

지반정보 변화객체 탐지·추출 시스템 개발 Detecting and Extracting Changed Objects in Ground Information

김광수¹⁾ · 김봉완²⁾ · 장인성³⁾

Kim, Kwangsoo · Kim, Bong Wan · Jang, In Sung

Abstract

An integrated underground spatial map consists of underground facilities, underground structures, and ground information, and is periodically updated. In this paper, we design and implement a system for detecting and extracting only changed ground objects to shorten the map update speed. To find the changed objects, all the objects are compared, which are included in the newly input map and the reference map in the integrated map. Since the entire process of comparing objects and generating results is classified by function, the implemented system is composed of several modules such as object comparer, changed object detector, history data manager, changed object extractor, changed type classifier, and changed object saver. We use two metrics: detection rate and extraction rate, to evaluate the performance of the system. As a result of applying the system to boreholes, ground wells, soil layers, and rock floors in Pyeongtaek, 100% of inserted, deleted, and updated objects in each layer are detected. In addition, it provides the advantage of ensuring the up-to-dateness of the reference map by downloading it whenever maps are compared. In the future, additional research is needed to confirm the stability and effectiveness of the developed system using various data to apply it to the field.

Keywords : Integrated Underground Map, Ground Information, Changed Object, Detection Rate, Extraction Rate

초 록

지하공간 통합지도는 지하시설물, 지하구조물, 지반정보로 구성되어 있으며, 주기적으로 갱신이 발생하고 있다. 본 논문에서는 통합지도 갱신 속도를 단축하기 위해 변화된 지반정보만을 탐지 및 추출하는 시스템을 설계하고 이를 구현하였다. 변화 객체를 찾아내기 위해 신규 입력된 지도와 통합지도에 저장된 참조 지도에 포함된 모든 객체들을 비교하였다. 객체를 비교하여 결과를 생성하는 전체 과정을 기능별로 분류하였으므로, 구현된 시스템은 객체 비교기, 변화 객체 탐지기, 과거 데이터 관리기, 변화 객체 추출기, 변화 유형 분류기, 변화 객체 저장기 등의 모듈로 구성되었다. 구현된 시스템의 성능을 평가하는 지표로 변화 객체 탐지율 및 추출률을 사용한다. 개발된 컴포넌트를 평택시 시추공, 관정, 지층, 암상 등에 적용한 결과 각 레이어의 신규, 삭제, 변경(속성) 객체들을 각각 100% 탐지하였다. 또한, 지도를 비교할 때마다 참조 지도를 다운로드 받음으로써 참조 지도의 최신성이 보장되는 장점을 제공하였다. 추후, 현장에 적용하기 위해 다양한 데이터를 사용하여 개발된 결과의 안정성과 효율성을 확인하는 연구가 필요하다.

핵심어 : 지하공간 통합지도, 지반정보, 변화 객체, 탐지율, 추출률

Received 2021. 11. 26, Revised 2021. 12. 10, Accepted 2021. 12. 22

1) Member, Principal Researcher, City and Transport ICT Division, ETRI (E-mail: enoch@etri.re.kr)

2) Principal Researcher, City and Transport ICT Division, ETRI (E-mail: kimbw@etri.re.kr)

3) Corresponding Author, Director, City and Transport ICT Division, ETRI (E-mail: e4dol2@etri.re.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

도시의 노후화로 인해 다양한 원인에 기인한 지반침하 사고의 지속적인 발생으로 인적 및 물적 피해가 증가하고 있다. 연도별로 발생한 지반침하 사고 발생 현황을 정리한 기사에 따르면 2016년부터 2020년까지 매년 약 270건의 지반침하 사고가 발생하였다(KLD, 2021). 이러한 지반침하 사고의 원인을 심층적으로 분석한 결과 굴착공사 부실, 다짐 불량, 상수관 및 하수관 공사 부실 등 여러 가지 원인이 혼재되어 지반이 붕괴한다는 사실이 밝혀졌다. 특히, 지반침하를 발생시키는 가장 많은 원인은 하수관 손상으로 확인되었다(MOLIT, 2020).

지반침하 사고를 예방하고 지하공간에 대한 안전을 확보하기 위해 국토교통부에서는 지하에 매설 및 설치된 상수관, 하수관, 가스관, 전기선, 지하철로, 지하철 역사 등 사회 기반 시설의 현황을 입체적 및 체계적으로 관리하기 위해 3차원 기반 지하공간통합지도를 2015년부터 구축하고 있다. 이 사업은 2023년까지 전국 모든 지방자치단체(162개)를 대상으로 3차원 지하공간통합지도 구축을 완료하는 것을 목표로 진행 중이다(MOLIT 2019). 3차원 지하공간통합지도는 지방자치단체 및 유관기관이 보유하고 있는 총 15종의 지하 정보를 포함한다. 지하 정보에는 지하시설물 6종 (상수, 하수, 통신, 전기, 가스, 난방), 지하구조물 6종 (지하철, 지하철도, 지하철도, 지하철상가, 지하 주차장, 공동구) 및 지반 정보 3종 (시추, 관정, 지질 정보)이 포함된다(Jun, 2015; Park, 2018).

한 번 구축된 지하공간통합지도는 정보의 최신성을 보장하기 위해 매년 2회 업데이트되고 있다. 개별 지하정보 관리기관에서 신규 지도를 제출하면 기존에 지하공간통합지도에 저장된 신규 지도와 관련된 정보를 모두 삭제한 후 신규 지도를 통합지도에 저장하는 방법을 사용하여 통합지도가 업데이트되고 있다. 이 방식의 장점은 신규 지도에 포함된 모든 정보가 통합지도에 저장되므로 손실 정보가 없고 단순하고 구현하기 쉬운 장점이 있다. 그러나, 신규 지도에는 변경된 객체와 변경되지 않은 객체가 같이 포함되어 있으나 이들 객체에 대한 구분 없이 일괄적으로 업데이트가 진행되므로 변경되지 않은 객체는 반복적으로 삭제 및 재장이 발생하여 통합지도 업데이트 시간을 느리게 하는 단점이 있다.

이러한 단점을 해결하기 위해 지하시설물에 대한 변화객체 탐지 및 추출 기술이 개발되었다(Kim, 2020a; Kim, 2020b). 선행 연구에서는 선형(Line) 지오메트리로 구성된 지하시설물 지도가 신규로 입력될 때, 기존에 통합지도에 저장한 참조 지도와 신규 지도를 비교하여 변화가 발생한 객체만을 찾아

낸다. 변화객체 탐지 과정에서 SHP 파일로 저장된 지도를 사용하였으며, 변화객체 탐지가 완료된 후 신규 지도 파일이 다음 번 비교를 위한 참조 지도 파일로 사용된다. 이렇게 찾은 변화객체만을 통합지도에 저장함으로써 기존의 통합지도 업데이트 시간을 대폭 단축시켰다.

그러나, 이 방법을 활용한 통합지도 업데이트 과정에서 손실되는 정보가 발생하는 문제가 있다. 손실 정보를 줄이려면 입력되는 지도에 포함된 객체들의 특징을 사전에 분석하여 위치 오차와 관련된 변수들을 조정하여야 하지만, 지도마다 발생할 수 있는 객체들의 위치 오차 경향성이 일관되지 않고 신규 지도가 입력될 때마다 다른 값을 사용해야 하므로 변수 조정은 바람직한 방법이 될 수 없다.

본 논문에서는 선행 연구에서 다루지 않은 지반정보에 대한 변화객체를 찾는 방법을 제안하였다. 제안된 방법의 설계 및 개발 기준은 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 첫째, 지하시설물 변화객체 탐지 및 추출 기술에서 발생한 문제를 고려하여 모든 지반정보 지도마다 동일한 기준을 적용하여 변화 객체를 탐지한다. 둘째, 서로 다른 종류의 지도에 연구 성과를 적용하였을 때도 손실 정보가 발생하지 않도록 개발한다. 셋째, 지하공간통합지도가 실시간으로 갱신되는 환경에서도 참조 지도가 최신성을 유지할 수 있도록 개발한다.

2. 관련연구

본 논문에서 제시하는 지반정보 변화 객체 탐지 및 추출 기술은 공간지도에서 갱신된 부분만을 추출하는 부분지도 업데이트 방법과 유사성이 있다. 따라서, 2장에서 부분적으로 변화가 발생한 공간 정보를 선별하여 기존의 전체 지도를 업데이트하는 부분지도 업데이트 기술과 기존의 지반정보 구축 방안 연구에 대하여 논의한다.

기존의 부분지도 업데이트 기술은 주로 도로지도 부분 갱신 분야와 지하시설물 분야에서 연구되었다. 도로지도 부분 업데이트 기술은 차량용 주행 안내 시스템과 관련되어 다양한 연구가 진행되고 있다. Mapscape사의 보고서에 따르면 도로는 매년 15% 정도의 변경이 발생하고 있다(Mapscape, 2020). 따라서, 현재 도로지도를 업데이트하는 주류 방법인 주기적으로 전체 도로지도를 한 번에 업데이트하기보다는 변경된 부분만을 수시로 업데이트하는 것이 주행 안내 시스템의 정확도 향상에 좀 더 이바지할 수 있다. 도로지도 부분 업데이트 기술에서는 주로 차량에 탑재된 GPS (Global Positioning System) 수신기에 저장된 위치 좌표를 이용하여 신규 도로를 생성한다(Stanojevic, 2018; Vesely, 2008). 차량이 이동하면

서 저장한 수신된 GPS 좌표와 기존의 도로망 지도를 중첩 분석하면, 신규로 건설된 도로를 수시로 찾아낼 수 있다. 그러나, 이 방법에서 신규 건설 도로로 추정하기 위해서는 충분한 수량의 GPS 좌표가 존재하여야 한다.

최근에는 지하시설물 부분 업데이트 기술이 개발되었다 (Kim, 2020a; Kim, 2020b). 이 기술에서는 지하시설물의 형상이 선형이라는 특징을 이용하여 지하시설물 객체를 둘러싸고 있는 MBR (Minimum Bounding Rectangle)과 객체의 중심점 좌표를 이용하여 참조 지도와 객체들에 대한 색인을 개발하였다. 신규 지도가 입력되는 경우 신규 지도에 포함된 개별 객체들을 참조 객체들에 대한 색인에 입력함으로써 검색 대상 객체들의 수량을 대폭 감소시킴으로써 변화 객체 검색 시간을 단축시켰으며, 변화 객체 탐지율과 추출률도 만족할 만한 수준에 도달하였다. 그러나, 이 연구에서는 데이터의 특징에 따라 변화 객체 탐지율과 추출률이 변동하는 문제가 있다. 또한, 이 기술에서는 파일 단위의 비교가 이루어짐으로써 처리 속도는 신속한 장점이 있으나, 지하공간통합지도가 실시간으로 변화가 발생하는 환경에서는 파일로 저장된 참조 지도의 최신성이 유지되지 않는 문제도 발생한다.

지반정보의 구축은 주로 지하공간에 대한 안전관리의 효율성 향상을 위해 진행되고 있다 (Park, 2017; Park, 2018). 특히, 3차원 지반정보는 지하공간 통합지도의 주요 구성요소 중 하나이며, 지하안전영향평가 실시를 위한 핵심적인 데이터로 사용되고 있다. 기존 연구들에서는 지반정보를 구축하는 평가 지표로 정확성, 활용성, 효율성을 사용하였으며, 이들의 평가 결과 전체 지층에 대한 일괄 구축이 가장 적합한 것으로 판단되어 지반정보를 일괄 구축하는 것으로 진행하였다. 그러나, 이렇게 일괄 구축을 하는 것은 처음 구축할 때는 효율이 높으나, 구축된 정보를 갱신할 때에는 변화가 발생하지 않은 데이터도 함께 갱신하는 비효율성이 존재한다.

상기에 논의된 차량 주행 안내용 도로지도와 지하시설물 부분 업데이트 기술은 변경이 발생한 부분을 찾아내어 기존의 사용 중인 전체 지도에 반영하는 방법을 제시하고 있다. 특히, 지하시설물 부분 업데이트 기술은 선형 데이터에 적용하여 효율이 높다는 것도 입증하였다. 그러나, 지반정보는 선형(Line) 데이터 뿐만 아니라 점형(Point) 데이터 및 면형(Polygon) 데이터를 함께 포함하고 있으므로, 기존의 기술을 세 가지 형식의 데이터에 모두 적용할 수 있도록 변형 혹은 고도화시킬 필요가 있다. 따라서, 본 논문에서는 점, 선, 면 세 가지 형식의 데이터에 동시에 적용할 수 있는 변화 객체 탐지 및 추출 방법을 찾아내고 실험을 통해 그 효율성을 입증하고자 한다.

3. 지반정보 변화 객체 탐지 및 추출 시스템

3.1 지반정보 특징

지반정보는 시추공, 관정, 및 지질 데이터로 구성되어 있으며, 지질은 지층과 암상으로 분류된다. 상수관로, 하수관로, 통신선로, 전기선로, 가스관로, 난방관로 등을 포함하는 지하시설물은 모두 선형(Line) 데이터로 구성되어 있으며, SHP 파일로 저장되어 있다. 반면, 지반정보는 선형(Line), 점형(Point), 면형(Polygon) 데이터가 모두 포함되어 있으며, SHP 파일로 저장되어 있다. 지반정보의 형상적인 특징은 Fig. 1에 표시하였다. Fig. 1에서 확인할 수 있는 것처럼 시추공과 관정 (Figs. 1(a) and 1(b))은 점형 데이터이며, 지질 중 지층은 선형 데이터(Fig. 1(c)), 지질 중 암상은 면형 데이터(Fig. 1(d))로 구성된다. 따라서, 지반정보 변화 객체 탐지 및 추출 시스템에서는 이들 세 가지 형식의 데이터를 모두 처리할 수 있는 범용성의 방법들을 구현하였으며, 상세한 내용은 3.3절에서 설명한다.

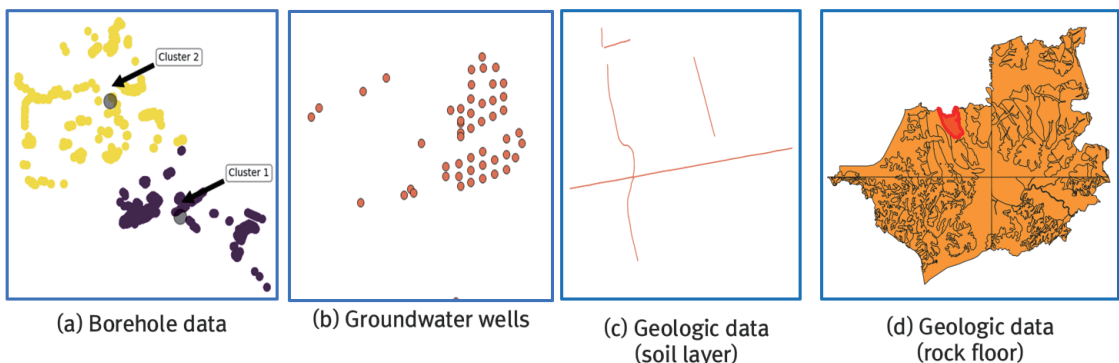


Fig. 1. Shapes of ground information

3.2 시스템 구조

지반정보 변화 객체 탐지 및 추출 시스템(GICODES: Ground Information Changed Object Detection and Extraction System)의 구조는 Fig. 2에 표시하였다. GICODES의 핵심 모듈은 객체 비교 기능을 수행하는 객체 비교기(Object Comparer), 변화된 객체의 존재 여부를 탐지하는 변화객체 탐지기(Changed Object Detector), 변화된 객체를 기존 객체들에서 추출하는 변화객체 추출기(Changed Object Extractor), 변화된 객체들을 변화 유형에 따라 분류하는 변화객체 분류기(Changed Type Divider), 변화된 객체들을 변화 유형에 따라 각각 별도의 폴더 및 파일로 저장하는 변화 객체 저장기(Changed Object Saver), 외부와의 데이터 입출력을 담당하는 인터페이스(Interface), 인터페이스를 통해 입력된 정보를 활용하여 실제로 파일을 읽어오는 데이터 수신기(Data Receiver), 생성된 결과에 대한 정보를 인터페이스로 전달하는 데이터 송신기(Data Sender)로 구성된다.

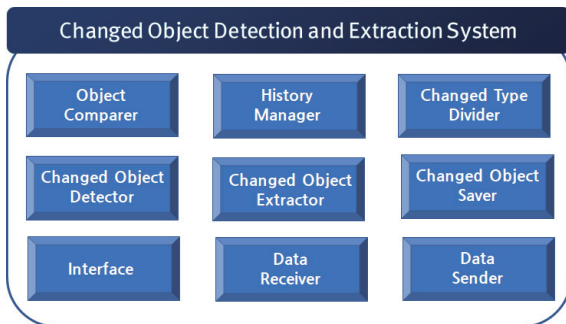


Fig. 2. Structure of ground information changed object detection and extraction system

3.3 변화객체 탐지/추출 절차 및 방법

지반정보 변화객체 탐지 및 추출 절차는 Fig. 3에 표시하였다. 먼저 신규 지도가 입력되면, 신규 지도의 전체 영역(Extent)과 레이어 타입을 추출하고, 이 영역과 레이어 타입에 해당하는 기존에 지하공간통합지도에 저장된 객체들을 SHP 파일로 다운로드 받아 저장한다. 신규 지도가 입력될 때마다 통합지도에서 매번 필요한 객체들을 다운로드 받으므로써 참조 지도 또는 객체들의 신규성을 보장할 수 있다. 만일, 기존처럼 가장 최근에 입력된 지도 파일을 참조 지도로 저장 및 활용하는 방식을 이용하는 경우 신규로 개설된 준공도서제출시스템을 통해 수시로 입력되는 객체는 참조 지도에 반영되지 못함으로 참조 지도가 표시하는 영역에 대한 모든 객체를 포함하지 못하는 문제가 발생한다. 이 문제로 인하여 변화 객체 탐

지 및 추출 결과에 오류가 발생할 수 있다. 이미 준공도서제출시스템을 통해 통합지도에 반영되어 있으나 참조 지도에는 반영되지 않은 객체가 신규 객체로 탐지되는 것이 대표적인 오류이다. 이 경우 해당 객체는 변화 없음으로 판정되어야 한다. 이러한 문제를 신규 지도가 입력될 때마다 지하공간 통합지도에서 필요한 데이터를 다운로드 받아 해결하였다.

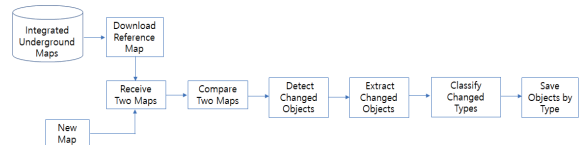


Fig. 3. Flow of detecting and extracting changed ground objects

다음으로 입력된 참조 지도와 신규 지도를 비교하여, 변화가 발생한 객체만을 탐지 및 추출한다. 지반정보를 표현하는 점, 선, 면 형식의 데이터에 모두에 적용할 수 있는 MBR (Minimum Bounding Rectangle)과 MBR의 중심점을 이용한 방법(Kim 2020a, Kim 2020b)을 원시 데이터의 형식에 영향을 받지 않도록 변경하여 적용하였다. Fig. 4은 면형 객체(O1, O2)에 대한 MBR과 MBR의 중심점(C1, C2)을 표시하고 있다. Figs. 4(a)와 (b)는 비슷하지만 서로 다른 형상의 객체이나 동일한 MBR을 가지고 있다. 따라서, 객체의 동일 여부를 판단할 때는 MBR 비교와 객체들 비교가 필요하다. 선행 연구에서는 객체들 사이의 위치 오차를 고려하여 동일 객체 여부를 판정하였다. 즉, $|Cn - Cr| < \alpha$ 이면 동일 객체로 판정한다. 여기에서 Cn , Cr , α 는 각각 신규 객체 MBR의 중심점 좌표, 참조 객체 MBR의 중심점 좌표, 중심점 사이 거리에 대한 오차 한계이다. 이 과정을 통해 객체들 사이의 거리 계산 과정에 참여할 객체 수를 대폭 감소시켜 처리 속도를 향상시킬 수 있었다. 동일 객체로 판정된 경우, 실제로 두 개의 객체가 동일한 객체인지를 판정하기 위해 객체들을 구성하는 포인트 좌표를 비교한다. 즉, $\sum_{i=1}^n |PTn(i) - PTr(i)| < \beta$ 이면 동일 객체로 판정한다. 여기에서 PTn , PTr , β , n , i 는 각각 신규 객체 포인트, 참조 객체 포인트, 객체 사이 거리에 대한 오차한계, 객체를 구성하는 포인트 개수, 포인트에 대한 인덱스이다. 이 방법은 같은 위치를 측량할 때라도 오차가 발생하는 현실적인 문제를 잘 반영하고 있다. 그러나, α 와 β 값에 따라 변화객체 탐지 성능이 변화되는 단점이 있으며, 모든 지도에 공통적으로 사용할 수 있는 α 와 β 값을 찾는 것이 매우 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 모든 지도에 공통적으로 적용할 수 있도록 β 값

을 0으로 선정하였다. 즉, 객체들의 형상이 정확하게 일치되는 것만을 같은 객체로 선정하였고, 조금이라도 차이가 나는 경우는 다른 객체로 판정하였다. 즉, 선행 연구에서는 객체들 사이의 위치 오차한계를 허용하였으나, 본 연구에서는 오차한계를 인정하지 않는 방법을 적용하여 객체들의 위치 오차 특성에 영향을 받지 않도록 하였다.

다음 단계에서는 변화 유형에 따라 각각의 객체들을 분류한다. 지반정보 객체를 비교하여 변화 유형을 판별하는 절차는 Fig. 5에 표시하였다. 변화 유형의 비교는 객체의 형상(Geometry) 비교와 속성(Attribute) 비교로 구분한다. 형상 비교를 통해서 신규 객체 및 삭제 객체를 분류한다. 신규 객체는 참조 지도에는 없으나, 신규 지도에는 존재하는 객체를 의미한다. 또한, 삭제 객체는 참조 지도에는 존재하지만, 신규 지도에는 존재하지 않는 객체이다. 형상이 동일한 경우에는 속성 비교를 진행한다. 만일, 형상이 다른 경우에는 속성 비교를 진행하지 않는다.

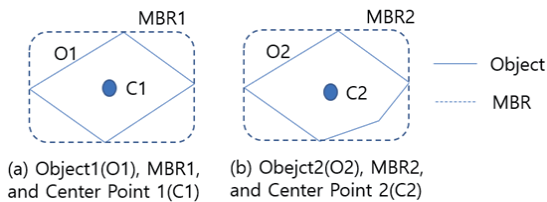


Fig. 4. MBRs and their center points of polygon objects

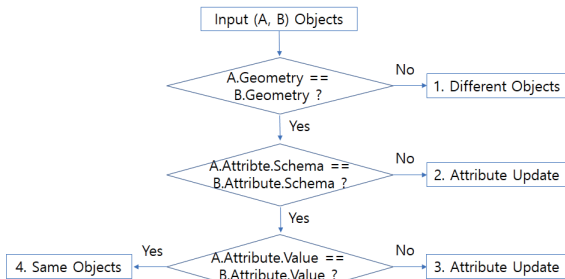


Fig. 5. Flow of comparing two objects

먼저 신규 지도에 포함된 객체(A)와 참조 지도에 포함된 객체(B)를 입력으로 받는다. 입력된 두 객체의 형상을 비교하여, 두 객체의 형상이 동일하면 다음 단계인 속성 비교 단계로 진행하고, 형상이 다른 경우 비교를 종료한다. 형상의 비교는 객체 MBR의 중심점 좌표와 객체들을 구성하고 있는 포인트 좌표를 이용한다. 객체들간 MBR 중심점 사이의 거리 및 객체들 사이의 거리가 일정 기준 값보다 작으면 동일 객체로 판정한다. 이때 포인트들의 개수도 일치해야 같은 객체로 판정한다. 비교가

종료된 경우, 형상이 달라진 원인을 찾아 객체들에 각각 “삭제”와 “신규”태그(tag)를 부여한다. 형상이 동일한 객체들에 대해서는 먼저 속성의 스키마 비교를 진행한다. 스키마가 동일한 경우는 동일 객체로 판정하여 속성 값 비교 단계로 진행하고, 스키마가 다른 경우는 비교를 종료하고 객체들에게 “속성 변경”태그를 부여한다. 속성 스키마가 동일한 객체들에 대해서는 속성 값 비교를 진행한다. 속성 값들이 동일한 경우는 동일 객체로 판정하여 두 객체는 동일한 객체로 “변화없음”태그를 부여하고, 속성 값이 다른 경우는 비교를 종료하고 객체들에게 “속성 변경”태그를 부여한다.

변화객체 탐지 및 추출 절차가 모두 종료되면, 모든 객체에는 “신규(Inserted)”, “삭제(Deleted)”, “속성 변경(Updated)”, 및 “변화 없음(Unchanged)”태그가 부여된다. 따라서, 각각의 태그에 해당하는 객체들을 하나로 모아서 변화 유형에 따라 폴더를 생성한 후, 해당하는 객체들은 해당 폴더에 SHP 파일로 저장한다. 이때, “변화 없음”태그가 부여된 객체는 저장하지 않는다. 따라서, 변화가 발생한 객체들만 변화 유형에 따라 저장되어 지반정보 자동갱신 시스템으로 전달되므로 향후 진행되는 데이터 처리 절차에서 입력으로 사용되는 객체들의 수량을 대폭 감소시켜 처리 시간을 단축시킨다. 따라서, 지하공간통합지도 갱신 단계에서 신규 객체는 3차원 객체로 변환되어 지하공간통합지도에 저장되고, 삭제 객체는 통합지도에서 삭제되고, 속성 변경 객체는 3차원 변환 없이 속성만 변경시킨다.

3.4 데이터 입출력

지반정보 변화객체 탐지 및 추출 시스템은 독립적으로 수행이 가능한 시스템으로 개발이 완료되었다. 또한, 변화객체 탐지 및 추출 기능이 필요한 다른 시스템과의 편리한 연동이 가능하도록 데이터 입출력 부분을 독립된 모듈을 사용하였다. 따라서, 외부 시스템에서 개발된 결과를 사용할 때에는 이 모듈과의 인터페이스 부분만을 개발하고 필요한 정보만 상호 교환하면 된다. 데이터 입출력 모듈로는 메시지 큐(Message Queue, MQ)의 일종인 Active MQ를 사용하였다. 데이터 입출력 모듈로 널리 알려지고 안정적인 Active MQ를 사용함으로써, 두 가지 장점을 제공한다. 첫째, 테스트 모듈 개발 및 다른 시스템과의 통합시 개발된 시스템에 대한 이해를 요구하지 않는다. 둘째, 공개된 인터페이스를 사용함으로써 테스트 모듈 개발 및 다른 시스템과의 통합시 오류 발생 부분 분리가 편리하다. 즉, 오류 발생시 테스트 모듈과 메시지 모듈 사이의 교환정보 확인 및 메시지 모듈과 개발 시스템 사이의 교환정보 확인으로 오류 생성 부분을 분리함으로써 오류 원인

파악이 수월해진다. 전자에서 오류 발생시 테스트 모듈을 수정하고, 후자에서 오류 발생시 개발된 결과를 수정하는 것으로 오류 수정 주체를 쉽게 구분한다. 외부 시스템과 개발된 결과 사이의 데이터 입출력 흐름은 Fig. 6에 표시하였다. Fig. 6의 MQ_A에는 개발된 결과의 입력으로 사용한 파일 이름, 레이어 이름, 파일이 저장된 폴더 및 패스 등의 정보가 저장된다. 또한, MQ_B에서는 변화된 객체들을 변화 유형에 따라 구분하여 저장한 파일을 포함하고 있는 폴더 및 패스, 파일 이름, 레이어 이름, 변화 유형 등의 정보가 저장된다.

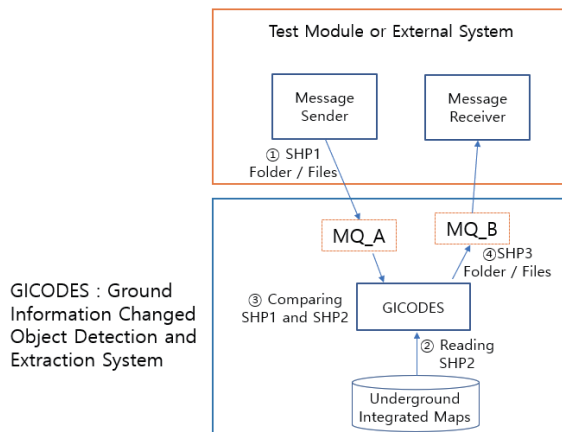


Fig. 6. Data flow between GICODES and an external system

4. 실험결과

4.1 실험환경

제한한 지반정보 변화 객체 탐지 및 추출 컴포넌트의 성능을 확인하기 위해 다양한 방법의 실험을 진행하였다. 실험에 사용한 하드웨어 장비와 환경은 Table 1에 정의하였다. 제한한 방법의 성능 지표로는 탐지율과 추출률을 사용한다. 탐지율은 재현율 즉 Recall의 개념으로 정의하였으며, 추출률은 정밀도 즉 Precision의 개념으로 정의하였다. 따라서, 탐지율은 (변화객체로 탐지된 수 / 변화 객체 수)로 계산하고, 추출률은 (실제 변화된 객체 수 / 변화객체로 탐지된 수)로 계산한다. 또한, 탐지율과 추출률이 각각 100%인 경우에는 둘을 분리하지 않고 하나의 성능 지표인 변화 객체 수와 탐지 객체 수의 비율로 사용하였다.

제한한 방법의 성능 지표를 확인하기 위해 실제 평택시 지반정보 데이터를 이용하여 실험을 진행하였다. 서로 다른 시기에 만들어진 평택시 지반정보 데이터가 존재하지 않으므로, 참조 지도로 사용한 데이터들에 대해 인위적으로 삭제,

추가, 속성 변경을 통해 실험용 신규 지도를 생성하였다. 실험에 사용한 데이터는 Table 2에 정의하였다. 삭제 데이터는 참조 지도에 존재하는 객체들 중 일정 수량을 삭제하여 신규 지도를 생성하였으며, 신규 데이터는 참조 지도에 존재하지 않는 일정 수량을 추가하여 신규 지도를 생성하였으며, 변경 데이터는 참조 지도에 존재하는 객체들 중 일정 수량의 속성을 변경하여 신규 지도를 생성하였다.

Table 1. Experiment environment

CPU	Intel Core i7 Quad Core
RAM	16 GB
SSD	1 T
OS	CentOS 2.6.32
Language	Java JDK 1.8

Table 2. Data sets

Data Set	Borehole Data	Soil Layer	Rock Floor	Ground Wells
Number of Reference Data	3925	8651	321	49
Number of Deleted Data	27	7	1	6
Number of Updated Data	4	2	1	1
Number of Inserted Data	11	2	2	16

실험 방법은 참조 데이터 세트와 신규 데이터 세트 사이에 갱신된 객체가 존재하는지와 갱신 객체를 별도로 추출하여 갱신 유형별로 분류한 후 유형별 파일로 저장하였다. 지반정보 변화객체 탐지 및 추출 컴포넌트의 실행이 종료된 후에는 QGIS를 이용하여 참조 지도, 신규 지도, 변화객체 탐지 결과를 하나의 화면에 표시하여 객체들의 수량 및 형상 정보를 비교하였다.

4.2 탐지율 및 추출률

본 실험에서 제한한 방법은 Table 2에 기록된 실험에서 사용한 네 가지 형식의 지반정보에 대해 모든 변화 객체를 오류 없이 탐지 및 추출하였다. 성능 지표로는 탐지율과 추출률을 사용하였으나, 변화 객체에 대한 오탐 및 미탐 문제가 발생하지 않아 객체들의 수량으로 비교를 하였다. 실제 변화된 객체 수(Changed Count)와 변화가 발생한 것으로 탐지된 객체 수

(Detected Count)를 비교하였으며, QGIS에서 확인한 결과 오탐과 미탐된 객체가 존재하지 않는 것을 확인하였다. 따라서, 탐지율과 추출율은 각각 100%이다. 따라서, 제안된 지반정보 변화 객체 탐지 컴포넌트는 선형, 면형, 점형 등 모든 지오메트리 형상에 적용할 수 있다는 것을 확인하였다. 이 결과는 구현된 컴포넌트의 미탐 및 오탐 객체가 없다는 것을 알려준다. 그러나, 적용 대상이 변경되어 미탐 및 오탐이 존재하는 경우 탐지율과 추출율은 변화될 수 있다.

또한, 제안한 방법과 선행 연구 결과의 변화 객체 탐지결과를 Fig. 7에 표시하였다. 선행 연구에서는 α 와 β 값을 각각 초기 값인 0.01과 1.0 cm로 설정한 후 군포시 상수관로에 적용하였다. 적용 결과, 변화 객체 중 하나를 탐지하지 못하였다. 미탐이 발생한 원인은 신규 객체와 참조 객체의 MBR 사이의 거리가 오차 한계인 α 및 객체들 사이의 거리 오차 한계인 β 보다 작아서 두 객체가 동일한 객체로 판정되었다. 즉, 참조 객체의 위치가 신규 객체의 위치로 매우 미세하게 이동하였으나, 선행 연구에서는 이것을 찾지 못한 것이다. 이 경우 변화가 발생한 신규 객체는 무시되고 기존의 참조 객체가 통합지도에 유지되는 오류가 발생한다. 이것을 수정하기 위해 α 값을 0.009로 줄여서 사용하면 미탐 문제를 해결할 수 있다. 그러나, 이 값은 군포시에서 발생한 오탐 문제를 해결하기 위한 값으로만 유효하게 사용할 수 있는 한계가 존재한다. 선행 연구에서는 군포시 데이터만을 사용할 수 있는 한계가 있어서 미탐 문제를 해결하기 위해 α 를 수정하였다. 제안된 방법에서는 군포시가 아닌 다른 지방자치단체에서 제작한 지도를 활용할 수 있었고 이 지도들을 분석하여 모든 지방자치단체에서 제작하는 모든 지도에 유일한 값으로 적용할 수 있는 최적의 α 값을 찾는 것은 불가능하다는 결론을 내리고 위치 오차 한계를 인정하지 않기 위해 β 값을 수정하였다. 따라서, 제안된 방법에서는 α 와 β 값을 각각 0.01과 0 cm로 설정하였다. 선행 연구에서 미탐으로 인식된 객체가 제안된 방법에서는 다른 객체로 인식되었다. 즉, α 를 이용한 비교에서는 동일 객체로 판정하였으나, β 를 이용한 비교에서 다른 객체로 판정하였다. 따라서, 참조 객체는 삭제로 판정되어 통합지도에서 제거되고, 신규 객체는 신규로 판정되어 통합지도에 저장되어 선행 연구에서의 미탐 문제를 해결할 수 있었다. 그러나, 이 경우에 객체들의 위치 값을 특정 소수점 자리에서 반올림하여 사용하는 경우 오류를 발생시킬 수 있다. 신규 객체가 미세하게 이동하였을 때 신규 혹은 참조 객체의 특정 소수점 자리에서 반올림한 경우 미세 이동이 무시되어 신규 객체와 참조 객체가 동일 객체로 간주되는 오류가 발생할 수 있다.

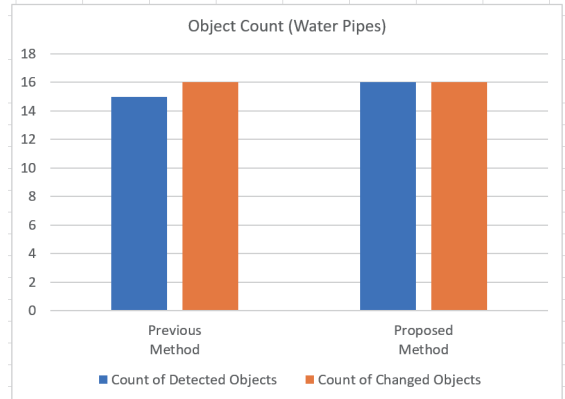
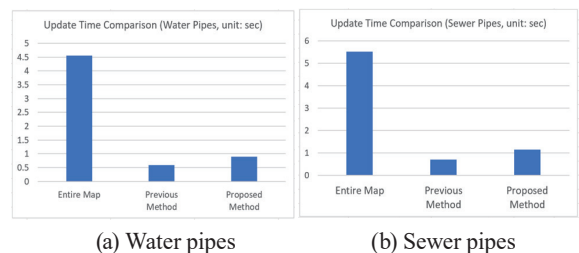


Fig. 7. Object count comparison

4.3 통합지도 갱신 시간 비교

제안한 방법과 선행 연구 결과의 통합지도 갱신 시간을 비교하였다. 제안한 방법은 선형 지오메트리에도 적용할 수 있으므로, 선행 연구 결과에서 사용한 군포시 데이터 중 상수관 및 하수관에 적용하여 통합지도 갱신 시간을 비교하였다. Fig. 8에서 Entire Map은 통관 지도를 이용한 통합지도 갱신 방법으로 신규 지도에 해당하는 기존 지도를 삭제하고 신규 지도를 입력하는 방법이다. Previous Method에서는 현재 입력된 신규 파일을 다음 번 비교시 참조 파일로 사용하였다. Proposed Method에서는 신규 지도가 입력될 때마다 신규 지도 영역에 해당하는 객체들을 통합지도에서 다운로드 받아 사용하였다. 따라서 제안된 방법은 선행 연구의 방법에 비해 지도 다운로드 시간이 추가로 필요하여 처리 속도는 조금 늦어지지만 Entire Map을 이용한 방법에 비해서는 월등히 빠른 속도를 나타낸다. 또한, 제안된 방법은 선행 연구의 단점인 갱신 주기 사이에 새롭게 공개된 준공도서제출시스템을 통해 입력된 객체들의 변화 정보를 참조 지도에 반영하지 못하는 문제도 해결하는 장점이 있다.



(a) Water pipes (b) Sewer pipes
Fig. 8. Update time comparison of the integrated underground map

5. 요약 및 결론

지하공간통합지도 구축이 완료되는 지방자치단체의 수가 증가할수록 제한된 시간 내에 각 지방자치단체에서 제출한 신규 지도를 통합지도에 신속히 반영하기 위한 갱신 시간 고속화에 대한 필요성이 증가하고 있다. 특히, 지반정보는 지하시설물에 비해 변화량이 크지 않은 특징이 있음에도 불구하고 기존에는 신규 지도에 포함된 모든 객체를 통합지도에 반영함으로써 통합지도 갱신 시간을 저하시키는 문제가 발생하고 있다. 지하공간통합지도 갱신 시간을 단축하기 위해, 본 논문에서는 신규 지도와 참조 지도를 비교하여 변화가 발생한 지반정보 객체만을 선별하는 지반정보 변화객체 탐지 및 추출 시스템을 설계하고 개발하였다. 시스템을 개발하기 위해 객체들을 비교하고 변화된 객체만을 선별하여 결과를 생성하는 전체 과정을 세부 기능별로 구분하여 각각의 기능을 세부 모듈로 설계하고 구현하였다. 또한, 신규 지도가 입력될 때마다 참조 지도를 지하공간통합지도에서 다운로드 함으로써 비교의 기준이 되는 참조 지도가 최신 정보를 항상 포함할 수 있도록 구현하였으며, 변화객체 탐지 결과의 정확성을 향상시키기 위해 객체들 사이의 위치 오차를 고려하지 않았다. 변화객체는 변화 유형에 따라 신규 객체, 삭제 객체 및 속성 변경 객체로 분류하여 각각 별도의 폴더 및 파일로 저장하여 다음 단계에서 변화 유형에 따른 추가적인 처리가 편리하도록 지원하였다. 실험 결과, 본 논문에서 개발된 지반정보 변화객체 탐지 및 추출 시스템에는 오탐 및 미탐된 객체가 없으므로 탐지율 및 추출률이 각각 100%임을 확인하였다. 특히, 지반정보는 점형으로 표시되는 시추공 및 관정, 선형으로 표시되는 지층, 면형으로 표시되는 암상 등 대부분의 지오메트리 형상에 적용할 수 있는 장점이 있다.

향후, 서로 다른 지방자치단체에서 구축한 다수의 지반정보 지도에 적용하여 실제 현장에서 발생할 수 있는 다양한 유형의 변화객체를 찾아내어 개발된 시스템에 적용함으로써 개발 결과의 안정성, 효율성, 확장성을 확인하고, 안정화 및 고도화된 결과는 지하정보활용지원센터의 지하공간통합지도 갱신 자동화 시스템에 적용하여 통합지도 갱신 시간 단축 효과를 평가할 계획이다. 또한, 지하공간통합지도를 구축하기 위해 수집된 다양한 정보 중 지하공간통합지도에 저장되지 않는 유효한 정보들을 활용한 변화객체 탐지 및 추출 기술을 개발하여 지하공간통합지도에 저장되는 객체들의 정보가 변화되어도 쉽게 적용할 수 있도록 준비할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21DCRU-B158151-02).

References

- Hankook Ilbo (2021), <https://www.hankookilbo.com/News/Read/201908151298352651>, (last date accessed: 18 November 2021.)
- Jun, J.A., Lee, J.H., Chin, C.H., Choi, C.H., Lee, S.J., Yum, B.W., and Lee, I.H. (2015), IoT based Urban Underground Utility Monitoring and Management System, *Electronics and Telecommunications Trends*, ETRI, Vol. 30, No. 5, pp. 28-38.
- Kim, K., Lee, K.W., Kim, B.W., and Jang, I.S. (2020a), Updated Object Extraction in Underground Facility based on Centroid, *Korea Information Processing Society Review Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 38, No. 6, pp. 553-559. (in Korean with English abstract)
- Kim, K., Lee, H.S., and Kim, J. (2020b), A Study on Updated Object Detection and Extraction of Underground Information, *Journal of Software Assessment and Valuation*, Vol. 16, No. 2, pp. 99-107. (in Korean with English abstract)
- Kim, K., Kim, B.W., and Jang, I.S. (2021), Development of Changed Object Detection Technology for Ground Information, *Proceedings of Korean Society for Geospatial Information Science*, 4-6 November, Jeju, Korea, pp. 286-287. (in Korean)
- Korea Land Daily (KLD), (2021), <http://www.ikld.kr/news/articleView.html?idxno=239920>, (last date accessed: 19 November 2021.)
- Mapscape (2020), <http://mapscape.eu/telematics/incremental-updating.html> (last date accessed: 2 October 2020.)
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) Press Release (2019), The 1st Basic Plan for Underground Safety Management, 2 September 2019. (in Korean)
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) Press Release (2020), The number of ground subsidence

nationwide in 2019 was 192, down 43% from the previous year, 18 February 2020. (in Korean)

Park, D.H., Jang, Y.G., Lee H. (2017), A Study on Construction Plan of Geotechnical Information for Underground Space Safety Impact, *Proceedings of Korean Society for Geospatial Information Science*, 25-26 May, Seoul, Korea, pp. 27-28. (in Korean)

Park, D.H., Jang, Y.G., Choi, H.S. (2018), A Study on the Construction Plan of 3D Geotechnical Information for the Support of Underground Space Safety, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 21, No. 1, pp. 23-34. (in Korean with English abstract)

Stanojevic, R., Abbar, S., Thirumuruganathan, S., Francisci Morales, G. Chawla, S., Filali, F., and Aleimat, A. (2018), Road network fusion for incremental map updates, *Progress in Location Based Services*, Springer, pp. 91-109.

Vesely, M., Novak, C., Reh, A., and Mayr, H. (2008), Incremental Navigation Map Enhancement with GPS Tracks from Heterogeneous Sources, *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence-2008*, 14-17 July, Las Vegas, Nevada, USA, Vol. 2, pp. 787-793.