

상수관망 수질사고 시나리오 분석을 위한 불확실성 기반 평균체류시간 도출 절차 개발

문기훈*, 최호연*, 유진경*, 유도근*

*수원대학교 토목공학과

e-mail: godurum3@naver.com

e-mail: ghds9876@gmail.com

e-mail: yjin0203@gmail.com

e-mail: dgyoo411@suwon.ac.kr

Development of Uncertainty-based Average Residence Time Determination Procedure for Water Quality Accident Scenario Analysis in Water Supply Networks

GiHoon Moon*, HoYeon Choi*, JinGyeong You*, Do Guen Yoo*

*Dept. of Civil Engineering, The University of Suwon

요 약

2019년 발생한 인천광역시 붉은 수돗물 사태로 상수관망 물공급과정에 포함된 26만 1천 세대, 63만 5천 명이 직간접적인 피해를 입은 바 있다. 상수관망 네트워크의 복잡성과 대규모의 공간적 범위에 따라, 관망 내 수질사고 발생을 사전에 원천적으로 방지하는데에는 한계가 있다. 따라서, 물공급 과정에서 수질사고 발생 시 그 피해를 최소화 할 수 있는 전략 연구는 반드시 필요하다. 본 연구에서는 궁극적으로 발생 가능한 관망 내 수질사고의 확산양상을 정량적으로 분석하기 위하여 네트워크 분석기법을 활용한 불확실성 기반 평균체류시간 도출 절차를 제시하였다. 즉, 수용가의 사용량 변화 등의 수요량 불확실성을 다수조합의 수리해석을 통해 수행하고, 모든 상황의 관로 유량과 유속 정보를 획득해 대표유량과 평균유속을 산출한다. 이후 사고발생시점부터 구역내 모든 절점까지의 체류시간을 산출하고, 수질문제의 인지를 위한 최단경로기반의 평균체류시간을 도출하여 제시한다. 제안된 방법을 국내 A시의 중블럭내 사고시나리오 기반으로 적용하여 분석결과를 제시하였다. 제안된 도출 절차는 설정된 수질사고 시나리오 별 수질사고 확산시간에 대한 유의성을 확보하고 신뢰성을 높이는 데 기여가능하다.

1. 서론

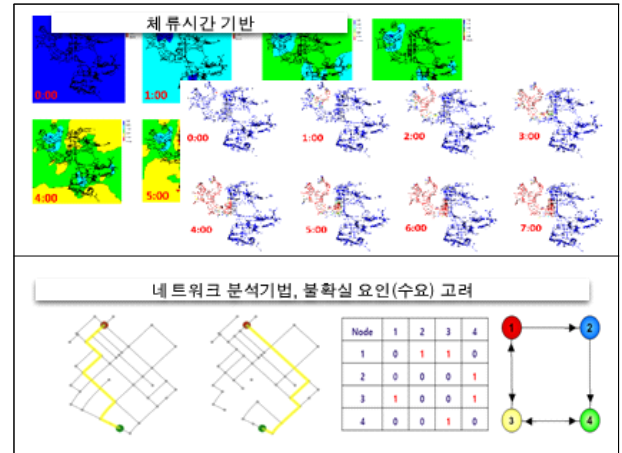
우리나라 상수도 보급률은 평균 99.2% [1]로 국민 대부분이 상수도를 통해 수돗물을 공급받고 있으나, 직접음용률은 16.3%로 네덜란드(87%), 호주(54%), 일본(46%) 등 OECD 국가 중 가장 낮은 수준이다. 2019년 발생한 인천광역시 붉은 수돗물 사태로 관할 급수구역에 포함된 26만 1천 세대, 63만 5천 명이 직간접적인 피해가 발생하였다. 이를 경제적 피해액으로 추정한다면 최소 1,280억 원 이상 (상·하수도 요금 면제, 피해 학교 대체급식 비용, 주민 손해배상 소송지급액)으로 알려져 있다.

상수관망은 수질기준에 적합한 정수처리된 물을 수용가에 필요한 적절한 유량을 충분하고 안정적인 수압으로 제공하는 사회기반시설물이다. 이와 같은 상수관망은 매우 넓은 공간에 다수의 수용가에게 물공급을 수행하는 관로들이 거미

줄처럼 복잡하게 연결되어 있는 네트워크시스템이다. 상수관망 네트워크의 복잡성과 대규모의 공간적 범위에 따라, 관망 내 수질사고 발생을 사전에 원천적으로 방지하는데에는 한계가 있다. 따라서, 물공급 과정에서 수질사고 발생 시 그 피해를 최소화 할 수 있는 전략연구는 반드시 필요하다. 본 연구에서는 궁극적으로 발생 가능한 관망 내 수질사고의 확산양상을 정량적으로 분석하기 위하여 네트워크 분석기법을 활용한 불확실성 기반 평균체류시간 도출 절차를 제시하였다. 즉, 수용가의 사용량 변화 등의 수요량 불확실성을 다수조합의 수리해석을 통해 수행하고, 모든 상황의 관로 유량과 유속 정보를 획득해 대표유량과 평균유속을 산출한다. 이후 사고발생시점부터 구역내 모든 절점까지의 체류시간을 산출하고, 수질문제의 인지를 위한 최단경로기반의 평균체류시간을 도출하여 제시한다. 제안된 방법을 국내 A시의 중블럭내 사고시나리오 기반으로 적용하여 분석결과를 제시하였다.

2. 연구 방법

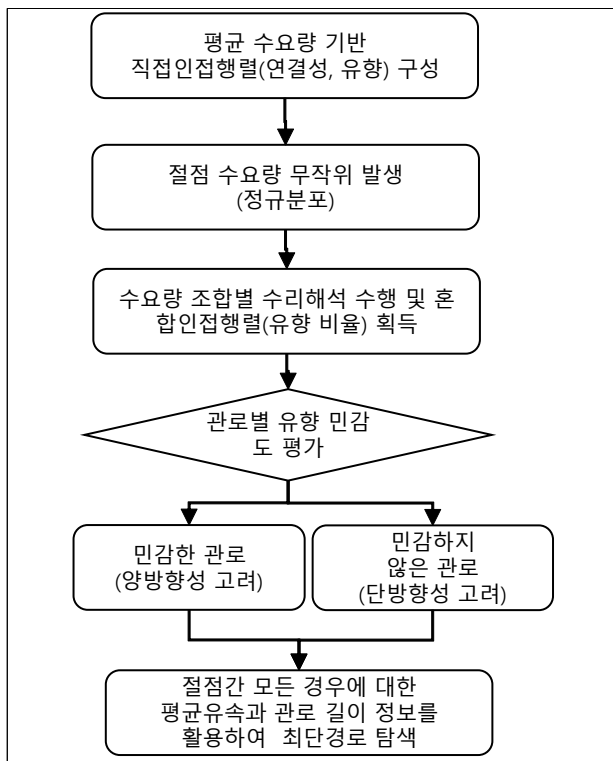
제안된 방법의 수행절차는 [그림 1]과 같다. 우선, 상수관망 내 체류시간의 변동성에 영향을 주는 대표적인 인자인 수용가의 수요량 변동성을 고려한 다수조합의 수요량을 생성하고 각각의 시나리오에 대한 수리해석을 실시한다. 본 연구에서 활용된 수리해석소프트웨어는 EPANET2 [2]이다. 각 시나리오에 대한 수리해석 결과 도출되는 관로의 유향을 획득하고, 전체 시나리오 개수대비 관로 유향의 변화양상 민감도를 분석한다. 한 예로, 총 100번의 수리해석 중 80번 이상 한 방향으로만 유향이 결정되는 관로는 네트워크 시스템에서 단방향으로 고려하고, 나머지 관들은 양방향으로 고려한다. 전체 시뮬레이션 결과의 관로 평균유속과 길이를 활용하여 관로별 평균체류시간을 결정하고, 수질사고가 발생가능한 시점에서부터 임의의 종점까지 최단경로를 기반으로 대상 구간의 평균체류시간을 최종적으로 도출한다.



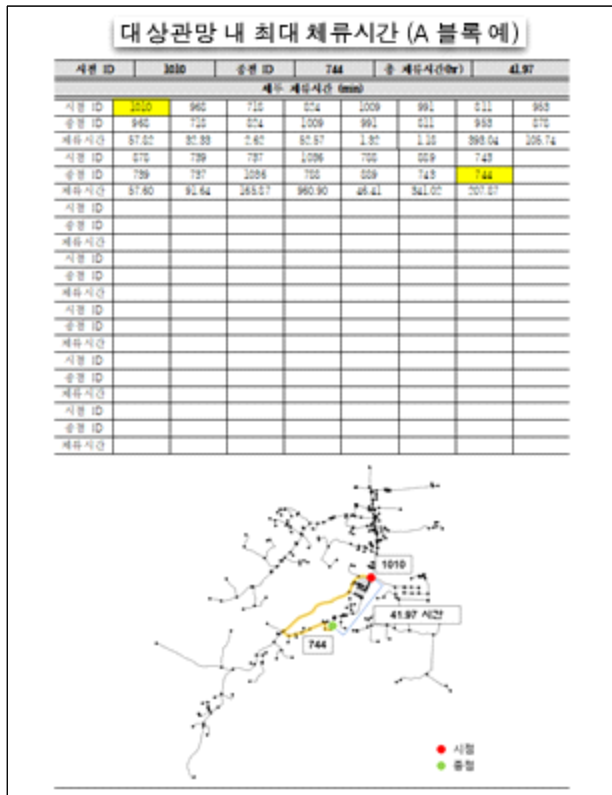
[그림 2] 수리해석을 통한 네트워크 체류시간 도출 및 수요불확실성 고려

3. 적용 및 결과

제안된 시나리오에 따른 수질사고 확산 시간 산정방법론을 국내 A시의 중블록에 적용하였다. 대상관망 내에 속한 모든 절점을 대상으로 수질사고가 발생 가능하다고 가정하고, 모든 절점에 대한 시점과 종점에 대한 수리해석 기반 최단경로 분석 및 체류시간 분석을 실시하였다. 대상지역 내의 최대 체류시간을 산정하고 해당 경로에 속하는 절점의 정보와 체류시간을 그림으로 표시하면 다음과 같다. 이와 같은 도출결과를 모든 발생가능한 사항에 대해 사전 분석하여 정리해둔다면, 물공급과정에서의 수질사고발생시 능동적이고 빠른 대응과 복구가 가능할 것으로 기대된다.



[그림 1] 불확실성 기반 평균체류시간 도출 절차



[그림 1] 국내 A시 중블록 적용 결과 예시

4. 결론

본 연구에서는 관망 내 발생가능한 수질사고 시나리오에 따라, 수질사고 확산 양상을 정량화 하기 위하여 관내 체류시간을 도출하고자 하였다. 관망의 경우 다양한 지점에서 다양한 중점까지의 경로가 존재하므로, 그래프 이론의 네트워크 분석기법 중 하나인 경로분석방법과 수리해석모형인 EPANET2 해석 결과를 기초로 한 도출 절차를 제안하였다. 제안된 도출 절차는 설정된 수질사고 시나리오 별 수질사고 확산시간에 대한 유의성을 확보하고 신뢰성을 높이는 데 기여 가능하다. 제안된 수질사고 확산 모델의 결과는 향후 수질계측기 모니터링 및 감시시스템의 추가 확장 필요성으로 연계 활용될 수 있다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지능형 도시수자원 관리사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (2019002950002)

참고문헌

- [1] 환경부 (2021), 2019 상수도 통계
- [2] Rossman (2000), EPANET2 User's Manual. US-EPA