Journal of Environmental Science International
31(1); 33~42; January 2022

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2022.31.1.33

ORIGINAL ARTICLE

상수급수관 인입관경 제안 및 수리해석

신성교* · 김은주 · 최시환[1)]
부산가톨릭대학교 환경공학과, [1)]㈜삼영기술

Hydraulic Analysis and Sizing of Inlet-Pipe Diameter for the Water Distribution Network

Sung-kyo Shin*, Eun-ju Kim, Si-Hwan Choi[1)]
Department of Environmental Engineering, Catholic University of Pusan, Busan 46252, Korea
[1)]Samyoung Technology, Busan 47297, Korea

Abstract

The objective of this study is to determine the appropriate size of the inlet pipe diameter and thereby conduct hydraulic analysis for the Korean water distribution network. To this end, the data tables for equivalent pipe diameters and outflow rates presently employed in Korea were adopted. By incorporating the table of equivalent pipe diameters, it was found that the size of the inlet pipe diameter was overestimated, which can cause shortage of water pressure and malfunctioning or insufficiency of outflow rate in the corresponding adjacent region. However, by conducting hydraulic analysis based on the table of outflow rates, relatively reasonable flow rates were observed. Furthermore, by comparing the real demand-driven analysis (RDDA) approach and demand-driven analysis (DDA) approach toward managing the huge water demand, it was observed that DDA could not effectively respond to real hourly usage conditions, whereas RDDA (which reflects the hourly effects of inlet pipe diameter and storage tanks) demonstrated results similar to that of real water supply.

Key words : Water supply, Network analysis, Real demand, Pipe diameter

1. 서 론

우리나라는 수돗물 공급을 위하여 배·급수 지역의 주요 격점까지 관망에 대하여 미국 EPA에서 제공하는 EPANET 관망 분석프로그램 등을 이용하여 공급계획을 수립하고 있다. 격점 이후의 급수관로는 지방자치단체별로 규정한 급수 조례에 따라 상수 급수관의 관경을 결정하게 된다(Busan Metropolitan City, 2021; Seoul Metropolitan City, 2021). 대부분의 급수 규정은 실제 필요한 공급 수량에 비하여 상수 급수관의 관경을 과대하게 규정하고 있어 수용가에게 많은 물을 공급함으로써 해당 지역의 물 공급은 원활하나, 주변 지역에는 수압 부족 및 출수 불량 등 악영향을 미치게 된다(Lee and Choi, 2018; Seoul Arisu Center, 2019). 특히 이러한 현상은 대규모 수용가의 인근 지역에서 현저히 나타나는데, 상수 급수관의 관경을 적정한 관경으로 선정하면 이러한

Received 8 September, 2021; **Revised** 29 October, 2021;
Accepted 20 December, 2021
***Corresponding author**: Sung-kyo Shin, Department of Environmental Engineering, Catholic University of Pusan, Busan 46252, Korea
Phone : +82-51-510-0635
E-mail : skshin@cup.ac.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
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.

문제를 해결할 수 있으나 상수도가 보급된 이후 다각적인 노력을 하였지만, 아직도 합리적으로 해결하지 못하고 있다.

현재 지방자치단체에서 적용하고 있는 상수 급수관의 관경 결정 방법은 관경균등표와 출수량표 등이 있는데, 대부분 관경균등표를 이용하고 있다(Busan Metropolitan City, 2021; Seoul Metropolitan City, 2021). 관경균등표에 의해서 관경을 결정하면 과대하게 결정되어 주변 지역에 수압 부족 및 출수 불량을 발생시키게 되므로 이에 대한 개선이 필요하다. 또한 출수량표에 의해 관경을 결정하면 적정한 관경으로 선정할 수 있으나, 수압이 낮은 지역은 공급이 어려울 수 있기 때문에 적정 관경에 대한 검증과 더불어 관망 수리해석을 통한 검증이 이루어져야 한다.

관망 수리해석 방법은 격점에 수요량을 할당하고 관망 내의 관로에 흐르는 유량을 시행착오법을 통해 해석하는 방법인 유량기반 분석방법(DDA, Demand Driven Analysis)으로 EPANET에 의해 분석이 이루어지고 있으나, 이 방법은 격점에는 수압이 전혀 없어도 관로에는 물이 흐르고 있는 것으로 분석되는 등 현실과 다른 결과를 나타내어 개선이 필요하였다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 수압이 없으면 물이 공급되지 않는 해석법인 압력 기반 분석 방법(PDA, Pressure Driven Analysis)으로 U.S. EPA(2014) 및 Chang and Kang(2014) 등에 의해 개선된 방안에 관한 연구가 수행되어 왔다. 그리고 실측치를 EPANET 2에 반영하여 관망을 현재와 같이 개선하고자 EPANET-RTX(U.S. Environmental Protection Agency, 2014)가 수행되었다. 최근에는 실사용량 반영을 위한 분석방법(RDDA, real demand driven analysis)에 대하여 EPANET의 example를 활용하여 연구가 수행 되었다(Lee and Choi, 2018).

따라서 본 연구에서는 지방자치단체에서 인입관경 결정을 위하여 현재까지 사용 중인 관경균등표와 출수량표의 적정성을 분석하고 RDDA방법을 이용하여 실제 대규모 수용가에서 개선되는 인입관경의 적용 적정성을 평가하고자 한다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 Fig. 1의 과정으로 수행하였다.

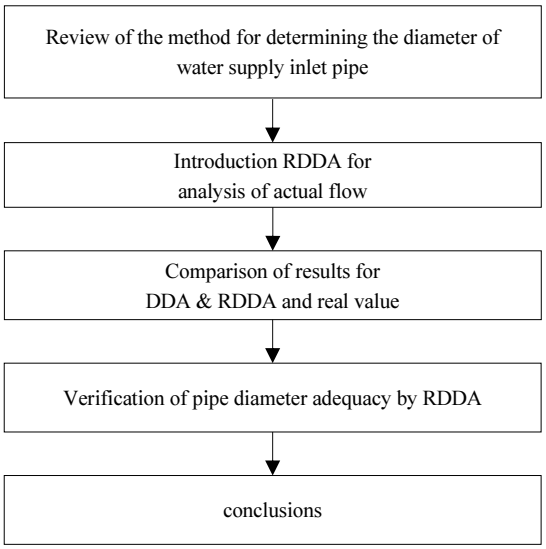


Fig. 1. Flow chart.

2.1. 상수 급수관의 관경

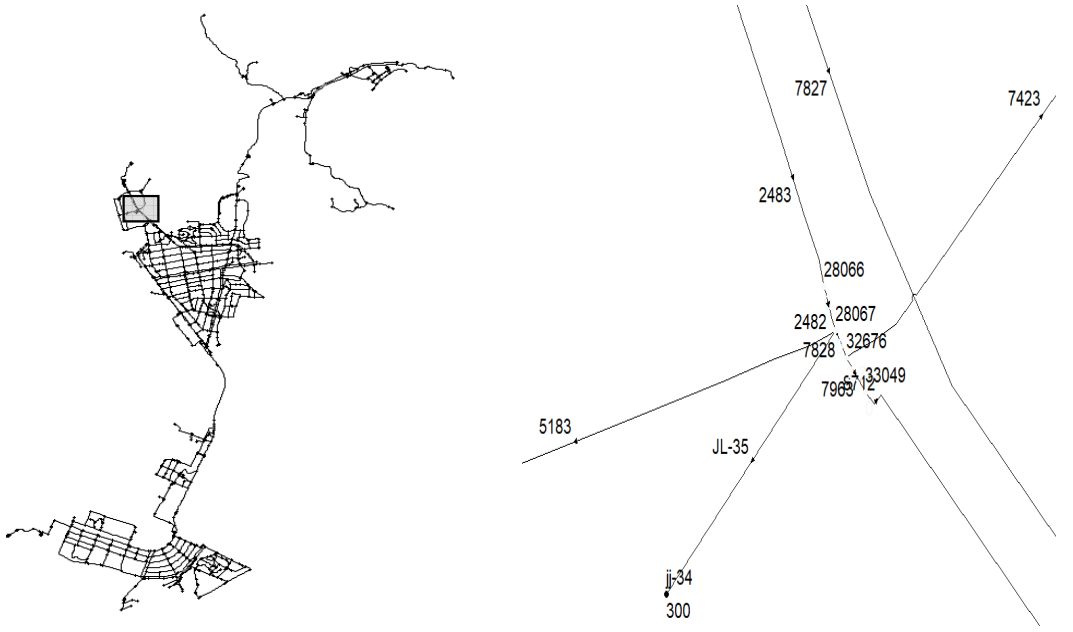
상수도 시설기준(Korea Water and Wastewater Association, 2010)에서는 계획배수량은 원칙적으로 해당 배수구역의 계획 시간최대배수량으로 하도록 규정되어 있다. 기존에 결정되고 있는 대규모 수용가의 인입배관의 관경은 관경균등표, 관경별 출수량표 등의 기준에 따르고 있으며, 관경균등표에 따라 분기되는 유량은 시간최대배수량의 25~46배에서 결정되고 있다.

본 연구에서는 서울시 급수조례에서 제시하고 있는 관경별 관경균등표와 출수량표를 Hazen-Williams 식과 Darcy-Weisbach 식을 이용하여 수리학적으로 계산한 결과를 비교·검토하였다.

2.2. 관망 수리해석 방법

기존의 관망분석방법은 EPANET 프로그램에서 대규모 수용가의 인입지점에 일최대 수요량을 할당하고, 시간패턴을 일괄 적용하여 관망분석하는 DDA방식이다. 이는 대규모 수용가로의 인입배관과 밸브 및 수조가 포함되어 있지 않은 방식이며, 실제 수조의 수위에 따라 밸브가 열렸을 때 인입 배관의 관경(관경균등표에 의해 과대하게 적용된 관경)에 따른 순간 최대유량이 유출됨으로 인하여 발생하는 인근지역의 수압저하와 출수불량의 문제점을 해석하지 못하는 부분이 있다.

본 연구에서는 기존 관망분석에서 대규모 수용가의



(a) (b)

Fig. 2. Area of water supply network(a) and Apt. area of network(b).

Table 1. Data of Juctions in water supply network

Juction ID	Elev. (m)	Demand (㎥/d)	Remark
30978	15	28.1	
28494	5	0	
30959	5	68.5	
29972	5.13	0.3	
jj-34	31.45	300.0	OO Apt.
⋮			

인입배관의 밸브와 수조 및 수요 격점을 추가하고 수요 격점에 대규모 수용가의 일최대 수요량을 할당하여 수조의 수위에 따라 밸브가 열렸을 때 인입배관의 관경에 따른 순간최대 유량이 유출되도록 EPANET의 rule-based controls editor에서 if 조건문을 입력하여 분석하는 RDDA방식으로 관망분석을 하였다. 그리고 DDA방식 및 RDDA방식의 관망분석 결과를 분석지점에서의 실제 측정된 유량과 비교·분석하였다.

2.3. 조건별 적용된 관망구성도

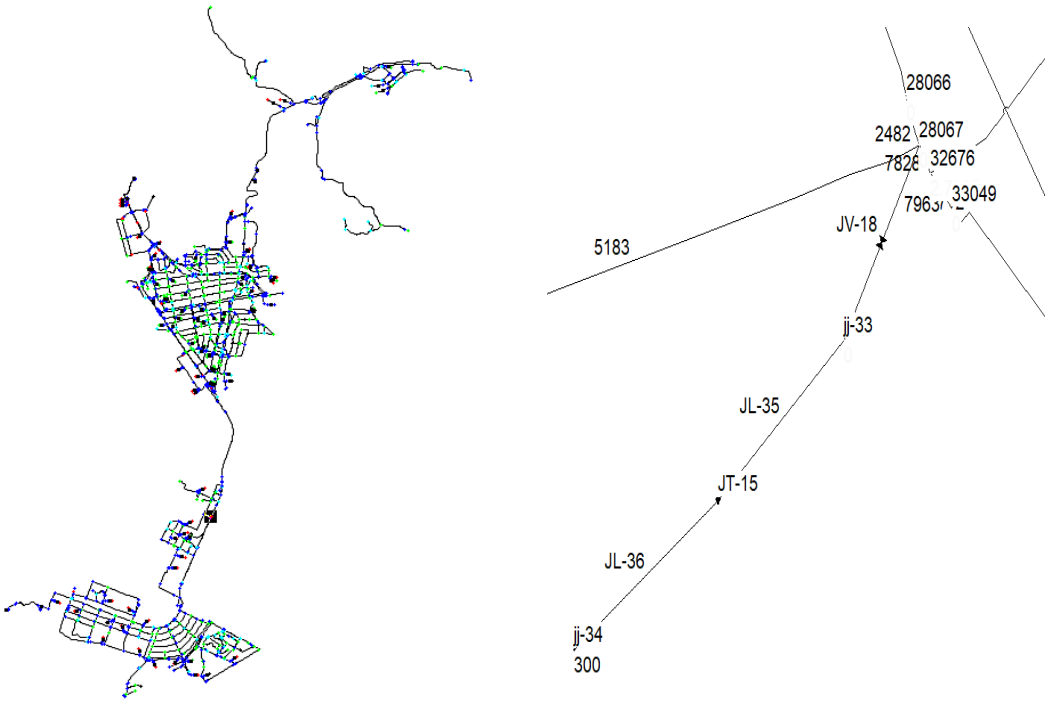
DDA방식의 관망분석을 위한 관망자료는 Fig. 2와 같으며, 격점 데이터는 총 837개 중 본 연구에서 집중 연구되는 일부자료만 Table 1에 나타내었고, JJ-34는 OO Apt.에 해당하는 지점으로 이 지점의 사용량을 분석하였다.

DDA방식에서는 관로 JL-35와 수요 격점 JJ-34를 입력하고 OO Apt.로의 공급량은 인입관경과 관계없이 항상 300 ㎥/일이 공급되도록 구성하였다.

관로 규격에 따른 데이터는 총 953개 중 본 연구에서 집중 연구되는 일부자료만 Table 2에 나타내었다. JL-35는 OO Apt. 인입관로이며 인입지점에 대한 유출량을 분석하였다.

Table 2. Data of Links in water supply network

Pipe No.	Length (m)	Diameter (mm)	Roughness	Status	Remark
1505	38.8	50	100	OPEN	
4208	189.4	200	100	OPEN	
4487	61.8	75	100	OPEN	
1524	26.7	75	100	OPEN	
7707	1.3	100	100	OPEN	
5124	7.2	75	100	OPEN	
JL-35	50	100	100	OPEN	OO Apt.
8629	50	75	100	OPEN	
⋮					



(a) (b)

Fig. 3. Water supply network(a) and Apt. area network(b) by RDDA.

RDDA분석에서는 DDA분석에 사용된 관망 자료에 Fig. 3과 같이 밸브 JV-18와 탱크 JT-15 및 관로 JL-36을 추가하고, 수용가 사용점 JJ-34에 공급량을 입력하여 수조의 수위에 따라 밸브가 열렸을 때 인입 배관의 관경에 따른 순간 최대 유량이 유출되도록 하였다.

관망분석 시 입력되어 있는 Apt. 자료는 70개소이며, 분석지점이 포함된 Apt. 현황은 Table 3과 같다.

관로의 유량에 대한 기존 조사자료 중 2020년 7월 4일의 24시간동안 1분 단위로 실측된 유량을 검증자료로 활용하여 관망분석 결과와 비교하였다.

Table 3. The current status of water pipe in the Apt

APT. ID		Households	Persons	Daily demand (㎥/d)	Inlet pipe (mm)	Remark
1	001 Apt.	67	167.5	42	50	
2	002 Apt.	45	112.5	28	40	
12	003 Apt.	18	45	11	25	
15	OO Apt.	480	1200	300	100	Analysis Area
⋮						

Table 4. The currunt status & modified inlet pipe of water pipe in the Apt

APT. ID		Household	persons	Daily Demand (㎥/d)	Inlet pipe (mm)	modified inlet pipe (mm)	Remark
1	001 Apt.	67	167.5	42	50	30	
2	002 Apt.	45	112.5	28	40	25	
12	003 Apt.	18	45	11	25	20	
15	OO Apt.	480	1200	300	100	65	Analysis Area
⋮							

분석 대상 지점인 OO Apt.의 인입관경은 100 mm로 설치되어 있었다. 관경균등표에 의해 인입관경을 결정하면 250 mm이지만 지방자치단체에서 과대 관경 적용으로 인한 문제점을 해소하기 위하여 관경을 100 mm으로 축소하여 설치한 것으로 판단된다. 하지만 현재 설치된 관경도 적정 관경보다는 과대하게 설치되어 있다. 따라서 분석 대상 지점인 OO Apt.의 인입 관경을 출수량표 기준의 적정 관경인 65 mm으로 변경하여 RDDA방식으로 분석하였으며, 이에 대한 OO Apt. 현황은 Table 4와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 상수 급수관의 관경

관경균등표는 주관경(主管徑)이 부담할 수 있는 지관수(支管數)를 나타낸 것으로 Table 5와 같다. 1가구에 분기하는 급수관의 관경을 15 mm으로 설정하므로 15 mm에 해당하는 지관수는 가구수에 해당한다. 따라서 가구수(=지관수)에 대응되는 주관경을 대규모 수용가의 인입배관의 관경으로 결정하는 방법이다.

출수량표는 Table 6과 같으며, 시간당 출수량에 해당하는 관경을 인입 급수관의 관경으로 결정하는 방법이다.

1000세대 규모의 대규모 수용가에 분기되는 인입 배관의 관경을 관경균등표 기준으로 결정하면 250 mm이고, 출수량표 기준으로 결정하면 1,000세대 기준의 시간최대수요량인 48.8 ㎥/hr〔=250 ℓpcd×2.5인/세대×1000세대×1.25(일최대계수)×(시간계수)÷1000÷24〕에 해당하는 관경인 65 mm으로 결정된다.

기존의 상수급수관 계획 시 관경균등표에 의한 방법으로 상수급수관 인입 관경을 결정함으로써 실제 필요한 공급수량에 비해 과대한 유량이 유출되어 주변 지역에 수압 부족 및 출수 불량을 발생시키고 있다. 따라서 출수량표에 따라 인입관경을 적정하게 결정하도록 하는 제도적 개선이 필요하다.

본 연구에서는 수도조례상의 출수량표에서 제시하고 있는 인입 관경의 적정성을 Hazen-Williams(H-W) 식과 Darcy-Weisbach(D-W) 식을 통하여 검증하였다. 배수관에서 대규모 수용가로 분기되는 급수관의 연장은 20 m로 설정하고, 공급 지점의 수두는 15 m(상수도 급수규정의 최소공급수두)로 설정하여 관경별 출수량을 산정하여 검토하였다.

서울시 수도조례상의 출수량표에 의한 출수량과 Inch 기준의 관경을 적용한 Hazen-Williams 식 및 Darcy

Table 5. The equivalence table of pipe diameter

Main pipe dia. (mm)	Number of branch pipe								
	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	40 mm	50 mm	65 mm	80 mm	100 mm
20	3	1							
25	5	2	1						
30	10	3	2	1					
40	16	6	3	2	1				
50	29	10	6	3	2	1			
65	56	19	11	6	3	2	1		
80	80	27	16	8	5	3	2	1	
100	165	56	32	17	8	6	3	2	1
125	287	98	56	30	17	10	5	4	2
150	452	154	88	48	27	16	8	6	3
200	928	316	181	98	56	32	17	12	6
250	1,622	552	316	171	98	56	29	20	10
300	2,558	871	499	269	154	88	46	32	16
350	3,761	1,281	733	396	226	130	67	47	23
400	5,252	1,789	1,024	552	316	181	94	66	32

Table 6. The pipe diameter table by outflow

Dia.	outflow (㎥/hr)	Dia.	outflow (㎥/hr)
15 mm	0.857	100 mm	194.000
20 mm	2.437	125 mm	349.000
25 mm	5.166	150 mm	563.000
30 mm	8.892	200 mm	1,200.000
40 mm	14.634	250 mm	2,160.000
50 mm	31.356	300 mm	3,488.000
65 mm	62.000	350 mm	5,232.000
80 mm	91.000	400 mm	7,434.000

-Weisbach 식에 의하여 산정한 출수량은 Table 7에 나타낸 바와 같이 비슷한 수치를 보여주고 있다. 인치 기준의 관경을 적용한 계산은 0.5 inch를 단위환산한 값인 12.7 mm로 적용하여 산정된 값이다. 하지만 관경 0.5 inch는 Table 6에서 보여주는 바와 같이 KS규격의 관경 15 mm로 표기되었다. 따라서 실제 KS규격의 관경 15 mm를 적용하여 상수관로의 유량공식인 Hazen-Williams 식으로 출수량을 재산정하였고, 재산정된 출수량은 Table 7과 Table 8에 나타내었다. 본 연구에서는 기존의 출수량표 대신 Table 8과 같이 재산정된 출수량표를 인입 급수관의 관경 결정 기준으로 제안한다.

제안된 출수량표 Table 8에 따라 인입 급수관의 관경을 결정할 때 시간당 출수량에 해당하는 관경을 선정하게 되는데, 이때 시간당 출수량은 수용가의 공급량을 의미하며, 상수도시설기준(Korea Water and Wastewater Association, 2010)에서는 시간최대배수량으로 한다고 규정되어 있다. 하지만 현재 대규모 수용가의 경우 관경 균등표에 의해 인입 관경이 결정되고 있어 사실상 시간최대배수량의 25~46배 정도로 공급되고 있는 실정이다. 이러한 상황에서 제안된 출수량표에 따라 인입관경을

Table 7. Flow comparison evaluated with the pipe diameter

Dia.(inch) (→mm convert)		0.5 (12.7)	0.75 (19.1)	1 (25.4)	1.25 (31.75)	1.5 (38.1)	2 (50.8)	2.5 (63.5)	3 (76.2)	4 (101.6)	5 (127)	6 (152.4)	8 (203.2)
Dia.(mm)		15	20	25	30	40	50	65	75	100	125	150	200
The value based on inch Dia.	H-W flow (m^3/d)	21.2	61.7	131	236	382	813	1463	2363	5036	9056	14628	31172
	D-W flow (m^3/d)	18.6	54.9	118	214	348	750	1360	2212	4764	8638	14047	30252
	Seoul flow (m^3/d)	20.6	58.5	124	213	351	753	1488	2184	4656	8376	13512	28800
The value based on mm Dia.	proposal flow (m^3/d)	32.9	70.1	126	204	434	780	1556	2266	4830	8686	14030	29898

Table 8. The proposal pipe diameter table by outflow

Dia. (mm)	15	20	25	30	40	50	65	75	100
Cross sectional Aera (mm^2)	1.8	3.1	4.9	7.1	12.6	19.6	33.2	44.2	78.5
Flow (m^3/d)	32.9	70.1	126	204	434	780	1556	2266	4830

결정할 경우 관경의 급격한 감소로 인하여 대규모 수용가와 상수도 공급자 사이에 충수시간 지연 등의 문제로 분쟁이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 제안된 출수량표에 따라 인입 급수관의 관경 결정시 시간당 출수량은 시간최대배수량의 2배를 적용하여 관경을 결정하도록 제안하고, RDDA방식으로 관망분석을 병행하여 관경의 적정성을 검토하도록 제안한다.

3.2. 관망수리해석

경상남도 A 지역의 1000세대 규모의 OO Apt. 인입지점의 유출량에 대하여 2020년 7월 4일 24시간동안 실측된 유출량 자료와 DDA방식 및 RDDA방식의 관망분석을 통하여 적정 공급방안을 비교하였다.

OO Apt. 인입지점에서 실측된 유량과 DDA방식의 관망분석 결과를 비교한 그래프는 Fig. 4와 같다. 실측된 유량은 하루동안의 실제 물사용 특성을 반영한 것으로 순간적으로 과다한 유출이 일어나고 있다. 반면, DDA방식의 관망분석 결과는 유출 유량이 일정한 패턴에 따라 균등하게 유출되고, 순간적인 과다 유출은 일어나지 않고 있으므로 실제 물사용 특성을 반영하지 못하고 있음을 알 수 있다.

OO Apt. 인입지점에서 실측된 유량과 RDDA방식의 관망분석 결과를 비교한 그래프는 Fig. 5와 같다. RDDA방식의 관망분석 결과는 실측된 물사용 특성과 유사하게 순간적으로 과다한 유출이 일어나고 있다. 이는 저수조의 수위에 따라 밸브가 열렸을 때 유출 유량이 순간적으로 증가한 것으로 판단되며, 대규모 수용가의 실제 물사용 특성을 반영하고 있는 것이다. 순간적으로 유출 유량이

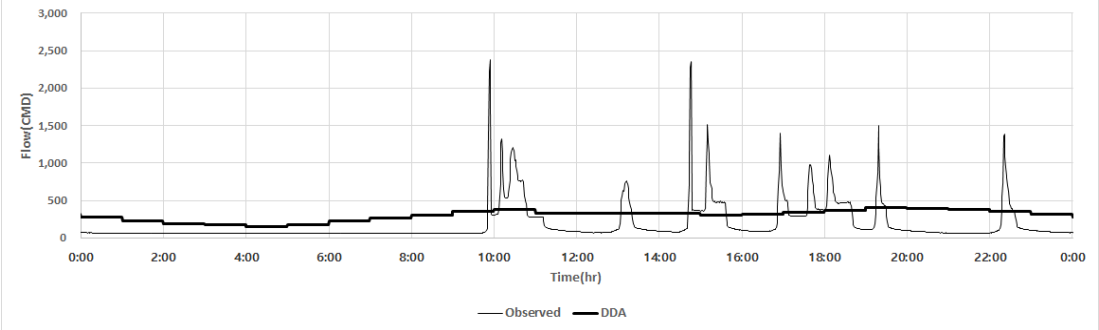


Fig. 4. The comparison of flow with observation data and prediction data for the DDA method.

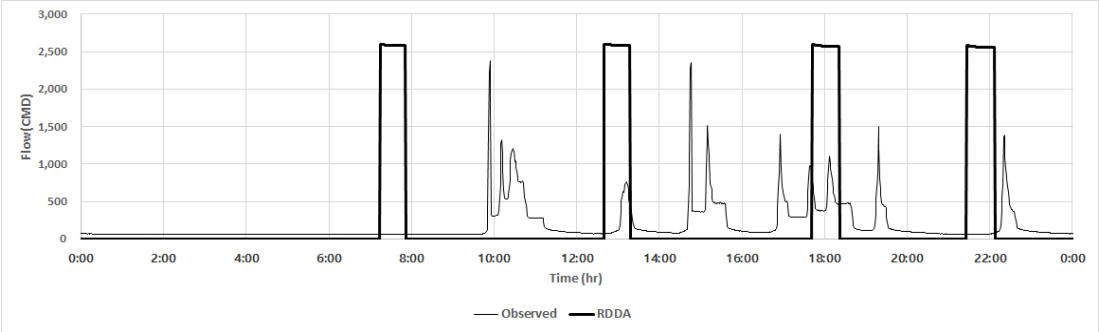


Fig. 5. The comparison of flow with observation data and prediction data for the RDDA method.

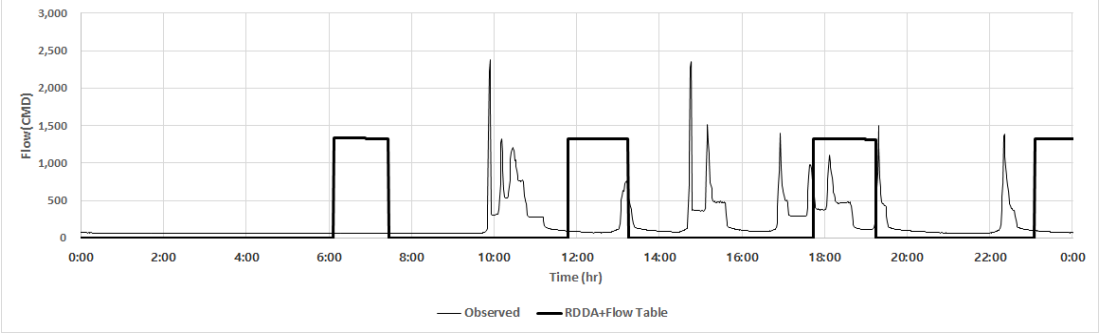


Fig. 6. The comparison of flow with observation data and prediction data applied the proposal pipe diameter table by outflow.

증가하는 시간대는 실측치와 RDDA방식의 관망분석 결과가 일치하지 않지만, 이는 EPANET 프로그램에서 관망분석이 이루어질 때 저수조의 밸브가 열리는 시간대가 실제 현장에서 밸브가 열리는 시간대와 일치하지 않았기 때문이다. 그리고 실측치의 순간적인 유출 유량의 최대값이 RDDA방식의 관망분석 결과보다 낮은 이유는 실제 현장에 설치된 관로의 노후화 등에 의해 손실수두가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 상수관망운영을 위한 관망분석방법은 실제 물사용 특성을 반영할 수 있는 RDDA방식이 더 적합한

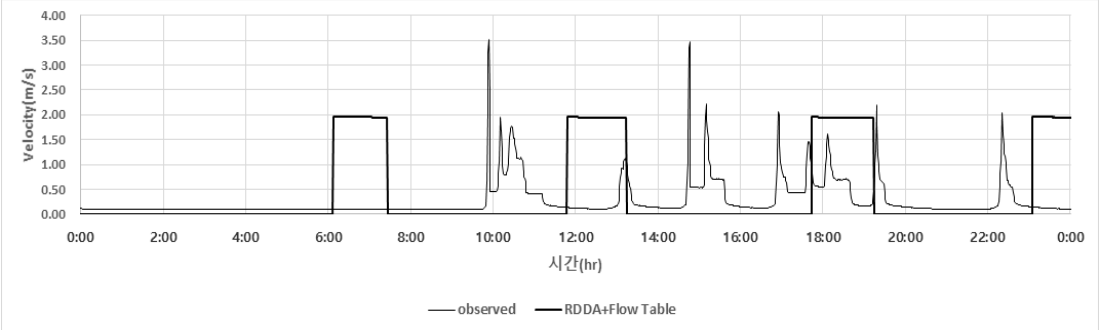


Fig. 7. The comparison of velocity with observation data and prediction data applied the proposal pipe diameter table by outflow.

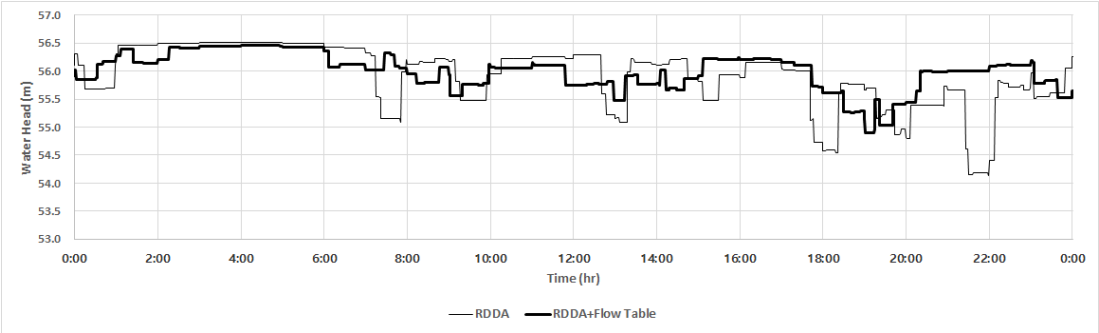


Fig. 8. The comparison of water head with observation data and prediction data applied the proposal pipe diameter table by outflow.

것으로 나타났다.

OO Apt. 인입지점에 설치된 인입배관의 관경은 100 mm로 적정관경보다는 과대하다. 그래서 출수량표에 의해 결정된 적정관경인 65 mm로 관경을 변경하여 RDDA방식으로 관망분석하였고, 그 결과를 실측된 유량과 비교한 그래프는 Fig. 6과 같다. 적정관경으로 변경하여 RDDA방식으로 분석한 결과의 유출 유량 최대값이 실측 유량의 최대값보다 50%정도 낮은 것으로 분석되었다. 이 결과로부터 인입배관의 관경을 적정관경으로 적용할 경우 순간적인 유출 유량을 감소시켜 인근 지역의 수압저하 및 출수불량을 방지할 수 있을 것이다.

인입배관의 관경을 적정관경으로 적용하였을 경우 유속에 대한 RDDA 분석 결과를 실측된 유속과 비교하여 나타낸 그래프는 Fig. 7과 같다. 적정관경으로 적용하여 분석한 유속의 최대값이 실측 유속의 최대값보다 낮은 것으로 나타났다. 이는 적정관경으로 적용시 순간적인 유출 유량이 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 관로내 유속이 높을 경우 관손상 등의 문제를 야기할 수 있는데, 적정관경 적용으로 인한 유속의 감소는 이러한 문제를 방지하여 보다 안정적인 상수공급이 이루어질 것으로 분석된다.

인입배관의 관경을 기존에 설치된 관경인 100 mm으로 적용한 경우와 적정관경인 65 mm으로 적용한 경우에 대하여 각각 RDDA방식으로 수압을 분석한 결과는 Fig. 8과 같다. 인입배관의 관경이 클수록 순간적인 유출 유량이 증가하여 수압저하가 크게 일어나고, 적정관경 적용시 수압저하가 작게 일어나는 것을 알 수 있다. 따라서 인입배관의 관경을 적정관경으로 적용할 경우 인근 지역의 수압저하를 방지할 수 있다.

이상의 관망분석 결과, 상수관망분석시 DDA방식은 실제 물사용 특성을 반영하지 못하는데 반해 RDDA방식은 실제 급수 상황을 보다 정확하게 예측 가능한 것으로 나타났다. 또한 인입배관의 관경을 결정할 때 제안한 출수량표 기준의 적정관경을 적용할 경우 보다 안정적인 상수공급이 이루어질 것으로 판단된다.

4. 결 론

현재 우리나라에서 사용하고 있는 관경균등표와 출수량표에 따른 인입배관의 관경 결정 방법에 대한 적정성을 평가하고, 실제 물사용 특성을 반영할 수 있도록 관망분석방법을 개선하는 연구로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

인입 급수관의 관경 결정방법으로 관경균등표를 적용할 경우 관경이 과다 설계되어 주변 지역에 수압부족 및 출수불량이 발생할 우려가 높은 것으로 분석되었다.

수리적 계산과 RDDA 관망분석 결과, 인입 급수관의 관경 결정방법으로 출수량표를 적용하는 것이 적정한 것으로 분석되었다.

출수량표는 관경을 mm 단위로 재산정하여 국내 기준에 적합한 출수량표를 제안한다.

상수관망분석시 DDA방식은 실제 물사용 특성을 반영하지 못하는데 반해 RDDA방식은 대규모 수용가의 인입배관과 저수조의 영향을 반영하여 실제 급수 상황을 보다 정확하게 예측 가능한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사(K-water)의 개방형 혁신 R&D(B-T-009)사업의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Back, C. W., Jun, H. D., Kim, J. H., 2007, Development of HSPDA model for water distribution system under abnormal operating condition, Journal of The Korean Society of Civil Engineers, 27, 1015-6348.

Back, C. W., Jun, H. D., Kim, J. H., 2010, Estimation of the reliability of water distribution systems using HSPDA model and ADF Index, J. Korea Water Resour. Assoc., 43, 1226-6280.

Busan Metropolitan City, 2021, Busan metropolitan tapwater supplying ordinace, Busan, Korea.

Chang, D. E., Kang, K. H., 2014, Experimental analysis of nodal head-outflow relationship using a model water supply network for pressure driven analysis of water distribution system, J. Korean Soc. Environ. Eng., 36, 421-428.

Lee, H. D., Choi, S. H., 2018, RDDA method of distribution network with actual usage, The Society of Convergence Knowledge, 6, 7-13.

Noh, J. W., Yoo, D. G., Shin, E. H., Lee, H. M., 2017, Development and Its applications of K-NRisk for hydraulic analysis of water supply system under abnormal conditions, Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference 2017, 271-271.

Seoul Arisu-Center, 2019, A Study on the household consunption of tap water under using under 50 mm diameter of pipeline, Seoul, Korea.

Seoul Metropolitan City, 2021, Seoul metropolitan tapwater supplying ordinace, Seoul, Korea.

U.S. Environmental Protection Agency, 2014, Water utility case study of real-time network hydraulic and water quality modeling using EPANET-RTX Libraries, https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/yPURL.

U.S. Environmental Protection Agency, 2021, https://www.epa.gov/water-research/epanet.

Korea Water and Wastewater Works Association, 2017, Water supply korea design standard, KDS 57 65 00, Ministry of Environment, Seoul, Korea.

• Professor. Sung-Kyo Shin
Department of Environmental Engineering, Catholic University of Pusan
skshin@cup.ac.kr
• Researcher. Eun-Ju Kim
Department of Environmental Engineering, Catholic University of Pusan
eujkim@naver.com
• Vice president. Si-Hwan Choi
Samyoung Technology
choisihwan@naver.com