뉴얼 등을 참고하여 자동화하는 방안 에 관한 연구가 필요하다고 판단된다. **KAGIS**

REFERENCES

Choi, T.S., Yoon, H.S., Choi, Y.S., Lee, W.J. and S.Y. Chang. 2020. A Study on high definition road map construction using aerial photography. *Spatial Information Research* 28(3):69-76 (최태석, 윤하수, 최윤수, 이원중, 장수영. 2020. 항공사진을 이용한 정밀도로지도 구축에 관한 연구. 대한

공간정보학회지 28(3):69-76).

Hong, S.P., Oh, J.M., Song, Y.H., Shin, Y.M. and D.K. Sung. 2020. Study on automated error detection method for enhancing high definition map. *Journal of the Korean Society of Survey.* 38(4):391-399 (홍송표, 오종민, 송용현, 신영민, 성동기. 2020. 정밀도로지도 레이어의 품질향상을 위한 자동 오류 판독 연구. 한국측량학회지 38(4):391-399).

Kim, D.J., Lee, W.J., Kim, G.C. and Y.S. Choi. 2021. Quickly map renewal through IPM-based image matching with high-definition map. *Korean Journal of Remote Sensing* 37(5-1):1163-1175 (김덕중, 이원중, 김기창, 최윤수. 2021. IPM 기반 정밀도로지도 매칭을 통한 지도 신속 갱신 방법. 대한원격탐사학회지 37(5-1): 1163-1175).

Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement. 2017. Development and verification of rapid detection technology of road change for supporting autonomous driving (국토교통과학기술진흥원. 2017. 자율주행 지원을 위한 도로변화 신속 탐지 기술 개발 및 실증 기획 최종보고서).

Korea Internet & Security Agency. Trends on global industry (한국인터넷진흥원. 2023. 위치정보 산업 동향 보고서).

National Geographic Information Institute. 2017. A Study on the advancement of precision road map and the construction of a pilot for supporting self-driving vehicles (국토지리정보원. 2017. 자율주행차 지원 등을 위한 정밀도로지도 고도화 방안 연구 및 시범 구축).

National Geographic Information Institute. 2020. A Study on the plan to jointly

build a high definition map (국토지리정보원. 2020. 정밀도로지도 공동 구축 추진 방안 연구).

National Geographic Information Institute. 2021. Manual of quality verification for high definition road map (국토지리정보원. 2021. 정밀도로지도 품질검증 매뉴얼).

National Geographic Information Institute. 2023. Regulations on the construction and renewal of precision road maps (국토지리정보원. 2023. 정밀도로지도의 구축 및 갱신 등에 관한 규정).

National Geographic Information Institute. 2023. Manual of producing for high definition road map (국토지리정보원. 2023. 정밀도로지도 제작 매뉴얼).

Oh, J.M. 2021. A Study on automated error inspection of high definition map. University of Seoul (오종민. 2020. 정밀도로지도 오류 검사 자동화에 관한 연구. 서울시립대학교 박사학위 논문). 