

논문 2022-1-10 <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2022.06.10>

# 지하시설물도 정확성 개선을 위한 하수관 연결성 분석

김광수\*, 김주완\*, 장인성\*†

## Connection Analysis of Sewer Pipes to Improve the Accuracy of Underground Facility Maps

Kwangsoo Kim\*, Juwan Kim\*, In-Sung Jang\*†

### 요 약

도시의 편안한 삶을 지탱하는 인프라의 노후화로 인해 안전사고 발생이 증가하고 있으며, 사고 예방을 위해 눈에 보이지 않는 지하에 설치된 시설물을 효율적으로 관리하기 위해 지하공간통합지도가 구축되고 있다. 그러나 지하공간통합지도에 포함된 자료의 부정확성으로 인해 지하공간통합지도의 활용에 제약이 주고 있다. 따라서 본 연구에서는 지하공간통합지도 활용성 제고를 위해 지하시설물의 한 종류인 하수관의 연결 상태를 분석하는 방법을 제안한다. 제안된 방법에서는 연결이 단절된 하수관들을 찾아내는 방법을 사용하였으며, 기존의 방법들에서 탐지한 수평 위치 오류 뿐만 아니라 수직 위치 오류도 함께 검출함으로써 오류 검출 결과의 신뢰성을 향상시켰다. 탐지 결과로 추출된 고립된 하수관은 누수의 가능성이 있으므로 신속한 현장 측량을 통해 연결성 오류를 개선해야 할 필요성이 있다.

### Abstract

The occurrence of safety accidents is increasing due to the aging of the infrastructure that supports comfortable life in a city. To prevent the accidents, an integrated underground space map is being built to efficiently manage invisible underground facilities. However, the inaccuracy of the data included in the map is limiting the use of the map. Therefore, in this study, we propose a method to analyze connection states in sewage pipes, a type of underground information, in order to improve the usage of the integrated underground space map. In this study, the method of finding disconnected sewer pipes is used, and the reliability of the error detection result has improved by detecting not only the horizontal position error detected by the existing methods, but also the vertical error. Since the isolated sewer pipe detected by the proposed method has a possibility of leakage, there is a need to improve the connection error through a rapid on-site survey.

**한글키워드** : 지하공간통합지도, 지하시설물, 하수관로, 고립된 하수관, 연결성 오류

**keywords** : underground integrated map, underground facility, sewer pipe network, isolated sewer pipe, connection error

\* 한국전자통신연구원 도시·공간ICT연구실

† 교신저자: 장인성(email: e4dol2@etri.re.kr)

접수일자: 2022.06.10. 심사완료: 2022.06.20.

게재확정: 2022.06.20.

## 1. 서론

새로운 일자리와 더 좋은 정주 여건을 찾아 도시로 이동하는 도시화 과정은 현재도 계속되고

있다. 도시민의 쾌적한 생활을 지탱하기 위해서 도로, 상수도, 하수도, 전력, 통신, 가스와 같은 사회기반시설의 설치도 폭발적으로 증가하였다. 상수도, 하수도, 가스관 등은 지하에 주로 매설하고 있으며, 지상에 설치된 전력선 및 통신선 등도 도시 미관 및 안전을 위해 지하로 이동 중이다.

지하시설물의 위치는 육안으로 쉽게 확인할 수 없으므로 부정확한 지하시설물의 위치와 체계적인 관리의 부재는 도시의 안락한 생활을 위협하는 위험 요소가 되고 있다. 대표적인 것이 1994년 아현동 도시가스 폭발사고, 1995년 대구 지하철공사장 가스 폭발사고 및 노후 하수관의 균열에 기인하여 최근 빈번하게 발생하는 도로 및 지반함몰 등이다[1, 2].

사고 예방을 위한 지하시설물의 체계적인 관리는 두 가지 방향으로 진행되고 있다. 첫 번째는 정보통신기술을 접목하여 도시민에게 안전한 삶을 제공하려는 스마트 도시 구현의 일환으로 지하시설물의 현재 상태를 실시간으로 측정 및 송신할 수 있는 장치를 지하시설물에 부착하고 측정된 값을 분석함으로써 위험 요소를 사전에 탐지 및 예방하기 위한 연구가 진행되고 있다[3, 4]. 두 번째는 지하공간에 대한 체계적이고 입체적인 관리를 위해 지하시설물 6종, 지하구조물 6종, 지반정보 3종이 포함된 3차원 기반 지하공간 통합지도 구축 사업이다[5].

안전한 도시 구현을 위해서는 지하공간통합지도에 포함된 정보의 정확성이 기본이 되어야 한다. 그러나 지하공간통합지도에는 전국 지방자치단체, 한국전력, 한국가스공사, 송유관공사 등 서로 다른 기관에서 다른 제작 규정을 이용하여 만들어진 데이터가 포함되어 있으므로 오차가 많이 발생하고 있다. 이러한 오차를 줄이고자 품질 심사 과정을 도입하고 있으나, 여전히 육안 검수에 의존함으로써 데이터에 대한 일관된 품질을 보장하기 어려운 실정이다[6].

이에 본 논문에서는 지하공간통합지도에 포함된 지하시설물의 오류 현황을 파악하고 개선방안을 제시하기 위해 하수관로를 대상으로 하수관들 사이의 물리적 연결 관계를 분석하여 연결성 오류가 존재하는 객체들을 검출하였다.

## 2. 관련 연구

이번 장에서는 수치 지도에 포함된 다양한 오류를 탐지하는 선행 연구에 대하여 논의한다.

국토교통부에서 교통정보 교환을 위한 국가표준으로 사용하는 표준 노드-링크 데이터에는 전국의 도로망 정보를 포함하고 있다. 표준 노드-링크 데이터는 도로 구간을 표시하는 링크와 교차로를 표시하는 노드로 구분하고 각각에 대해 전국 단위의 유일한 식별자와 관련된 속성 정보를 부여된다. 또한, 노드는 링크의 종점 혹은 시점을 나타내므로 노드와 링크는 만나야 한다. 그러나 노드와 링크의 작성 과정에서 발생하는 위치 오차로 인해 서로 만나지 않는 객체들이 존재한다. 2020년 표준 노드-링크 데이터 485개를 추출하여 연결성을 조사하였을 때 위치 오차가 0m인 경우 연결되지 않은 링크가 427개(88%), 1m인 경우 46개(9%), 2m인 경우 44개(9%)가 검출되었다. 즉, 노드와 링크가 오차 없이 정확하게 연결된 객체들은 58개(12%)에 불과하다[7].

지하시설물 지도에 대해서는 공공측량 성과심사를 수행한다. 성과심사는 전산 심사, 도면심사, 현장 심사로 구성되어 있다. 지도 제작 기관에서 제출한 전체 물량의 20%에 대해 성과심사를 진행하고, 이 중 전체 물량의 2%의 표본을 추출하여 현장에서 정확도를 평가한다. 2004년, 2005년, 2006년에 작성된 가스, 전기, 상수도에 대한 현장 심사 결과 2004 및 2005년의 평균 평면 위치 적합률(오차 30cm 이내)이 85% 정도였으나, 2006

년에는 89%로 향상되었다[8].

충청남도 보령시 상수도 시설에 대한 정확도를 평가한 2011년 연구에서는 상수관로 사이의 평면 위치 오차가 30cm 이내인 경우가 97.7%로 나타났다[9]. 이 결과는 대부분의 조사 지점에서 공공측량작업규정에서 정한 허용 오차 한도인 30cm를 만족한다는 것을 보여준다.

하수관로에 대한 정확도를 평가한 연구에서는 하수관로 객체들 사이의 최소 거리를 계산하여 객체들 사이의 최소 거리에 대한 누적 분포를 계산하였다[10]. 객체들 사이의 최소 거리가 1m 미만인 경우가 79%, 3m 미만인 경우가 85% 정도, 6m 미만인 경우가 100% 정도로 계산되었다. 하수관로는 객체들이 서로 직접 연결되어 있거나, 맨홀을 통해 서로 연결되어 있어야 하므로 객체들 사이의 최소 거리는 대부분 1m 이내일 것으로 추측되나, 객체들 사이의 거리가 1m 이상인 경우도 21%인 것으로 나타났다.

선행 연구를 통해 지도가 생성된 시기 및 지역 등에 따라 위치 정확도 차이가 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 기존 사례 분석을 통해 지도 생성을 위한 장비의 발달로 기계적인 오차에 기인한 위치 오류는 감소하고 있으나, 작업자의 장비 운용 미숙, 경험 부족, 과실, 부주의, 지도 제작 작업 미숙으로 인한 오류가 자주 발생한다. 특히, 하수관은 자연 배수 방식을 사용하므로, 수평 위치 오차 뿐만 아니라 수직 위치 오차도 고려되어야 한다. 그러나 기존의 방법에서는 수평 위치만 고려되었다. 이에 본 연구에서는 하수관로의 수직 위치 오차도 함께 고려하여 하수관망의 물리적 연결 관계 등에 대한 분석, 이상치로 추정되는 관로들을 추출하는 방법을 제안하였다.

### 3. 연구 방법

#### 3.1 분석용 데이터

연구에서 사용되는 실험자료는 면적 36.38km<sup>2</sup>와 27만명이 거주하는 군포시의 실제 지하시설물 가운데 지반 함몰의 주요 원인으로 지적되고 있는 하수관 데이터를 사용하였다. 하수관 원시(raw) 데이터는 총 길이 363,273m에 10,213개의 객체를 포함하고 있다. 하수관 원시 데이터는 3차원 좌표(z좌표)가 없는 2D 정보이며, 깊이와 관련된 정보는 하수관로의 속성으로 표시된 시점과 종점의 심도로 저장되어 있다. 따라서 네트워크 생성과정에서는 심도 정보를 이용 모든 굴곡점(vertex)의 깊이 값을 계산하여 3차원 네트워크를 생성하게 된다. 또한, 하수관의 속성으로 제공된 시점과 종점 심도는 물리적인 깊이 값이 아닌 지표면으로부터 하수관까지의 심도 정보이며, 지표면의 표고에 따라 하수관의 물리적인 높낮이는 달라질 수 있다.

하수관망의 특징은 먼저 내부 유체가 한 방향으로 흐른다. 만약 방향이 바뀌면 역류로 인한 재난 상황이 발생할 수 있다. 둘째, 자연 배수방식을 통해 유체를 흘려보낸다. 따라서 시점의 깊이는 종점의 깊이 보다 얕거나 동일하다. 만일 종점의 깊이가 같아지면 유체가 내부에 고이게 된다. 그러나 수치 지도 제작 과정에서 시점과 종점이 바뀌는 경우도 빈번하게 발생한다[10].

#### 3.2 네트워크 분석 방법

하수관망의 연결성을 분석하기 위해 하수관 사이의 물리적 연결 관계를 분석하는 알고리즘인 Disconnected Islands Search 방법을 사용하였다. 이 방법은 비영리 단체인 AfriGIS그룹의 Peter Smythe가 QGIS의 공개 플러그인으로 구현하였으며, 도로나 관망도 등의 선형 네트워크 데이터의 물리적인 연결 관계를 추적하여 연결성이 있

는 부분들만을 서브 그룹으로 묶어주는 기능을 제공하며, 이 방법의 수행 결과 생성되는 예제를 그림 1에 표시하였다[11]. 그림 1에서는 세 개의 서브 그룹으로 전체 네트워크가 분리되었다. 첫 번째 서브 그룹은 링크 번호 5, 10으로 구성되고, 두 번째 서브 그룹은 1, 2, 4, 6으로 구성되고, 세 번째 서브 그룹은 7, 8, 9로 구성된다. 이 방법은 하수관로 뿐만 아니라 상수관로, 통신선, 전력선, 송유관, 가스관, 도로망 등 모든 선형 네트워크에 적용할 수 있다.

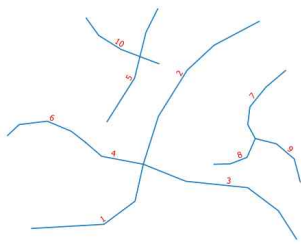


그림 1. 서브 그래프 생성 예제  
Fig. 1. Example of sub-graph creation

#### 4. 연결성 분석 및 오류 탐지

##### 4.1 개발환경

개발환경으로는 Windows 10을 사용하였으며 GIS(Geographic Information System) 데이터 처리와 관리를 효율적으로 수행하기 위해 오픈소스 소프트웨어인 QGIS를 사용하였으며, Python3 개발언어를 사용하여 개발하였다. 개발된 결과는 그림 2에 표시하였다.

그림 2에서 네트워크 분석 컴포넌트는 지하시설물 수치지도를 읽어오는 File Importer 모듈, 읽어 들인 파일로부터 지하시설물 네트워크를 생성하는 Network Creator 모듈, 생성된 지하시설물 네트워크를 기반으로 지하시설물 객체들 사이의 연결성 분석을 수행하는 Network Analyzer

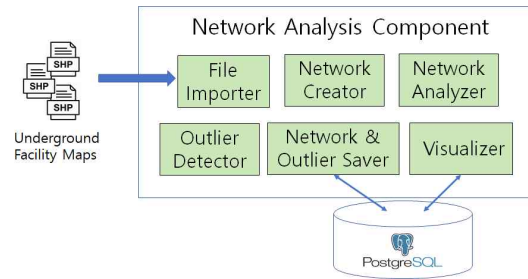


그림 2. 컴포넌트 구조  
Fig. 2. Component architecture

모듈, 수치모델을 기반으로 이상치 데이터를 탐지하는 Outlier Detector 모듈, 생성된 네트워크와 이상치 데이터를 저장하는 Network & Outlier Saver 모듈, 생성된 네트워크와 이상치 데이터를 사용자가 쉽게 이해할 수 있도록 가시화하는 Visualizer 모듈로 구성되어 있다. 개발된 생성된 지하시설물 네트워크 및 탐지된 이상치 데이터와 그 이력을 저장 및 관리하기 위한 DB로 오픈소스인 PostgreSQL과 PostGIS를 사용하였으며, Network Analyzer에서 연결성 분석을 위해 QGIS에서 플러그인으로 제공하는 Disconnected Islands Search 방법을 사용하였다. 개발 결과는 기존 GIS 기능의 재사용성 향상을 위해 오픈소스 GIS 툴인 QGIS 상에서 실행되는 Python 플러그인 모듈로 작동하게 개발되었으며, 별도의 빌드나 실행 과정 없이 QGIS 실행 시에 자동으로 빌드되어 실행 가능한 상태가 되도록 하였다.

##### 4.2 데이터 전처리

시험에 사용한 하수관 레이어는 모든 하수관이 분절되어 있으며 연결성 정보가 존재하지 않는다. 하수관의 시작점과 종점을 각각 시작 노드 및 종점 노드로 간주하여 각각의 노드와 이웃한 하수관과의 거리 계산을 통해 연결성 정보를 생

성한다. 이러한 연결성 정보 계산을 원활히 하고 네트워크 분석이 가능한 형태로 데이터를 만들어 주기 위해 불필요한 데이터를 삭제하거나 필요한 데이터를 추가한다.

먼저, 서로 교차하는 하수관로의 경우 교차지점에서 각 관로의 심도 차이가 설정된 수직 한계보다 작을 경우 교차 지점을 기준으로 교차되는 각 관로를 두 개로 분리하고, 교차지점에 노드를 새로 생성하여 교차점을 만든다(그림 3). 그러나 그림 4처럼 명시적으로 단순 교차로 표시된 경우는 교차점에 노드를 생성하지 않는다.

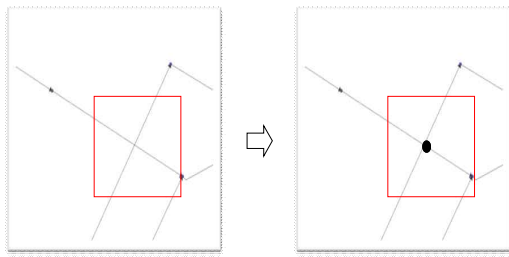


그림 3. 교차점 생성  
Fig. 3. Intersection node creation

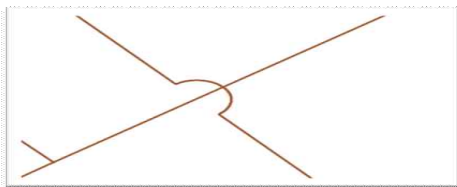


그림 4. 단순 교차  
Fig. 4. Simple intersection

생성된 하수관 네트워크는 그림 5와 같이 지도와 중첩하여 가시화 가능하며, 각 노드는 연결된 링크의 숫자에 따라 서로 다른 색상으로 구분되어 표시한다.



그림 5. 네트워크 생성 결과  
Fig. 5. Results of network creation

### 4.3 수직 및 수평 오차 분석

연결 관계에 대한 정보가 없는 원시 데이터를 사용하여 네트워크를 형성하기 위해서는 각 관로의 연결부위에 수직, 수평 위치가 일치하여야 하며, 위치에 편차가 있으면 정확한 네트워크를 형성할 수 없고, 만들어진 네트워크에 대한 신뢰도가 떨어지는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제 발생 가능성을 미리 검토하고, 수평 및 수직 위치 편차에 대한 적절한 허용 거리를 검토하기 위하여 네트워크 생성 단계 이전에 원시 데이터의 위치 편차를 검토하였다.

실험에 사용한 하수관망의 경우 개별적인 하수관들의 연결부위로 추정되는 지점이 총 10,533건이 확인되었으며, 이중 심도 편차가 존재하는 지점이 모두 5,034건으로 확인되었다. 그림 6과 같이 수직 편차를 확인할 수 있었으며, 확인된 편차의 최대는 6.7m이며, 편차의 평균은 0.66m이다(표 1).

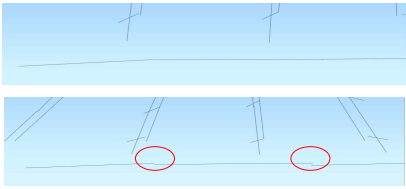


그림 6. 수직 위치 편차 예제  
Fig. 6. Examples of vertical error

또한, 수평 위치 편차 중 가장 흔히 발생하는 오버슈트, 언더슈트 등의 오류는 일반적인 상황에서는 크게 문제 되지 않으나 연결성 분석 과정에서는 실제 연결된 하수관로가 단절된 것으로 분석되는 오류를 일으킬 수 있으므로 이러한 문제 발생을 방지하기 위해 수평 위치 편차를 확인하였으며, 결과는 표 2에 표시하였다.

표 1. 연결부위 심도편차 현황  
Table 1. Vertical position deviation statistics

연결부위 전체	10,533 건
심도편차 존재	5,034 건
심도편차 최소	0.1 m
심도편차 최대	6.7 m
심도편차 평균	0.66 m
심도편차 MEDIAN	0.4 m

표 2. 연결부위 수평 위치 오차 현황  
Table 2. Horizontal position deviation statistics

0.3m 이내 편차	0.0~0.1m	87건
	0.1~0.2m	138건
	0.2~0.3m	181건
	소계	406건
오차 원인	언더슈트	55건
	오버슈트	41건
실제 이격		73건

따라서 네트워크 분석 과정에서 발생할 수 있는 네트워크 위상 오류를 최소화하기 위해서는 수직 오차 및 수평 오차에 대한 허용 범위 설정

이 매우 중요하다. 그러나 이 허용 범위는 해당하는 데이터에만 유효한 한계가 있다.

#### 4.4 네트워크 연결성 분석 결과

현재의 하수관망도에 disconnected islands 알고리즘을 적용하여 하수관로 사이의 물리적인 연결 관계에 따라 하수관 링크들을 그룹화하는 분석을 수행하였으며, 네트워크 분석 단계에서 특정 개수 이하의 링크만을 가지는 그룹을 이상치로 자동 분류할 수 있도록 하였다. 연결부위의 위치 편차가 네트워크 생성에 미치는 영향을 확인하기 위하여 허용오차를 각각 0cm, 30cm, 60cm, 무한대로 설정한 결과를 표 3과 표 4에 표시하였다. 허용편차가 클수록 연결로 판단되어 하나로 병합되는 경우가 많아지므로 허용편차가 커질수록 전체 노드의 수와 연결 링크가 1개인 노드의 수는 적어진다.

표 3. 네트워크 생성 결과 비교 (수평오차 0cm)  
Table 3. Comparison of network creation results (horizontal error 0cm)

수평 허용 편차 0cm	노드당 연결 링크 수							합계
	1개	2개	3개	4개	5개	6개~		
수직 0 cm	13,171	616	251	11	0	0	14,049	
허용 30 cm	7,441	993	1,052	156	5	0	9,642	
편차 60 cm	5,838	1,072	1,390	234	10	0	8,534	
무한대	3,119	1,351	1,957	444	14	1	6,886	

표 4. 네트워크 생성 결과 비교(수평오차 30cm)  
Table 4. Comparison of network creation results (horizontal error 30cm)

수평허용 편차 30cm	노드당 연결 링크 수							합계
	1개	2개	3개	4개	5개	6개~		
수직 0 cm	12,970	682	262	20	4	2	13,940	
허용 30 cm	7,139	1,052	1,074	207	12	7	9,491	
편차 60 cm	5,547	1,103	1,395	300	18	14	8,377	
무한대	2,842	1,355	1,945	526	28	23	6,719	

네트워크 생성 시와 유사하게 네트워크 분석도 각 연결지점에서 링크 간 연결 관계 판별을 기반으로 하고 있으며, 따라서 각 연결지점의 수직 및 수평 위치 편차는 분석 결과에 매우 큰 영향을 미치게 된다. 허용편차를 달리하여 수행한 분석 결과는 표 5와 같다. 표 5의 결과는 링크 5개 이하인 링크 중 수평 위치와 수직 위치 허용편차에 따른 이상치 탐지 결과이다. 표 5에서 보이는 바와 같이 허용편차를 크게 줄수록 단절된 그룹이 줄어들어 전체 그룹 숫자가 작아지며, 이상치 숫자 역시 작아지는 경향을 보이게 된다. 단, 허용편차를 지나치게 크게 설정할 경우 실제 물리적으로 분리되어있는 지점을 연결된 부위로 간주하게 될 수 있으므로 허용편차는 매우 주의 깊게 설정하여야 한다.

표 5. 서브그룹, 이상치 검출 결과  
Table 5. Results of subgroup and outlier detection

링크수 (개)	수평위치 허용편차(cm)	수직위치 허용편차(cm)	그룹 (개)	이상치 (개)
10,213	0	0	4,492	4,396
		50	2,868	2,620
		100	2,091	1,817
		무한대	373	299
	50	0	4,438	4,335
		50	2,799	2,551
	100	2,019	1,747	
	무한대		332	269

네트워크 분석을 수행하고 나면 그림 7과 같이 각 그룹 별로 다른 색상을 이용하여 서로 구분이 가능하도록 표시되며, 서로 다른 색상의 관망은 서로 연결 관계가 없음을 의미한다. 분석 결과를 현실 세계에 적용하면 각 그룹별로 서로 다른 하수처리장으로 연결되어 있거나, 또는 서로 단절되어 있으므로 하수의 흐름이 특정 구간에서 멈춘 것으로 해석할 수 있다. 따라서 단절이 발생한 구간에 대한 면밀한 현장 점검이 필요하다.



그림 7. 서브 그룹 탐지 결과  
Fig. 7. Results of subgroup detection

본 연구를 통하여 단순 2D 도면 형태의 하수 관망도로부터 연결성 분석이 가능한 형태의 네트워크를 구성하는 기능과 네트워크 분석을 통해 이상치를 탐지할 수 있는 기능을 개발하였다. 하수관망도에 포함된 심도 정보의 낮은 신뢰도를 감안하여 수직 위치의 편차는 무시하고, 수평 위치의 편차는 도면 제작 시의 오류를 감안하여 50cm 수준으로 설정하여 이상치를 탐지할 경우 전체 10213개의 하수관 링크를 총 332개의 서브 그룹으로 분류할 수 있으며, 332개 서브그룹 중 링크가 2개 이하인 그룹을 이상치로 설정할 경우 그림 8과 같이 총 217개의 이상치가 확인된다. 추출된 이상치들은 메인 하수관로와는 동떨어져 설치된 짧은 관거 등 다양한 경우들을 포함하고

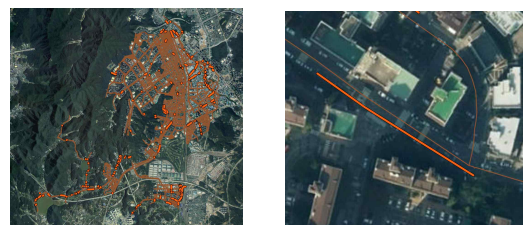


그림 8. 이상치 탐지 결과  
Fig. 8. Results of outlier detection

있다. 이상치들은 하수의 흐름이 멈춘 관로들로 간주할 수 있으므로, 더 이상 사용하지 않는 폐관로이거나 다른 관로와의 연결관이 누락된 경우가 대부분인 것으로 생각된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 지하시설물 공간정보 중 자료의 신뢰성 확보가 시급한 하수관 데이터로 구성된 하수관망을 분석하여 수평 및 수직 위치 오류를 확인하고자 하였다. 이를 위하여 단순 2D 도면 형태의 하수관망도를 분석이 가능한 형태의 네트워크망으로 구성할 수 있는 기능과 네트워크 분석을 통해 이상치를 탐지하고 관리할 수 있는 기능을 QGIS의 플러그인 형태로 개발하였다.

분석결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 현재 하수관망도의 경우 전산화는 되어 있으나 기존의 종이도면을 단순히 수치지도화한 수준으로 구조화 작업이 거의 되어 있지 않은 것으로 관망의 구조화 작업을 통한 연결 관계 정보를 구축하고 고정밀 DEM과 연계하여 관망 전체를 3차원화 하는 등 다양한 전처리 작업을 거쳐야만 좀 더 복잡한 수준의 분석이 가능할 것으로 생각된다.

둘째, 분석결과 허용편차를 50cm로 하였을 때에도 217개의 오차가 있는 것으로 나타났다. 이러한 오차에는 실제로 없는 관로가 오류 입력된 경우이거나 과거 사용되었지만 현재는 사용되지 않는 폐관로일 수 있다.

셋째, 분석결과 허용편차를 작게하면 가능한 오차의 개수가 늘어나게 되는데 이렇게 늘어난 관로의 연결오류에 대해서는 진위의 판단이 매우 중요할 수 있다. 지하시설물 탐사가 잘못되어 발생한 오류는 공간정보의 수정이 필요하다. 반면 실제 하수관이 수평 또는 수직으로 오류가 있다

면 이렇게 끊어진 관로에서는 누수의 발생으로 지반침하와 같은 2차 피해가 발생할 수도 있다. 따라서 이러한 오류에 대해서는 신속한 현장 측량을 통해 연결성 오류에 대한 진위를 판단하여야 한다.

본 연구에서는 활용할 수 있는 정보의 제한으로 인해서 하수관망의 단순한 연결 관계만을 분석하고 이를 기반으로 이상치 탐지를 수행하였으나, 실세계에서는 하수관의 설치 또는 설계 오류로 인한 우천 시 하수의 역류 등과 같은 문제가 종종 발생하고 있고, 이러한 문제는 단순한 연결 관계 분석만으로 찾아내기에는 한계가 있다. 따라서 향후 정밀 DEM 등과 결합하여 하수관망을 실세계 깊이 값 기준으로 3차원화 하고, 정확한 깊이 값과 연결 관계가 만들어진 네트워크를 기반으로 다양한 흐름 분석을 수행할 필요가 있다. 이러한 고도화된 네트워크망을 기반으로 지하시설물을 관리할 경우 강우량에 따른 역류 가능성 분석 등 실생활과 밀접한 유용한 기능을 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음 (과제번호 22DCRU - C158151-03).

## 참고 문헌

- [1] Yong Wook Lee, Min Heo, Jae One Lee, Kyoung Ho Bae, "A Study on Status and Accuracy of Underground Facilities Maps", Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrametry and Cartography, Vol. 25, No. 3, pp.223-230, Jun. 2007. <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02199136>
- [2] Yoon-Shin Bae, Kyoon-Tai Kim, Sang-Yum Lee, "The Road Subsidence



- Status and Safety Improvement Plans”, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 18, No. 1, pp.545-552, Jan. 2017.  
<https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.1.545>
- [3] Hochul Shin, Ki-In Na, Jiho Chang, Taeyoung Uhm, “Multimodal layer surveillance map based on anomaly detection using multi-agents for smart city security”, ETRI Journal, Vol. 44, No. 2, pp.183-193, 2022.  
 DOI: 10.4218/etrij. 2021-0395
- [4] Jinyoung Kim, Changho Choi, “A Study on risk Evaluation Method of Ground Subsidence around Swere”, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 19, No. 7, pp.13-18, Jul. 2022.  
<https://doi.org/10.14481/jkges.2018.19.7.13>
- [5] Kwangsoo Kim, Heyung-Sub Lee, Juwan Kim, “A Study on Updated Object Detection and Extraction of Underground Information”, Journal of Korea Software Assessment and Valuation Society, Vol. 16, No. 2, pp.99-107, Dec. 2020.  
<http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2020.12.11>
- [6] Sang-Keun Bae, Sang-Min Kim, Eun-Jin Yoo, “Research on Improving Quality Management for Underground Space Integration Map: Focusing on pipe-type underground facilities”, Journal of Cadastre & Land InformatiX, Vol. 50, No. 2, pp.221-235, Dec. 2020.  
 DOI : 10.22640/lxsiri.2020.50.2. 221
- [7] Min Kyung Kim, Kwangsoo Kim, “A Method of Detecting Dangling Links using Connectivity among GIS Objects”, Proceedings of the Fall Conference of The Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol.73, pp. 396-397, Nov. 2020. ISSN: 2383-8302(Online)
- [8] Kyung-Ho Bae, Min Heo, Yong-Wook Lee, Sang-Keun Bae, “A Study on the Analysis of Error Type in Underground Facility Maps”, Proceedings of the Conference of Korean Society of Civil Engineers, pp. 2849-2852, 2007.  
<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01261176>
- [9] Joon Mook Kang, Min Gyu Kim, Sun Yming Ko, Joon Kyu Park, “Assessment of Error Type for Improving Accuracy of Underground Facilities Map”, Proceedings of the Fall Conference of the Korean Society for Geospatial Information Science, pp. 207-208, 2011. <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02091728>
- [10] Kwangsoo Kim, Bong Wan Kim, In-Sung Jang, “A Study on the Quality Improvement of Sewer Pipeline Maps”, Proceedings of the 31<sup>st</sup> Joint Conference on Communications and Information, pp. 502-503, 2021. <https://ettrends.etri.re.kr/ksp/article/read.htm?id=63649>
- [11] Peter Smythe, Disconnected Islands, <https://plugins.qgis.org/plugins/disconnected-islands/>, QGIS Python Plugins Repository (last visit 2021.06.04.)

저 자 소 개



김광수(Kwangsoo Kim)

1993.2 고려대학교 정보공학과 졸업  
1995.2 고려대학교 전산학과 석사  
2016.8 충남대학교 컴퓨터공학과 박사  
1994.12-현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원  
<주관심분야> 공간정보, 디지털 트윈, 사물인터넷



김주완(Juwan Kim)

1993.2 부산대학교 컴퓨터공학과 학사  
1995.2 부산대학교 컴퓨터공학사 석사  
2004.2 충남대학교 컴퓨터과학과 박사  
1995.1-현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원  
<주관심분야> 공간정보, 영상처리



장인성(In-Sung Jang)

1999.2 부산대 전산학과 졸업  
2001.2 부산대 전산학과 석사  
2008.8 부산대 컴퓨터공학과 박사수료  
2001.3~ 현재 : 한국전자통신연구원 도시·공간ICT연구실장  
<주관심분야> 공간정보, 디지털 트윈, 스마트 도시, MODB