

SAM과 YOLO를 이용한 상하수도 시설물 구멍의 막힘 판별 정책 제안

권형준¹, 강송현², 김지우³, 장성식⁴

경북대학교 전자공학부¹, 한문학과², 경제통상학부³, 식품외식산업학과⁴

hj4517@knu.ac.kr, songlook@knu.ac.kr, rlawldn1126@knu.ac.kr, skfkdrp6474@knu.ac.kr

A Policy Framework for Automated Drain clogged Detection

Hyeongjun Kwon, Songhyun Kang, Jiwoo Kim, Seongsik Jang

Kyungpook National Univ

요약

본 논문은 도시의 상하수도 시설물 관리는 인력 청소에 치중되어 있어 국가 예산의 효율성 및 국지성 호우 시, 침수피해에 대응에 한계의 문제점을 파악하고 해결하기 위해 기존의 CCTV 인프라 및 SAM을 이용한 Semantic Segmentation 및 object detection 영상 분석 기술을 활용해 상하수도 시설물 구멍의 막힘 정도를 실시간으로 판별 할 수 있는 정책을 경제적 타당성 측면 및 현재 CCTV의 기술적 구현 가능성을 중심으로 분석하여 실제 정책에 이용할 수 있는 방안을 모색한다.

I. 서 론

서울시 물재생 계획에 따르면 상하수도 배수불량 예방을 위해 서울시 주요 간선도로, 이면도로 및 골목길에 설치된 557,337개의 상하수도를 연 2회 이상 청소를 시행하고 있는 것으로 나타났다[1]. 특히 중점 관리 구역은 우기 전(6월 말)에 청소를 완료하고 장마철 이후 낙엽 청소를 하고 있는 것으로 파악되었다. 상하수도 청소에 투입되는 관계자는 환경미화원 1488명, 보도상 영업시설물 운영자 1069명, 통반장 14176명, 지역자율방재단 1919명 등 총 22,709명의 인력이 투입되는 것으로 드러났다.

이러한 서울시의 노력에도 불구하고 지난해 월평균 978건이던 상하수도 등 배수시설 관련 민원은 올해 1479건으로 53% 증가한 것으로 파악되었다.

민원 내용은 대부분 배수가 원활하지 않거나 침수 우려가 있어 정비를 요청하는 민원이었으며 상하수도, 배수구 등에 담배꽁초나 음식물 등을 무단 투기하는 등의 행위에 대해 지자체가 강력하게 단속해야 한다는 내용 또한 접수되었다.

이를 통해 상하수도 관리에 막대한 인력과 예산이 쓰임에도 불구하고 확실한 상하수도 청소나 배수구 막힘이 해결되지 않는다는 것을 알 수 있다. 또한 상하수도 청소를 장마 전과 장마철 이후 대략 2회 정도만 관리하여도 막대한 예산과 인력이 들기 때문에 우발적인 홍수 예보가 있더라도 모든 상하수도를 하나하나 점검하지 못하는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 홍수 피해 집중 구역에 있는 상하수도에 모니터링 가능한 장치를 설치하여 실시간 데이터를 전송받고 상하수도 청소가 즉시 가능하다면 갑작스러운 홍수주의보에도 수 만개의 상하수도를 한 번에 관찰하여 담배꽁초나 쓰레기가 가득 차 있는 상하수도만 골라 효율적으로 청소가 가능한 방법을 제시한다.

II. 본론

1. Semantic Segmentation을 이용한 구멍의 막힘 정도 판별

1) SAM을 이용한 구멍 필터링

실제 상하수도 시설물 사진 데이터를 이용해 입력 사진을 RGB 형식으로 변환 후, 한 변의 길이를 1024로 크기 조절 했다.

이후, SAM을 활용해 이미지 내 모든 다양한 물체로 분할 했고 구멍을 필터링 하기 위해 면적 및 종류, 종횡비를 기준으로 필터링 했다.



그림 1 상하수도 시설물 구멍 필터링

2) 구멍의 막힘 정도 판별

필터링 한 구멍의 전체 구멍 평균을 구해 상대적으로 작은 구멍을 판별해 작은 구멍은 막힘 기준이 높다고 판별해 수치화 하고 이미지 데이터를 보면 구멍별 막힘의 정도를 직관적으로 판별이 가능하다.

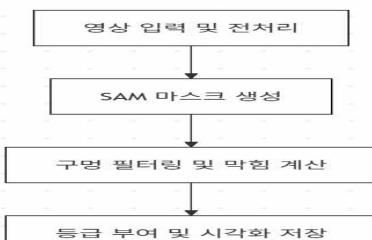


그림 2 전체 시스템 구조도

3) 구멍의 막힘의 원인 탐지

1차적으로 구멍의 막힘 정도를 판별하고 이후, 막히는 원인을 판별하기 위해 상하수도 시설의 구멍 막힘 원인인 담배꽁초를 탐지하기 위해 객체 탐지 모델인 YOLO를 사용했다.

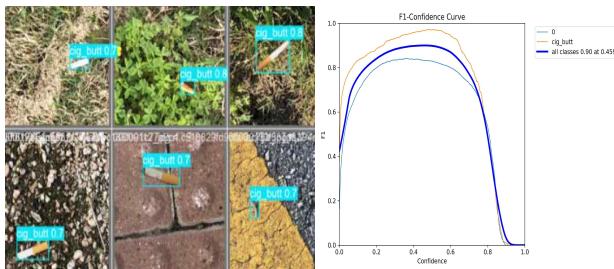


그림 3 담배꽁초 학습 이미지 그림 4

roboflow의 담배꽁초 오픈 데이터셋을 이용하여 만장의 데이터셋을 yolov11s로 학습을 진행한 결과 map는 90%로 담배꽁초를 높은 신뢰도로 탐지할 수 있음을 확인했다.

이를 통해, 구멍의 막힘 정도가 높다면 그 원인이 담배꽁초인지 판별 할 수 있다.

2. 정책의 경제적 타당성 분석

1) 기존 상하수도 청소의 비용구조

서울시 상하수도 557,337개에 대한 청소비용은 2023년 224억원으로 중점관리지역 15만개소와 일반지역 1,151,456개소의 청소를 추진하였고, 985,339개소 실시를 목표 하였다. 연간 하수구 1개소 당 약 3.8회의 청소가 진행된다고 볼 수 있다[3].

그러나 현행 방식은 청소 시점과 장소가 비효율적으로 결정되는 경우가 많다. 따라서 비용 대비 효과성이 떨어지는 한계가 존재한다.

2) 기존 설치된 CCTV 활용시 비용구조

서울시에 설치된 CCTV는 177,00대로 CCTV 한 대당 모니터링이 가능한 상하수도의 개수는 약 3개로 이미 구축된 CCTV를 활용해 상하수도 시설물 구멍의 막힘 정도 상태를 간접적으로 모니터링 방안은 기존 상하수도 청소 224억보다 낮다고 판단된다[4].

CCTV 영상 분석을 위한 서버 및 기존 CCTV와 연동 가능한 소프트웨어 구축비 15억 및 모니터링 인력과 막힘 정도가 높을 때 효율적으로 청소를 한다면 청소인력 30% 이상이 절감이 된다고 추산이 된다. 인건비 추정은 80억으로 추산이 되어 현재 청소 224억에서 100억정도 절감효과가 발생할 것으로 예상된다.

표 1 CCTV기반 상하수도 AI 도입시 편익

구분	기존 청소 비용	CCTV기반 AI 도입
총비용	224억	서버: 15억 청소인건비: 80억 시스템 구축: 30억 약 100억
순편익	-	

기존 CCTV를 이용해 모니터링이 가능한 상하수도에 대해 효율적으로 관리하는 것이며, 이는 정책적으로 경제적 타당성을 지닌다.

3. 기술적 구현 가능성 분석

1) CCTV 통한 상하수도 관측 타당성 분석

상하수도의 설치 간격은 침수 방지 사업 계획에 따라 10m에서 20m 내외의 좁은 간격으로 상하수도를 설치한다[5].

CCTV는 5m에서 10m 사이의 높이에 설치되고 지면을 향해 15°에서 30° 정도 아래로 내려다보는 각도로 설치된다.

삼각법에 따라 계산했을 때, CCTV가 지면을 비추는 이론적 거리는 설치높이 $\tan(\text{아래로 내려다보는 각도})$ 로 계산이 된다. 따라서 5m 15° 일 때, 8.7m, 10m 15°일 때, 37.3m 지면 관측거리가 측정된다[6].

표 2 CCTV 시야각 관측 거리

설치높이	속임 각도	계산식	지면 관측 거리
5m	15°	5m / tan(15°)	18.7 m
5m	30°	5m / tan(30°)	8.7 m
10m	15°	10m / tan(15°)	37.3 m
10m	30°	10m / tan(30°)	17.3 m

공공 CCTV는 200만 화소(Full HD, 1920x1080) 이상의 고해상도 카메라를 사용한다. 이 정도의 해상도는 특정 객체(사람, 차량 번호판 등)를 명확하게 식별하기 위한 수준이며, 약 30~50cm 크기의 상하수도 형태나 이물질에 의한 막힘 여부를 판단하기에 충분한 화질을 제공한다[7]. 또한, 카메라가 확보하는 수평 화각은 약 90°에서 110° 수준으로, 넓은 범위를 객체 여러개를 한 번에 효율적으로 모니터링하는 데 적합하다.

2) CCTV 통한 상하수도 관측 타당성 분석

상하수도 설치 기준 및 CCTV의 설치 기준을 고려했을 때, 기술적 관측 타당성 분석을 진행해봤을 때, 5m의 높이에 설치된 CCTV가 15°의 속임각도로 도로변을 비출 경우, 차도와 인도의 사이에 있는 상하수도는 CCTV의 영역내에 감시될 가능성이 매우 높다.

또한, 200만 화소의 해상도는 먼 거리에서도 상하수도의 구멍의 막힘 정도를 충분히 판별할 수준이다.

그러나, CCTV 아래 영역에 표지판, 불법 주정차 차량 등에 의해 상하수도가 가려지는 물리적인 사각지대는 발생할 수 있다.

또한, 야간이나 폭우 등 악천후 상황에서는 적외선 기능 유무와 빛출기의 강도에 따라 식별 성능이 저하될 수 있는 가능성이 있다.

현재 공공 CCTV는 상하수도 사이의 거리인 20m를 감시할 수 있으며 상하수도의 막힘 정도를 효과적으로 판별 할 수 있는 충분한 가능성을 지니고 있다고 판단할 수 있다.

III. 결론

실시간 이미지 분석을 통한 상하수도 시설물 구멍의 막힘 판별 정책 제안은 현재 청소원들의 비효율적인 상하수도 시설물 관리 시스템의 한계를 극복하고 AI 영상처리를 이용한 스마트 재난 및 도시 관리 시스템을 구축하는 핵심 기술이다.

본 정책 제안은 경제적 타당성, 기술적 구현 가능성을 갖추고 있으며, 도입시 홍수, 침수 피해를 미연에 예방하고 관리 할 수 있으며, 즉각적인 대처가 가능하여 시민들의 안전에 크게 기여할 것이다. 상하수도 시설물뿐만 아니라 IT 기술을 융합하여 효율적인 도시 관리시스템을 만들기 위한 정책이 될 것 이다.

참 고 문 헌

- [1] 서울특별시 물순환안전국 물재생계획과, “상하수도 집중관리를 통한 원활한 노면수 처리,” 서울특별시, 2023-07-13.
- [2] Roboflow, “Cigarette Butt Detector Dataset (Deyan Markov)”, Roboflow Universe, 2024.
- [3] 서울연구원[보도자료], “서울 시내 상하수도 현황 및 청소비용 분석[보고서 요약]”, Available: Newsis[보도자료]
- [4] 서울특별시(디지털도시국 정보통신과), “서울시 자치구(연도별) CCTV 설치현황(25.6.30 기준) 데이터,” 서울 열린데이터광장, 데이터
- [5] 환경부, “하수도설계기준”, 환경부(하수도설계기준 PDF), 2023
- [6] DeepSentinel 설치 가이드, “Tilt the camera down (15 - 25 degrees) for best performance”, DeepSentinel Support, (웹), 2025
- [7] 서울연구원, “지능형 CCTV 적용 및 설치방안[요약]”, 서울연구원 보고서, 2024