J. Korea Water Resour. Assoc. Vol. 56, No. 7 (2023), pp. 451-460
doi: 10.3741/JKWRA.2023.56.7.451
pISSN 2799-8746
eISSN 2799-8754

Risk analysis of red water and turbid water based on seasonal water usage

Han, Jin Woo[a] · Lee, Sang Mok[b] · Kwon, Hyuk Jae[c]*

[a]Master's Student, Department of Civil Engineering, Cheongju University, Cheongju, Korea
[b]Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Cheongju University, Cheongju, Korea
[c]Professor, Department of Civil Engineering, Cheongju University, Cheongju, Korea

Paper number: 23-032
Received: 2 July 2023; Revised: 21 July 2023; Accepted: 21 July 2023

Abstract

In this study, the risk of red water and turbid water occurrence was analyzed by classifying it into detachment risk and deposition risk. First, risk factors for red water and turbid water were determined, and hydraulic analysis was conducted considering seasonal water consumption. The applied area was Cheongju City, and the risk analysis was conducted across 13 areas, and the areas with high deposition risk and high detachment risk were selected. The high risk of both detachment and deposition can be judged as an area with a very high probability of causing water quality problems. The areas with the highest deposition risk and detachment risk are the old towns of Nae deok1-dong and Yul1yang-dong, which are the oldest areas in Cheongju City with an age of more than 30 service years of pipe installation. By analyzing the risk of deposition and detachment, it will be possible to strengthen the maintenance function of the water supply network to provide the safe water to citizens and increase their confidence for tap water.

Keywords: Red water, Turbid water, Deposition risk, Detachment risk, Water distribution system

계절별 수도사용량에 따른 적수 및 탁수발생 위험도 분석

한진우[a] · 이상목[b] · 권혁재[c]*

[a]청주대학교 토목공학과 석사과정, [b]청주대학교 토목공학과 박사과정, [c]청주대학교 토목공학과 교수

요 지

본 연구에서는 박리위험도와 퇴적위험도로 분류하여 적수와 탁수발생 위험도를 분석하였다. 먼저, 적수 및 탁수를 발생시키는 위험 인자들을 도출하였고 계절별 수도사용량을 고려하여 수리해석을 진행하였다. 적용 지역은 청주시로 13개 동에 걸쳐서 위험도 분석을 진행하였고 퇴적위험도가 높은 지역과 박리위험도가 높은 지역을 선정할 수 있었다. 박리와 퇴적위험도가 모두 높다는 것은 수질문제를 일으킬 가능성이 매우 높은 지역으로 판단할 수 있다. 퇴적위험도와 박리위험도가 가장 높은 지역은 내덕1동과 율량동 구시가지로 경과년수는 30년 이상으로 청주시에서 가장 오래된 지역이다. 퇴직위험도와 박리위험도 분석을 통해 상수관망의 유지관리 기능을 강화하여 시민들에게 안전한 물 공급을 통해 수돗물에 대한 신뢰도를 높일 수 있을 것이다.

핵심용어: 적수, 탁수, 퇴적위험도, 박리위험도, 상수관망

1. 서 론

물은 사람이 생활하는데 필수적인 요소이며 깨끗한 물을 수요자에게 공급해야 하지만 최근 상수관에서 발생하는 적수와 탁수 등 수질사고로 인해 시민들이 큰 피해를 받고 있다. 대표적인 예로 2019년 서울시 문래동 탁수발생 사고, 2019년 인천 적수발생 사고 등 우리 주변에서 수질사고가 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 수질사고로 인해 수돗물에 대한 신뢰도는 점점 저하되고 있는 실정이다. 우리나라의 상수도 총 길이는 약 230,000 km이며, 이 중 36%인 84,000 km가 21년 이상 된 노후관으로 확인되고 있으며(ME, 2022a) 시간이 경과함

*Corresponding Author. Tel: +82-43-229-8473
E-mail: hjkwon@cju.ac.kr (Kwon, Hyuk Jae)

© 2023 Korea Water Resources Association. All rights reserved.

에 따라 상수관의 노후화는 가속화될 것으로 예상된다. 하지만 노후화된 상수관을 모두 교체하는 것은 경제적으로 불가능하므로 효과적으로 교체할 수 있는 방안이 필요하다. 수질사고에 대한 위험도 평가를 통해 교체 및 개선 우선순위를 결정하는 것이 효과적일 것이다.

Lee and Kim (1997)은 관종과 경과년수가 다른 시편을 통해 pH를 변화시켜 녹물 발생의 영향을 분석하였다. pH가 낮을수록 Fe 농도는 증가해 녹물 발생에 중요한 인자로 판단되었다.

Baek (2010)은 관로에서 수질 문제가 발생하는 이유로 정수처리 과정에서 완전히 제거되지 않은 미세한 탁질이 긴 체류시간과 낮은 유속으로 인해 관 벽에 축적되어 수질을 저하시키고 노후관이나 밸브 등의 부식으로 침천물이 탈리되어 수질사고가 발생한다고 판단하였다.

Kim (2018)은 강관, 아연도강관, 스테인레스강관 시편을 제작하여 다양한 수질조건에서 관종에 따른 부식 차이를 분석하였다. 물이 연속적으로 순환할 수 있는 Loop Test기에 시편을 장착하여 3일에서 7일간 시험을 진행하였다. pH변화에 따른 부식 실험 결과 pH가 산성일수록 무게감소량이 더 많이 발생했으며, 고농도의 철과 망간이 함유할 때 부식이 더 많이 발생하였다. 철보다는 망간의 농도가 높을 때 부식이 더 많이 발생하였다.

Hong *et al*. (2020)은 상수관망에서 유속 기반으로 수질문제가 일어날 수 있는 관을 선정하였다. 첫 번째 유속범위는 관내 퇴적물을 방지하기 위한 상수도 설계기준의 최소 유속인 0.3 m/s 미만인 관을 선정하였고 두 번째 유속범위는 플러싱을 통해 관 내 쌓인 퇴적물이 박리가 되는 유속인 0.9 m/s를 고려하여 0.3 m/s 이상 0.9 m/s 미만인 관중 유향민감도를 통해 기준을 만족한 관을 선정하였다. 선정한 관중 비정상 상황일 때 유속 변화가 2배 이상 증가하면 수질사고가 발생 확률이 높은 관으로 선정하였다.

Gim (2021)은 상수관망에서 수질사고가 일어나는 위험관을 퇴적위험관과 박리위험관으로 구분하여 선정하였다. 퇴적위험관은 정상 운영상황에서 평균유속, 정체시간비율, 매설년도, 관경을 사용하여 선정하였고 박리위험관은 비정상 운영상황에서 유속차이, 유향변화, 영향권등을 적용하여 선정하였다. DEA모형을 적용하여 상위 20%를 위험한 관으로 분류하였다.

본 연구에서는 적수를 발생시키는 박리위험도와 탁수를 발생시키는 퇴적위험도를 분리하여 위험인자를 도출하였다. 이를 실제 상수관망에 적용하여 적수 및 탁수발생 위험도를 분석하고 비교하여 상대적으로 발생 위험도가 높은 지역을 찾아낼 수 있었다.

2. 퇴적 및 박리위험도

2.1 퇴적위험도

2.1.1 유속지수

유속이 빠른 관보다 유속이 느린 관일수록 침전물이 관 속에 퇴적될 확률이 높다. 따라서 상수도 설계기준의 최소 설계유속인 0.3 m/s을 기준으로 이보다 낮을수록 상수관 내에 침전물이 퇴적되는 양이 많아진다고 판단된다. 상수도 설계기준의 최소 설계 유속인 0.3 m/s (ME, 2022b) 이상일 때 침전물이 퇴적되지 않는다고 판단해 유속지수는 0으로 결정한다. 유속지수는 아래 Eq. (1)과 같다.

$$I_v = 1 - \frac{v_1}{v_2} \tag{1}$$

여기서, I_v는 유속지수, v_1은 관의 유속(m/s), v_2는 0.3 m/s이다.

2.1.2 정체지수

관 속에 정체가 오랫동안 지속될수록 침전물이 퇴적되어 탁수발생 위험이 커진다. 유속이 낮은 관은 물 사용량이 적은 시간에 물의 흐름이 느려지면서 정체가 발생하게 된다. 그 중에서 유속이 0 m/s인 정체 지속시간을 계산한다. 정체지수는 아래 Eq. (2)와 같다.

$$I_T = \frac{T_1}{T_2} \tag{2}$$

여기서, I_T는 정체지수, T_1은 정체시간(hr)/24 hr, T_2는 지역 최대 정체시간(hr)/24 hr이다.

2.1.3 경과년지수

매설년수가 오래된 관일수록 노후화가 진행되어 침전물의 퇴적되는 양이 상대적으로 많아져 탁수가 발생하게 된다. 관의 최대 매설 경과년수는 상수도관 교체시기인 30년(MOIS, 2021)으로 하고 매설 경과년수가 30년 이상이면 1로 결정한다. 경과년지수는 아래 Eq. (3)과 같다.

$$I_Y = \frac{Y_1}{Y_2} \tag{3}$$

여기서, I_Y는 경과년지수, Y_1은 매설 경과년수(년), Y_2는 30년이다.

2.1.4 시설물지수

상수관에는 펌프, 압력계, 밸브등 다양한 시설물이 설치되어 있으며, 시설물을 관과 연결하면서 이음부가 생기게 된다. 이음부 사이로 흙과 같은 미세한 입자들에 의해 침전물이 발생하면서 탁수가 발생하게 된다. 따라서 상수관망에 시설물이 많이 설치될수록 이음부가 많아져 탁수발생 위험이 커진다고 판단된다. 시설물지수는 아래 Eq. (4)와 같다.

$$I_F = \frac{F_1}{F_2} \tag{4}$$

여기서, I_F는 시설물지수, F_1은 시설물 개수, F_2는 지역 최대 시설물 개수이다.

2.1.5 유향변화지수

상수관에서 유향의 변화가 발생하게 되면 퇴적된 침전물이 이탈하여 수도이용자에게 전달될 수 있다. 이탈된 침전물이 상수관망에 흐르면 탁수로 인한 피해 범위는 확산될 수 있기 때문에 유향변화 횟수가 많을수록 위험하다고 판단된다. 유향변화지수는 아래 Eq. (5)와 같다.

$$I_C = \frac{C_1}{C_2} \tag{5}$$

여기서, I_C는 유향변화지수, C_1은 유향변화 횟수, C_2는 지역 최대 유향변화 횟수이다.

2.2 박리위험도

2.2.1 유속차이지수

평상시 흐름에서는 퇴적물이 관속에 붙어 있다가 유속이 빨라지면 퇴적물이 박리가 되거나 관속 도장제가 떨어져 나가 부식이 발생하게 된다. 유속차이가 클수록 적수 발생 확률이 높아지며, 최대유속과 최소유속의 차이를 V_1로 결정하고 상수도 설계기준의 최대 설계 유속인 3 m/s (ME, 2022b)를 V_2로 결정한다. 유속차이지수는 아래 Eq. (6)과 같다.

$$I_V = \frac{V_1}{V_2} \tag{6}$$

여기서, I_V는 유속차이지수, V_1은 해당 지역의 최대유속차이 (m/s), V_2는 3 m/s이다.

2.2.2 유향변화지수

상수관에서 유향의 변화가 발생하게 되면 부식물이 이탈하게 되고 이탈부위에 부식이 발생하게 되며, 부식물이 상수관망에 흐르면 적수로 인한 피해 범위는 확산될 수 있기 때문에 유향변화 횟수가 많을수록 위험하다고 판단된다. 유향변화지수는 아래 Eq. (7)과 같다.

$$I_C = \frac{C_1}{C_2} \tag{7}$$

여기서, I_C는 유향변화지수, C_1은 유향변화 횟수, C_2는 지역 최대 유향변화 횟수이다.

2.2.3 관두께지수

시간이 경과함에 따라 관 내부에는 부식이 발생하게 되면 관두께가 점차 감소하고 부식된 면적이 넓어지게 된다. 따라서 부식된 부분이 커질수록 적수가 발생할 확률이 높아지게 되며 관의 부식깊이를 예측하기 위해 Romanoff (1957)의 실험치를 사용한다. 관두께지수는 아래 Eq. (8)과 같다.

$$I_t = 1 - \frac{t_1}{t_2} \tag{8}$$

여기서, I_t는 관두께지수, t_1은 잔존 관 두께(mm), t_2는 초기 관 두께(mm)이다.

2.2.4 수충격지수

비정상 상황이 발생한 경우 급격한 압력의 상승으로 수충격이 발생하여 관내에 퇴적물의 박리가 일어나게 된다. 이때 수충격이 클수록 박리가 더 많이 일어나기 때문에 수충격 해석을 통해 각 관로의 위험도를 분석할 필요가 있다. 수충격지수는 아래 Eq. (9)와 같다.

$$I_P = \frac{P_1}{P_2} \tag{9}$$

여기서, I_P는 수충격지수, P_1은 해당 지역의 수충격압 수두 (m), P_2는 해당 지역 최대 수충격압 수두(m)이다.

2.2.5 pH지수

상수관에 흐르는 물의 pH가 알칼리성보다는 산성에 가까울수록 관의 부식을 촉진 시킨다. 따라서 pH가 0에 가까울수

록 산성이 강해 부식이 촉진되어 적수 발생할 확률이 높아지게 된다. pH가 7일 때 중성 상태이고 pH가 7보다 클수록 알칼리성이 강해 부식은 발생되지 않는다고 판단해 pH지수는 0으로 결정한다. pH지수는 아래 Eq. (10)과 같다.

$$I_p = \frac{p_1}{p_2} \tag{10}$$

여기서, I_p는 pH지수, p_1은 해당 관의 pH 농도, p_2는 pH 7이다.

3. 상수관망 수리해석

3.1 정상상황 수리해석

3.1.1 시간별 사용유량 변화에 따른 수리해석

각 가정별 수도사용량은 시간별로 차이가 발생하는데 시간별 수도사용량을 고려하여 수리해석을 하면 압력과 유량에 많은 차이를 보인다. 먼저 청주시의 2013년부터 2017년까지 월별 수도사용량(CJWH, 2018)으로 2030년의 수도사용량을 추정하였다. 그 결과 수도사용량은 매년 증가할 것으로 판단되고 2030년 청주시의 수도사용량은 164,052,210 m^3으로 추정됐다. 아래 Table 1은 2030년 월별 수도사용량 표이다.

Table 1. Monthly water use in 2030

Month	Water usage (m^3)	Month	Water usage (m^3)
1	12,682,634	7	14,502,219
2	12,580,573	8	14,098,622
3	13,362,833	9	14,184,898
4	13,470,356	10	13,074,520
5	14,232,543	11	13,879,708
6	13,825,774	12	14,157,529

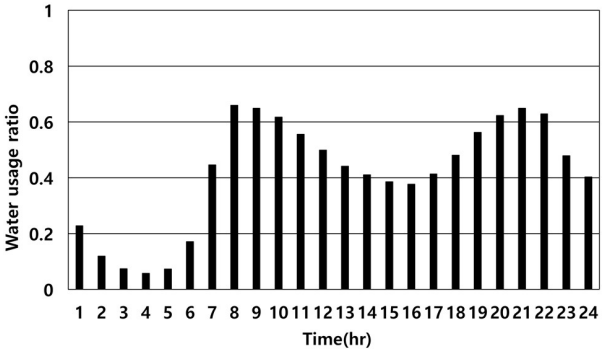


Fig. 1. Daily water usage ratio (Song *et al.*, 2015)

시간별 수도사용량을 결정하기 위해 Song *et al.* (2015)이 추정한 물 소비 패턴을 사용한다. 아래 Fig. 1과 같이 시간별 수도사용량을 산정하여, 상수관망의 수리해석을 진행한다. 시간별 수도사용량 비는 아래 Eq. (11)과 같다.

$$I_{k_i} = \frac{Q_{k_i}}{Q_T} \tag{11}$$

여기서, I_k는 시간당 수도사용량 비, Q_k는 시간당 수도사용량, Q_T는 수도사용량의 총합, i는 1~24이다.

3.2 비정상상황 수리해석

3.2.1 화재 발생

화재가 발생하면 해당 소화전을 급하게 개방하여 빠른시간 안에 많은 유량이 배출된다. 수도사용량이 급격히 커지면서 관망 속에 흐르는 물의 방향은 물 사용량이 많아진 절점으로 흐름이 바뀔 수 있으며, 유량과 압력에도 변화가 발생하게 된다. 수도사용량이 많은 절점의 50배, 100배 증가시켜 화재 발생 상황에 대한 수리해석 Fig. 2(a)를 진행한다.

3.2.2 관 파손

상수관망에서 관이 파손되면 해당 관에 급격히 많은 양의 누수가 발생하면서 압력은 급격히 떨어지게 된다. 유량이 많이 흐르는 관이 파손되었다고 가정한 부분의 절점에 만들어 관 파손에 의해 누수가 발생한 상황을 가정하여 진행하고 Fig. 2(b)와 같은 결과를 얻었다.

3.2.3 밸브의 개폐

소화전 등 급격한 밸브의 개폐로 인해 관에 유속변화가 발생하면서 압력에도 변화가 발생하게 된다. 이때 짧은 시간 동안 압력의 급상승과 급하강으로 인해 수충격이 발생하게 된다. 유량이 많이 흐르는 파이프에 밸브를 설치하여 Fig. 2(c)와 같은 결과를 얻었다.

3.3 실제 상수관망에 적용

본 연구에서는 아래 Fig. 3의 청주시 상수관망중 13개 지역에 대해 퇴적위험도와 박리위험도 분석을 진행하였다. 각 위험도를 분석하기 위해 월별 수도사용량의 차이가 가장 큰 2월과 7월을 적용하고 시간별 수도사용량 중에서 가장 적게 사용하는 새벽 4시와 가장 많이 사용하는 오전 8시를 적용하여 분석하였다. 화재발생, 관 파손, 급격한 밸브 개폐를 적용하여 비정상 상황 발생을 고려하여 수충격 해석을 진행하였으며

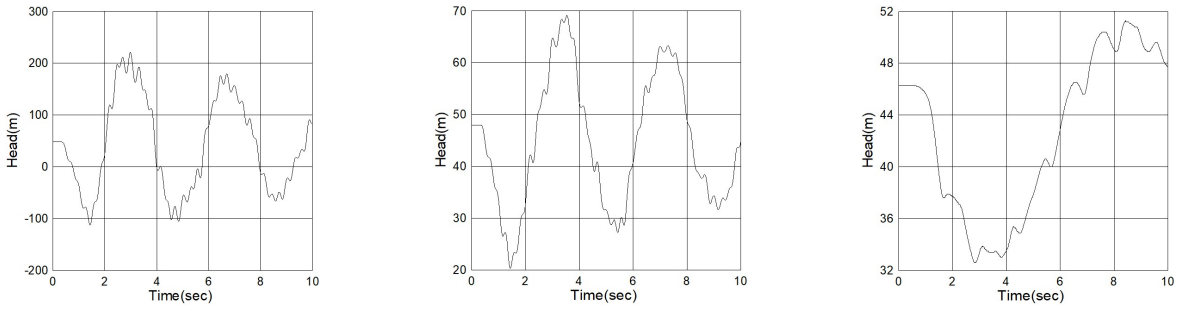


Fig. 2. Example of pressure surge

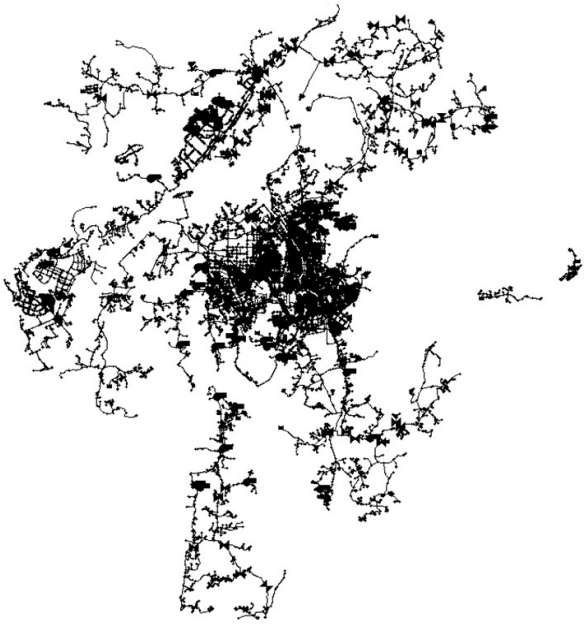


Fig. 3. Map of Cheongju water distribution system

Table 2. Scenario of hydraulic analysis

No.	Normal situation		Abnormal situation
	Month	Time	
1	February	4	Fire
			Pipe breakage
			Valve opening
2	July	8	Fire
			Pipe breakage
			Valve opening
3	February	4	Fire
			Pipe breakage
			Valve opening
4	July	8	Fire
			Pipe breakage
			Valve opening

아래 Table 2는 퇴적위험도와 박리위험도를 분석하기 위해 적용한 수리해석 시나리오이다.

4. 분석 결과

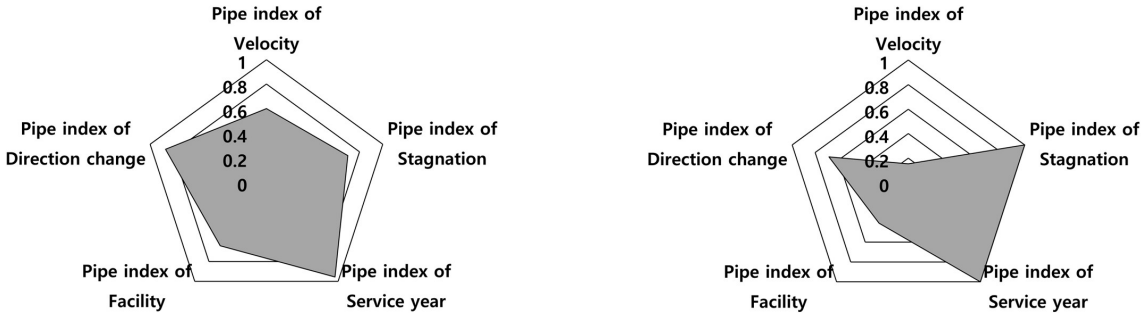
4.1 퇴적위험도 분석

4.1.1 퇴적위험도(2월)

2월 새벽 4시일 때 퇴적위험도를 분석한 결과 Fig. 4(a)와 같이 내덕1동은 유속지수 0.5998, 정체시간지수 0.7000, 경과년지수 0.9560, 시설물지수 0.6429, 유향변화지수 0.8673, 위험도 1.7908로 가장 퇴적위험도가 높은 것으로 나타났다. 또한 2월 오전 8시일 때 퇴적위험도를 분석한 결과 Fig. 4(b)와 같이 율량동 구시가지는 유속지수 0.1544, 정체시간지수 1.0000, 경과년지수 1.0000, 시설물지수 0.4076, 유향변화지수 0.6835, 위험도 1.5433로 가장 퇴적위험도가 높은 것으로 나타났다. 아래 Table 3은 청주시 13개 동의 2월 기준 퇴적위험도를 분석한 결과이다. 아래 Figs. 5 and 6은 지역별 퇴적위험도를 경과년수와 비교한 그래프이다.

4.1.2 퇴적위험도(7월)

7월 새벽 4시일 때 퇴적위험도를 분석한 결과 Fig. 7(a)와 같이 율량동 구시가지는 유속지수 0.1760, 정체시간지수 1.0000, 경과년지수 1.0000, 시설물지수 0.4076, 유향변화지수 1.000, 위험도 1.7041로 가장 퇴적위험도가 높은 것으로 나타났다. 또한 7월 오전 8시일 때 퇴적위험도를 분석한 결과 Fig. 7(b)와 같이 내덕1동은 유속지수 0.3692, 정체시간지수 0.5455, 경과년지수 0.9560, 시설물지수 0.6429, 유향변화지수 1.000, 위험도 1.6707로 가장 퇴적위험도가 높은 것으로 나타났다. 아래 Table 4는 청주시 13개 동의 7월 기준 퇴적위험도를 분석한 결과이다. 아래 Figs. 8 and 9는 지역별 퇴적위험도를 경과년수와 비교한 그래프이다.



(a) Naedeok1-dong (b) Yullyang (old)-dong

Fig. 4. Radar charts for degree of deposition risk in February

Table 3. Ranking of degree of deposition risk in February

Rank	4:00 AM		Rank	8:00 AM	
	Region	Degree of deposition risk		Region	Degree of deposition risk
1	Naedeok1	1.7908	1	Yullyang (old)	1.5433
2	Naedeok2	1.6689	2	Naedeok2	1.5338
3	Yullyang (old)	1.5156	3	Naedeok1	1.4718
4	Sannam	1.2170	4	Sannam	1.0840
5	Gangnae	1.1394	5	Gangnae	1.0640
6	Seonghwa	1.0425	6	Seonghwa	0.9847
7	Yongam2	1.0242	7	Yongam2	0.9222
8	Gangseo1	1.0227	8	Gadeok	0.8609
9	Hyeondo	1.0221	9	Hyeondo	0.8323
10	Gadeok	0.9524	10	Gangseo1	0.8195
11	Ogeunjang	0.8120	11	Ogeunjang	0.7186
12	Nami	0.5387	12	Nami	0.5123
13	Yullyang (new)	0.4278	13	Yullyang (new)	0.3578

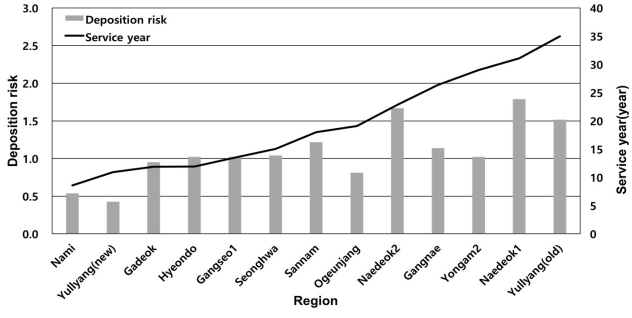


Fig. 5. Comparison of the regional degree of deposition risk and service year in February (4 AM)

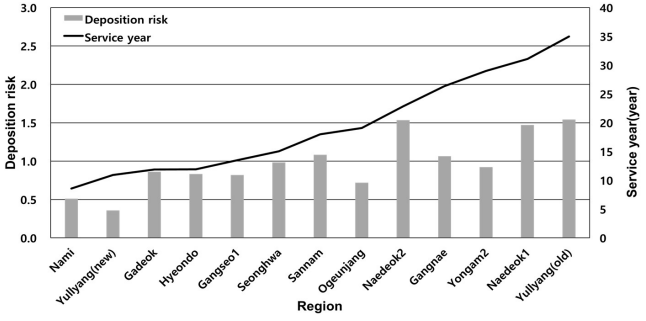
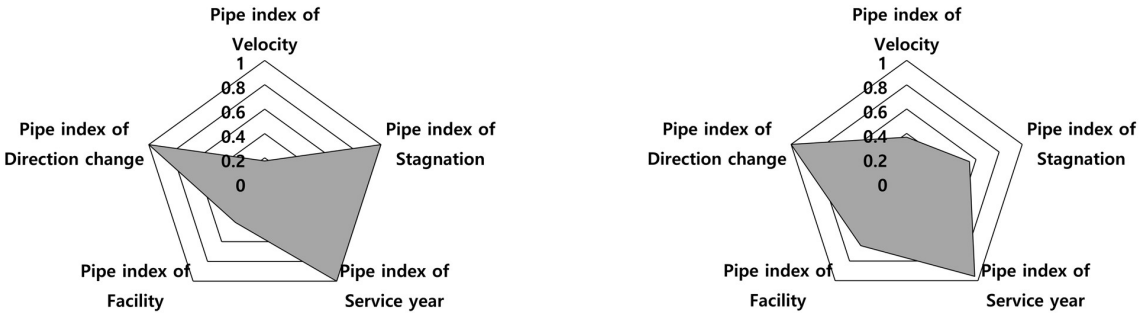


Fig. 6. Comparison of the regional degree of deposition risk and service year in February (8 AM)

4.2 박리위험도 분석

4.2.1 박리위험도(2월)

2월 새벽 4시일 때 박리위험도를 분석한 결과 Fig. 10(a)과 같이 내덕1동은 관두께지수 0.2189, 유향변화지수 0.8673, 수충격지수 1.0000, pH지수 1.0000, 유속차이지수 0.6759, 위험도는 1.7890로 가장 바리위험도가 높은 것으로 나타났다. 또한 2월 오전 8시일 때 박리위험도를 분석한 결과 Fig. 10(b)과 같이 내덕1동은 관두께지수 0.2189, 유향변화지수 0.5570, 수



(a) Yullyang (old)-dong (b) Naedeok1-dong

Fig. 7. Radar charts for degree of deposition risk in July

Table 4. Ranking of degree of deposition risk in July

Rank	4:00 AM		Rank	8:00 AM	
	Region	Degree of deposition risk		Region	Degree of deposition risk
1	Yullyang (old)	1.7041	1	Naedeok1	1.6707
2	Naedeok2	1.6518	2	Yullyang (old)	1.5539
3	Naedeok1	1.5361	3	Naedeok2	1.4907
4	Sannam	1.1713	4	Sannam	1.1703
5	Gangnae	1.0992	5	Gangnae	1.0689
6	Yongam2	1.0463	6	Yongam2	1.0047
7	Seonghwa	1.0368	7	Seonghwa	0.9296
8	Gangseo1	0.9525	8	Ogeunjang	0.8180
9	Gadeok	0.8944	9	Gangseo1	0.8150
10	Hyeondo	0.8903	10	Hyeondo	0.7169
11	Ogeunjang	0.7593	11	Gadeok	0.6849
12	Nami	0.5286	12	Yullyang (new)	0.5818
13	Yullyang (new)	0.3759	13	Nami	0.5411

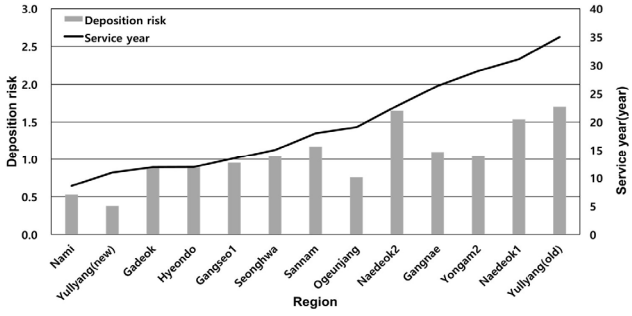


Fig. 8. Comparison of the regional degree of deposition risk and service year in July (4 AM)

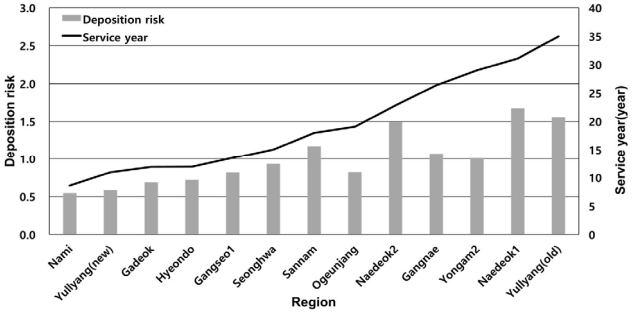


Fig. 9. Comparison of the regional degree of deposition risk and service year in July (8 AM)

충격지수 1.0000, pH지수 1.0000, 유속차이지수 0.8718, 위험도는 1.7346로 가장 박리위험도가 높은 것으로 나타났다. 아래 Table 5는 청주시 13개 동의 2월 기준 박리위험도를 분석한 결과이다. 아래 Figs. 11 and 12은 지역별 박리위험도를 경과년수와 비교한 그래프이다.

4.2.2 박리위험도(7월)

7월 새벽 4시일 때 박리위험도를 분석한 결과 Fig. 13(a)과

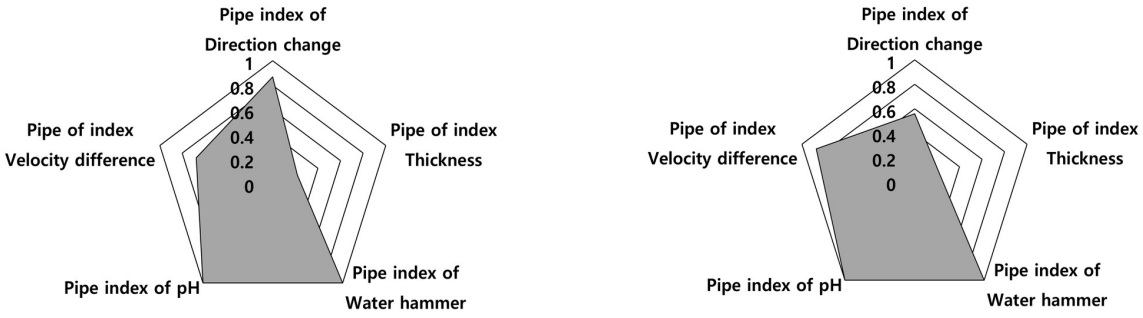


Fig. 10. Radar charts for degree of detachment risk in February

Table 5. Ranking of degree of detachment risk in February

Rank	4:00 AM		Rank	8:00 AM	
	Region	Degree of detachment risk		Region	Degree of detachment risk
1	Naedeok1	1.7890	1	Naedeok1	1.7346
2	Yullyang (old)	1.6634	2	Yullyang (old)	1.7166
3	Naedeok2	1.6612	3	Naedeok2	1.7038
4	Seonghwa	1.5416	4	Seonghwa	1.6323
5	Yongam2	1.3992	5	Gangnae	1.4341
6	Gangnae	1.3562	6	Yongam2	1.3644
7	Sannam	1.3061	7	Sannam	1.3582
8	Yullyang (new)	1.2850	8	Yullyang (new)	1.3396
9	Ogeunjang	1.2698	9	Ogeunjang	1.2459
10	Gangseo1	1.1410	10	Hyeondo	1.1197
11	Hyeondo	1.1408	11	Gangseo1	1.0852
12	Nami	1.1155	12	Nami	1.0830
13	Gadeok	0.7637	13	Gadeok	0.7820

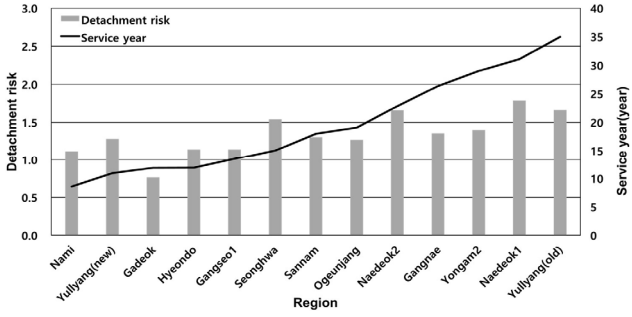


Fig. 11. Comparison of the regional degree of detachment risk and service year in February (4 AM)

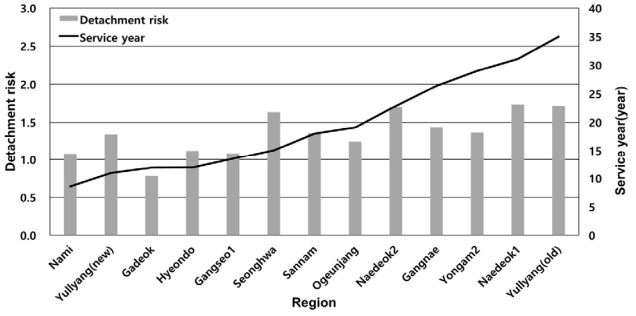
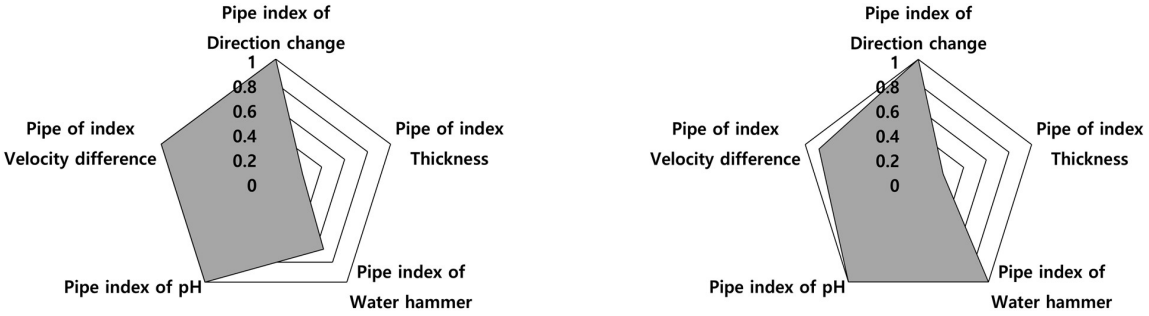


Fig. 12. Comparison of the regional degree of detachment risk and service year in February (8 AM)

같이 율량동 구시가지는 관두께지수 0.2308, 유향변화지수 1.000, 수충격지수 0.6705, pH지수 1.0000, 유속차이지수 1.0000, 위험도는 1.8552로 가장 박리위험도가 높은 것으로 나타났다. 또한 7월 오전 8시일 때 박리위험도를 분석한 결과 Fig. 13(b)과 같이 내덕1동은 관두께지수 0.2189, 유향변화지수 1.000, 수충격지수 1.000, pH지수 1.0000, 유속차이지수 0.8783, 위험도는 1.9483로 가장 박리위험도가 높은 것으로 나타났다. 아래 Table 6은 청주시 13개 동의 7월 기준 퇴적위험도를 분석한 결과이다. 아래 Figs. 14 and 15는 지역별 박리위험도를 경과년수와 비교한 그래프이다.



(a) Yullyang (old)-dong (b) Naedeok1-dong

Fig. 13. Radar charts for degree of detachment rate in July

Table 6. Ranking of degree of detachment risk in July

Rank	4:00 AM		Rank	8:00 AM	
	Region	Degree of detachment risk		Region	Degree of detachment risk
1	Yullyang (old)	1.8552	1	Naedeok1	1.9483
2	Naedeok1	1.7874	2	Yullyang (old)	1.7233
3	Naedeok2	1.6944	3	Naedeok2	1.6814
4	Seonghwa	1.6753	4	Seonghwa	1.6639
5	Gangnae	1.4143	5	Yullyang (new)	1.4857
6	Yongam2	1.4089	6	Gangnae	1.4733
7	Sannam	1.3538	7	Sannam	1.4203
8	Yullyang (new)	1.3461	8	Ogeunjang	1.3876
9	Ogeunjang	1.2651	9	Yongam2	1.3235
10	Gangseo1	1.1336	10	Gangseo1	1.1559
11	Hyeondo	1.1313	11	Nami	1.1147
12	Nami	1.1174	12	Hyeondo	1.1131
13	Gadeok	0.7516	13	Gadeok	0.7594

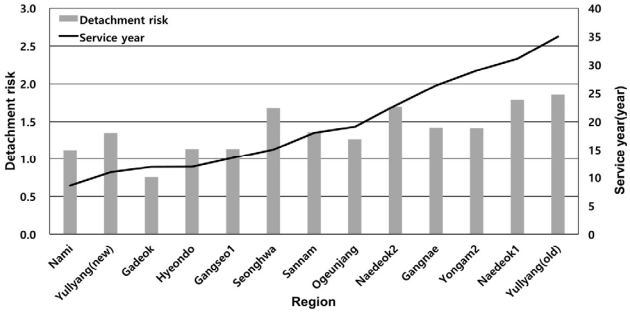


Fig. 14. Comparison of the regional degree of detachment risk and service year in July (4 AM)

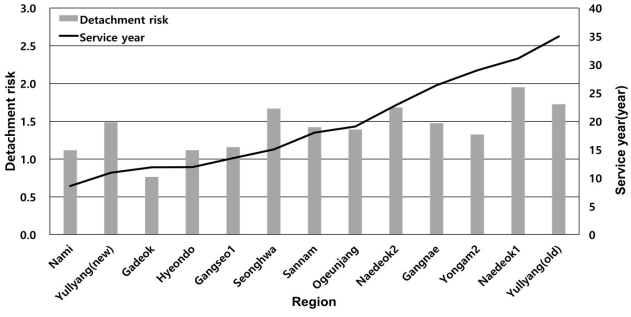


Fig. 15. Comparison of the regional degree of detachment risk and service year in July (8 AM)

5. 결 론

본 연구에서는 상수관망에서 적수와 탁수를 발생시키는 위험인자를 도출하여 청주시 지역별 퇴적위험도와 박리위험도를 분석했다.

퇴적위험도 분석한 결과 2월 새벽 4시에 가장 위험한 지역은 내덕1동으로 위험도는 1.7908이고 가장 안전한 지역은 율량동(신시가지)으로 위험도는 0.4278이다. 2월 오전 8시를 분

석한 결과 가장 위험한 지역은 율량동(구시가지)으로 위험도는 1.5433이고 가장 안전한 지역은 율량동(신시가지)으로 위험도는 0.3578이다. 7월 새벽 4시를 분석한 결과 가장 위험한 지역은 율량동(구시가지)으로 위험도는 1.7041이고 가장 안전한 지역은 율량동(신시가지)으로 위험도는 0.3759이다. 7월 오전 8시를 분석한 결과 가장 위험한 지역은 내덕1동으로 위험도는 1.6707이고 가장 안전한 지역은 남이면으로 위험도는 0.5411이다.

박리위험도 분석한 결과 2월 새벽 4시에 가장 위험한 지역은 내덕1동으로 위험도는 1.7890이고 가장 안전한 지역은 가덕면으로 위험도는 0.7637이다. 2월 오전 8시를 분석한 결과 가장 위험한 지역은 내덕1동으로 위험도는 1.7346이고 가장 안전한 지역은 가덕면으로 위험도는 0.7820이다. 7월 새벽 4시를 분석한 결과 가장 위험한 지역은 율량동(구시가지)으로 위험도는 1.8552이고 가장 안전한 지역은 가덕면으로 위험도는 0.7516이다. 7월 오전 8시를 분석한 결과 가장 위험한 지역은 내덕1동으로 위험도는 1.9483이고 가장 안전한 지역은 가덕면으로 위험도는 0.7594이다.

청주시 지역의 퇴적위험도와 박리위험도를 분석한 결과 내덕1동과 율량동 구시가지가 가장 위험한 지역으로 나타났다. 내덕1동과 율량동 구시가지의 상수관은 경과년수가 30년이 넘은 지역으로 청주시에서 가장 오래된 지역이다. 본 연구에서 개발된 위험도 분석 방법을 상수관망 유지관리에 적용한다면 실제 상수도에서 적수 및 탁수 발생 위험도가 높은 지역부터 개선 사업을 진행하여 시민들에게 수돗물에 대한 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 수도 공급자에게도 쉽고 편하게 사용할 수 있는 방법으로써 상수도 유지관리에 적극 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “국제공동기술개발사업”의 지원을 받아 수행된 연구결과임(과제번호 P0019307).

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

Baek, K.I. (2010). *Study on the improvement of water quality in the water supply system already in service using flushing*. Master’s Thesis, University of Seoul.

Cheongju City Waterworks Headquarter (CJWH) (2018). *2017 Statistics of waterworks*.

Gim, A.R. (2021). *A methodology development for flushing in a water distribution networks*. Master’s Thesis, Seoul National University of Science & Technology.

Hong, S.J., Lee, C.W., Park, J.S., and Yoo, D.G. (2020). “Velocity-based decision of water quality measurement locations for the identification of water quality problems in water supply systems.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 53, No. 11, pp. 1015-1024.

Kim, D.H. (2018). *Study on corrosion of transport pipeline by high concentration Iron and manganese*. Master’s Thesis, Inje University.

Lee, K.H., and Kim, Y.S. (1997). “Factors affecting internal corrosion and red-water problems in the water distribution network (II).” *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 19, No. 9, pp. 1167-1174.

Ministry of Environment (ME) (2022a). *2021 statistics of waterworks*.

Ministry of Environment (ME) (2022b). *Water supply design standards*.

Ministry of the Interior and Safety (MOIS) (2021). *Enforcement rules of the local public enterprises Act*.

Romanoff, M., (1957). *Underground corrosion. National Bureau of Standards Circular 579*, US Government Printing Office (Publishers), Washington DC, U.S.

Song, C.G., Jo, H.G., Choi, J.T., and Kim, J.W. (2015). “Estimation of water consumption and usage pattern in planned new town.” *Journal of Korean Society of Society of Water Science and Technology*, Vol. 23, No. 1, pp. 13-21.