

Sanitary sewer flow characteristics through a depth-velocity scatter graph analysis

수위-유속 분산 그래프를 통한 하수흐름 특성 분석

Jooyoung Son · Jeill Oh*

손주영 · 오재일*

중앙대학교 사회기반시스템공학부

Department of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and studies, Chung-Ang University

Abstract : To perform long-term sewer monitoring, It is important to understand the nature of the wastewater flow that occurs at the point on early stage of the monitor and to prevent in advance a problem which may caused. We can infer the flow properties and external factors by analyzing the scatter graph obtained from the measured data flow rate monitoring data since an field external factor affecting the sewage flow is reflected in the flow rate monitoring data. In this study, Selecting the three points having various external factors, and we Inferred the sewer flow characteristics from depth-velocity scatter graph and determined the analysis equation for the dry-weather flow rate data. At the 'point 1' expected non-pressure flow, we were able to see the draw-down effect caused by the free fall in the manhole section, At the 'point 2' , existed weir and sediments, there was backwater effect caused by them, and each of size calculated from the scatter graph analysis were 400 mm and 130 mm. At the 'Point 3' , there is specific flow pattern that is coming from flood wave propagation generated by the pump station at upstream. In common, adequate equations to explain the dry weather flow data are flume equation and modified manning equation(SS method), and the equations had compatibility for explaining the data because all of R^2 values are over 0.95.

Key words : flow monitoring, flume equation, manning equation, scatter graph, sewer flow characteristics

주제어 : 유량 모니터링, 플룸 방정식, 매닝 방정식, 분산 그래프, 하수흐름 특성

1. 서론

하수관은 도시의 쾌적한 생활환경 조성을 위한 기초적인 사회기반시설 중에 한 요소이다. 하지만 시설의 노후화가 지속되면서 유지관리의 미흡으로 인해 설계 당시 본래의 성능을 충분히 발휘하지 못하는 문제가 발생하기도 한다. 이러한 상황에서, 하수관의 체계적인 유지관리를 위해서는 노후도를 반영하는 직·간접적인 지표의 중·장

기 모니터링 데이터의 구축이 반드시 선행되어야 한다. 특히, 하수처리장의 효율성 증대를 위한 원단위 검토나 관의 노후화 평가를 위한 침입수 산정 등에 활용되는 유량 모니터링 데이터의 수집은, 하수관로 통합 모니터링 시스템 구축에 있어 가장 기본적으로 수행되어야 하는 측정인자이다.

일반적으로 이러한 중장기 유량 데이터를 얻기 위해서는 하수처리구역을 분할하고 측정지점을 선정한 후 유량계를 설치하는 방식으로 이루어지는데, 이때 이상적인 유량계 설치장소 선정조건으로는 1)직관부로서 하수의 흐름이 안정적인 장소, 2)흐름의 정체 현상이 없거나 적은 장소, 3)펌

* Received 08 October 2014, revised 05 December 2014, accepted 08 December 2014.

* Corresponding author: Tel : +82-2-820-5339 Fax : +82-2-812-1834 E-mail : ohjeill@cau.ac.kr

프 가동과 수문 영향이 없는 장소 등으로 한정된다(Ministry of environment, 2009). 하지만 언급된 설치 권장 조건들은 관로 전문가가 현장을 면밀히 조사하지 않는 이상 분별하기가 까다롭기 때문에 이상적인 지점에서 모니터링을 수행하기란 현실적으로 어려운 점이 많이 있다. 따라서 보다 정확한 중장기 모니터링 데이터 획득을 위해 지점을 최종 확정하기 이전에, 단기간의 모니터링 데이터를 활용하여 해당 지점의 흐름 유형을 구분하고, 현장의 외부 교란 인자의 존재 유무를 정량적으로 파악하고 분석하는 과정이 이루어져야 할 것이다.

외부 영향 인자가 존재하는 특이 지점에서 측정된 유량 모니터링 데이터는 하수 수위의 증감에 따른 유속, 유량의 변동이 특정 패턴으로 나타나는 경우가 있다. 왜냐하면 현장의 물리적 특성이 하수의 수리적인 거동으로 투영되어 나타나기 때문인데, 이때, 흐름에 영향을 미치는 외부요인을 수위-유속 분산그래프를 통해 유추할 수 있다(Stevens and Sands, 1995). 또한 외부요인의 정량적인 분석을 위해서는, 해당 지점의 청천일 모니터링 데이터에 정상동류(steady uniform flow)상태의 수리방정식으로 선형 회귀분석을 수행하여 모델 계수를 결정하기도 한다.

본 논문에서는 정상적인 자연유하식 흐름과 특이 흐름(하류부 퇴적물 및 위어 영향, 상류부 증계펌프 영향)을 구별하여 관찰할 수 있을 것으로 예상되는 세 지점을 선정하고, 각 지점의 유량 모니터링 데이터를 활용하여 각각의 흐름 특성을 분석 비교하고자 한다. 또한 이러한 관 흐름에 적합한 해석식과 모델 계수 결정하는 방법에 대하여 간략히 논의하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 모니터링 방법

연구대상 지역은 경기도 P시 J하수처리구역이며, 하수 배제 방식은 대부분이 합류식 하수관로로 아파트 지역을 포함한 일부 소유역 만이

분류식화 개선 사업이 진행된 것으로 조사되었다. Fig. 1에서와 같이 J하수처리구역은 유역 하단부에는 하수처리장이 위치하고 있고, 차집관로를 중심으로 주요 간선이 뻗어 나가는 것을 볼 수 있다. 주요 간선들은 해당 소유역에서 발생하는 하수를 최종적으로 차집관로로 이송시키는 역할을 수행하기 때문에 소유역 내의 하수 발생량과 흐름을 분석하기 위해서는 주요 소유역 간선 말단 지점에서 유량 모니터링을 수행한다. 따라서 본 연구에서는 하수도대장 도면과 현장을 검토하여 대상 처리구역을 소유역으로 분류하고, 각 소유역 내의 주요 간선을 판단하는 과정을 수행하였다.

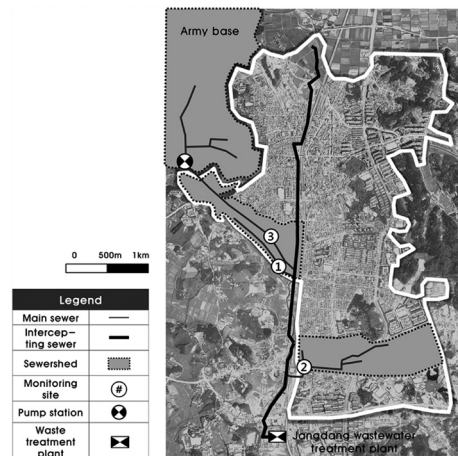


Fig. 1. Classifications of sub-catchments, main sewers, and monitoring sites in the J-sewershed.

주요 간선 중에 자연유하식 흐름으로 예상되는 지점(Fig. 1의 1번 지점)과 일반적인 흐름이 아닌 특정한 외부요인이 존재하는 지점(Fig. 1의 2, 3번 지점)을 현장 답사를 통해 모니터링 지점으로 선정하였다. 2, 3번 지점의 외부요인으로 먼저 '2번 지점'의 경우, 주요 간선 말단부에 차집관로로 유입되기 이전에 위어(weir)가 존재하여 일정 수위보다 높으면 월류수(combined sewer overflows, CSOs)가 발생하는 동시에, 위어의 존재로 인해 하류부에 퇴적물이 상존하

는 경우이다. 또한, '3번 지점'의 경우는, 간선 상류부에 일정 시간, 발생 유량에 따라 군부대의 하수를 토출시키는 중계펌프가 존재하여 흐름이 일정하지 않고 수위와 유속이 급격히 변하는 지점이다.

아래 Table 1에서는 각 지점의 하수관의 특성을 구분하여 정리하고 있다. 모든 지점은 콘크리트 원형관으로 이루어져 있으며, 관경은 400 ~ 500 mm, 기울기는 0.004 ~ 0.007의 범위 내에 존재한다.

Table 1. Characteristics of the sub-catchment and sewer pipe at several monitoring sites.

Site no.	Type	Size (mm)	Length (m)	Slope	Remark
1	Circle concrete pipe	400	22.85	0.0044	-
2	Circle concrete pipe	500	31.19	0.0038	With obstacle & weir
3	Circle concrete pipe	450	24.82	0.0021	With pumping station

각 지점에서 28일(2014/07/03~2014/07/30) 동안 5분 간격의 유량 데이터를 확보하였다. 모니터링 시작 첫 일주일간의 데이터는 지점 데이터의 전반적인 유효성을 판단하고자(현장 유량계의 설치 상태를 점검하는 시행착오 기간) 본격적인 분석데이터 기간에서 배제하고, 나머지 유효한 3주간의 유량 데이터를 분석에 활용하였다. 이 때, 조사 기간 동안의 강우 데이터는 기상청의 지역별 상세관측자료(AWS)를 활용하여 해당 지점의 강우량을 선정하였다.

측정 장비는 도플러 방식의 유량계인, 독일의 Nivus 社의 PCM-F 제품을 측정지점 하수관 말단부에 보조 고정 장치를 사용하여 부착시켰다. 세 지점 모두 동일한 방법으로 설치하였으며, 정확한 데이터 수집을 위하여 일주일 마다 측정된 데이터 수집과 동시에 유량계의 유지관

리를 실시하였다.

2.2 데이터 분석 방법

조사된 유량 모니터링 데이터는 시간에 따른 수위, 유속, 유량 값의 변화를 시계열 그래프로 표시하여 전체 조사 기간 동안의 전반적인 변화 추세를 파악하거나, 수위-유속, 수위-유량 분산그래프로 나타내어 각 측정된 변수들 간의 상대적인 관계 변화를 심도있게 분석할 수 있었다. 먼저 전체 기간에 대한 강우 데이터와 유량 모니터링 데이터를 시계열 그래프로 표현하여 청천일 흐름(dry-weather flow) 데이터를 선별하는 과정을 수행한다. 이때, 청천일의 하수 흐름은 수위변동이 크지 않고 유량의 증감이 일정한 패턴을 보이기 때문에, 기본 수리방정식이 가정하고 있는 정상등류상태의 흐름을 만족하며, 다음 분석과정인 회귀분석에 활용될 수 있다. 청천일 흐름의 선별은 전체 모니터링 데이터 중에서 강우 이벤트(우천일+강우영향일) 영향이 없는 데이터를 청천일로 정의·선별한다(Ministry of environment, 2008). 결과적으로, 본 연구에서는 강우일과 강우영향일(이틀) 포함하여 총 7일(07/18 ~ 20, 7/23 ~ 26)을 독립강우의 영향 데이터로 분류하였다.

분산 그래프 분석 방법은 크게 두 가지로 나누어 생각할 수 있는데 조사기간 전체의 데이터를 활용한 종합적인 정성 분석방법과 청천일 데이터만을 활용한 지엽적인 정량 분석방법으로 구분할 수 있다. 첫째, 종합적인 정성 분석방법은 전체 데이터의 수위-유속 분산 그래프를 도출하고 그때의 그래프 패턴을 통해 대략적인 외부교란 요인을 분석하는 방법이다. 여기서, 외부교란 요인을 그래프 패턴만으로 유추할 수 있는 이유는, 외부교란 요인들에 의해 발생하는 물리적 개수로 유체 흐름 특성에 따라 그래프의 패턴이 서로 다른 형태를 보이기 때문이다. 둘째, 지엽적인 정량 분석방법은 청천일 데이터를 이용하여 수위-유속, 수위-유량 분산그래프를 그리

고, 각각 매닝(Manning)식과 플룸(Plume)식의 계수 값을 도출하기 위해 선형 회귀분석(linear regression)을 수행하는 방법이다.

매닝 방정식은 개수로 유동에서 관경과 관의 바닥 경사가 주어졌을 때 수위를 통해 관내 평균 유속을 도출하는 실험식이며, 매닝식의 구성은 아래와 같다(식 1).

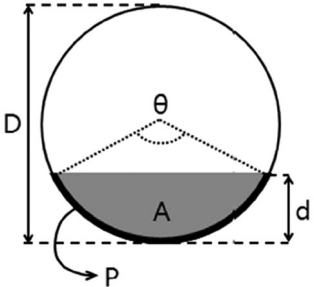
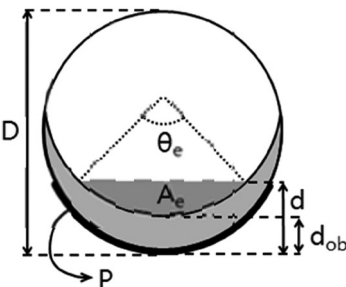
$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} \quad (1)$$

여기서, v =velocity(m/s), n =roughness coefficient,
 R =hydraulic radius(m), S_o =pipe slope

수위-유속 분산그래프의 분석에는 매닝식을 활용하며, 회귀분석을 하는 알고리즘의 방법에 따라 LC(Lanfear-Coll) 방법과 SS(Stevens-Schutzbach) 방법으로 구분된다(Enfinger and Kimbrough 2004). LC 방법은 이상적인 자연유하식 등류(uniform flow)에서 매닝식을 수위-유속 데이터에 일치시키는 방법으로, 매

닝식을 선형 방정식으로 변형시킨 후, 선형 회귀 분석을 수행하여 조도계수 및 결정계수(coefficient of determination, R^2)를 도출해낸다 (Table 2) (Lanfear and Coll, 1978; Chapra, 2012). 반면, SS 방법은 LC 방법과 달리, y 절편을 원점에 고정하지 않은 변형된 매닝식의 일종이며, 하류부의 퇴적물이나 장애물로 인한 수위의 증가나 배수(backwater)효과를 고려할 수 있다. 따라서 SS 방법에서는 y 절편의 증감을 고려하기 위해, 측정된 수위데이터에서 장애물의 높이(magnitude of obstacle, d_{ob})를 감한 값으로 수정 단면적(A_e)을 계산한다(Table 2). 이때, 장애물의 높이를 증가시키면서 선형 회귀분석을 반복하며, 결정계수가 최대가 되는 시점에서 반복을 중단하고 장애물의 높이와 조도계수 및 결정계수를 도출한다. 도출된 장애물의 높이는 분산그래프에서 변형된 매닝식의 y 절편으로 표현될 수 있다. 실제로, 이전 연구에서 수행한 실험 결과에 의하면, 관 하류부에 다양한 높이의 장애

Table 2. Linear regression using the LC method and SS method

Method	Linearization of Manning equation
Manning equation LC method	$y = v$ $a = \frac{S_o^{1/2}}{n}$ $x = R_{LC}^{2/3} = (A/P)^{2/3}$ $A = (D^2/8)(\theta - \sin \theta)$ $P = D\theta / 2$ $\theta = 2\cos^{-1}(1-2d/D)$ <p>where, A = cross section area(m²), P = wetted perimeter(m) θ = central angle(rad)</p> 
Manning equation (Modified) SS method	$y = v$ $a = \frac{S_o^{1/2}}{n}$ $x = R_{SS}^{2/3} = (A_e/P)^{2/3}$ $A_e = (D^2/8)(\theta_e - \sin \theta_e)$ $\theta_e = 2\cos^{-1}(1-2d_e/D)$ $d_e = d - d_{ob}$ <p>where, A_e = modified cross-section area(m²), θ_e = modified central angle(rad), d_e = modified depth(m)</p> 

※ Linear regression equation : $y = ax$

물을 설치하여 측정된 데이터에 SS 방법을 적용한 결과, y절편의 값이 장애물 높이와 근사한 값으로 계산 되는 것을 확인 할 수 있다(Stevens and Schutzbach, 1998).

다음으로, 수위-유량 분산그래프의 분석에는 플룸 방정식을 활용한다. 플룸 방정식은 PB(Palmer-Bowlus) 플룸의 원리를 차용한 것으로, 흐름 특성이 상류(subcritical flow) 지점의 고정된 단면에서의 측정된 수위 값으로 유량을 도출해 낼 수 있다(Ludwig and Parkhurst, 1974). 이때, 유량은 수위의 N 지수승과 계수 k의 곱으로 나타내며, 식의 표현은 아래와 같다(식 2).

$$Q = kH^N \quad (2)$$

여기서, Q =flowrate(m^3/s), k, N =flume coefficients, H =flow depth(m)

위 식을 선형 방정식으로 변형시킨 후, 수위-유량 분산그래프에 선형 회귀분석을 수행하여 플룸 계수 N 과 k 값과 결정계수를 도출한다(식 3 참조).

$$y = a + bx, \quad (3)$$

$$(y = \log Q, a = \log k, b = N, x = \log H)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 자연유하 하수흐름 특성

‘지점 1’은 중력식 하수관의 형태로 유량계 설치 지점부 말단에 인버터가 설치되어 있지 않지만, 비교적 이상적인 하수 흐름의 패턴이 예상되는 지점이다. 이 지점에서의 유량 데이터 측정 결과의 시계열 그래프는 다음 Fig. 2. (a)와 같다. 여기서, 청천일 데이터와 우천일 데이터는 앞에서 설명한 청천일 흐름 선별방법에 따라 분

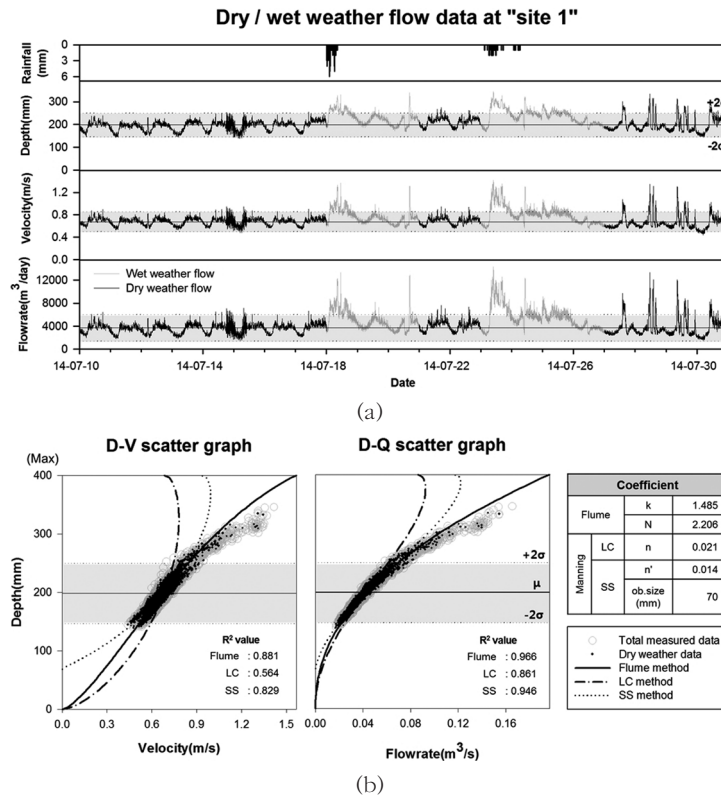


Fig. 2. (a) Observed rainfall, flow depth, flow velocity, and flowrate data in time series at “site 1” during the monitoring period (3 weeks), (b) The Depth-velocity and depth-flowrate scatter graphs with three types of model equations (flume, LC, SS).

류하였고, 그래프에서 각각 검정색과 회색 실선으로 구분하였다. 또한 회색음영으로 표시한 부분은 청천일 데이터의 95% 신뢰구간을 나타내며, 이 구간에 존재하는 수위, 유속, 유량 데이터를 활용하여 Fig. 2. (b)의 분산그래프 분석을 수행한다.

우선, 시계열 그래프에서 일 단위 하수 발생의 특징을 살펴보면 매일 일정한 패턴이 존재하며, 강우 시에는 침입수와 유입수(I/I , Infiltration/Inflow)의 영향으로 하수의 유량이 평상시 보다 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 두 번째 독립강우 발생 이후 그래프의 패턴이 일정치 않은 모습을 보이는데, 이는 강우 발생 이후 포집된 협잡물로 인한 센서부의 이상으로 추정되며 현장 모니터링 장비의 주기적인 유지관리가 필요한 것으로 파악된다.

분산그래프 분석에서는 시간흐름에 따른 변화 정도는 볼 수 없지만, 수위-유속간의 패턴 비교를 통해 하수 흐름 상태의 분석이 가능하다. Fig. 2. (b)의 우천일 하수 데이터를 나타내는 회색 원들의 분포를 보면, 수위가 증가함에 따라 유속과 유량도 비례하여 증가하며 위로 볼록한 개형을 나타내는 것을 알 수 있다. 이러한 현상이 발생하는 이유는, 맨홀부 인버터가 미설치 되어있는 지점은 관 말단에서 낙차(outfall)로 인해 수위 강하 효과(drawdown effect)가 나타나게 되는데, 이때 유량 측정부의 수위가 감소되기 때문인 것으로 해석할 수 있다(Butler and Davies, 2004). 말단부의 수위 강하 영향을 최소화하기 위해서는, 유량계를 관 내부 깊이(관경의 3배 길이)까지 삽입하여 설치해야 하지만 현장 여건상 현실적으로 어려운 점이 있다.

또한, Fig. 2. (b)에서 청천일 데이터(검정색 점)에 플룸식과 매닝식(SS , LC 방법)으로 회귀 분석을 실시한 결과는 수위(D)-유속(V) 분산 그래프와 수위(D)-유량(Q) 분산그래프 모두에서 플룸식, SS 방법, LC 방법 순으로 데이터에 일치하는 결과를 보였으며, 특히 플룸식은 수

위-유량그래프에서 R^2 값이 0.966까지 나와 데이터와 모델의 높은 상관률을 보였다. 선형 회귀분석을 통해 결정된 매개변수는 플룸계수는 $k=1.485$, $N=2.206$, LC , SS 방법을 통해 도출된 조도계수는 각각 0.021, 0.014로 결정되었다. 이때, SS 방법에서 장애물의 크기가 70 mm(y 절편)로 나타났는데, 이는 앞에서 설명한 낙차현상으로 그래프의 기울기가 완만해진 결과로 인해 계산된 결과로 보인다. 따라서 무조건적인 통계결과의 비교로 적합식을 선정하기 보다는 현장을 설명해 주는 원인을 규명한 후에 그에 해당하는 식을 선택해야 한다.

3.2 장애물 영향 하수흐름 특성

‘지점 2’에서의 유량 모니터링 데이터 측정 결과 시계열 그래프를 그려보면 Fig. 3. (a)와 같다. 지점 1에 비해 노이즈가 적고 일 단위 하수 발생 패턴이 뚜렷하게 보이므로 비교적 측정이 양호하다 할 수 있다. 현 지점에서든 마찬가지로 청천일, 우천일 데이터로 구분하였고, 특이점으로는, 강우 발생에 따라 하수의 수위는 증가하지만 그 수위 증가분에 비해 유속의 증가율이 크지 않고 오히려 청천일에 비해 감소하는 결과를 보였다.

위와 같은 현상의 원인 규명은 시계열 그래프에서 설명하기는 어렵지만, 분산그래프에서는 외부요인에 의해 나타나는 영향을 분석하기에 용이한 장점이 있다. Fig. 3. (b)와 같이 전체 측정 데이터에 나타내는 패턴을 자세히 살펴보면, 청천일 유량데이터는 수위의 약 360 mm까지는 유속, 유량이 비례적으로 증가한다. 하지만 우천일 유량데이터는 수위 360 ~ 420 mm 구간에서 불연속적으로 감소하였다가, 수위 420 mm를 기점으로 감소한 유속, 유량이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 패턴은 관의 구조적인 영향으로 인해 유량이 증가하더라도 수위가 더 이상 증가하지 못하기 때문에 발생한다. 즉, 관 하류부에 위어가 존재하여, 강우로 증가

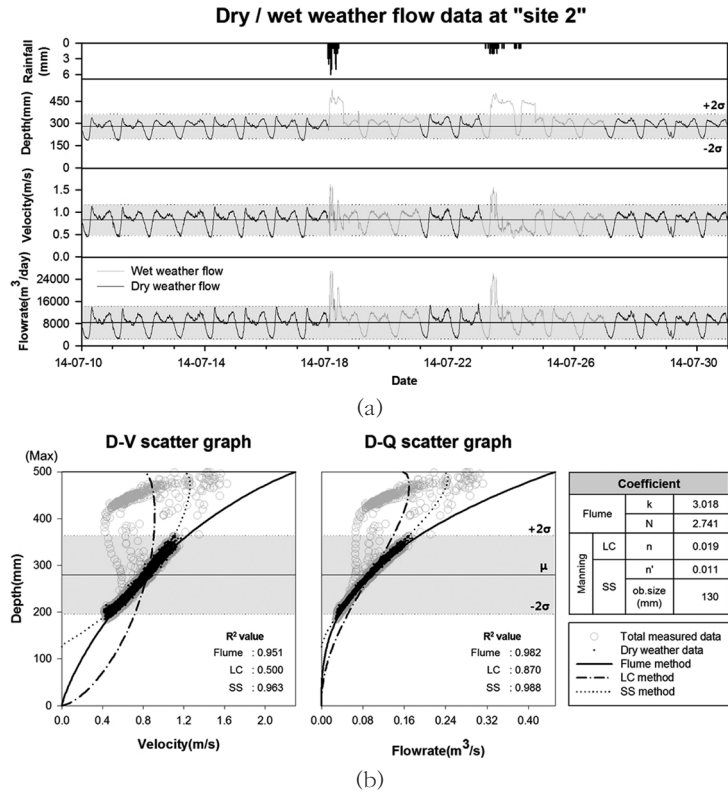


Fig. 3. (a) Observed rainfall, flow depth, flow velocity, and flowrate data in time series at "site 2" during the monitoring period (3 weeks), (b) The Depth-velocity and depth-flowrate scatter graphs with three types of model equations (flume, LC, SS).

된 수위가 위어를 넘어서게 되면 월류수(CSOs)가 발생하기 때문에 유량증가분만큼 수위가 증가하지 못하는 것이다. 반면에, 수위가 낮은 청천일에는 하수 전량이 차집관로로 유입되기 때문에 일반적인 자연유하 흐름을 나타내게 된다 (Stevens and Enfinger, 2007). 이를 통해서, Fig. 3. (b)의 분산그래프를 분석하면, 본 지점 하류부의 관 말단은 차집관로와 연결되어 있고, 높이 약 420 mm의 위어가 존재하는 것으로 추정할 수 있다.

또한, 분산그래프에서 청천일 데이터만을 이용하여 해석식에 선형 회귀분석한 결과를 비교해보면, 수위-유속, 수위-유량 그래프에서 플룸식과 SS 방법이 높은 일치율(95% 이상)을 보였다. 지점 2에서도 지점1에서와 마찬가지로, 청천시에는 수위측정값을 통해 유속, 유량의 환산이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 특히 지점 2

에서는, SS 방법을 통해 도출된 장애물의 높이 값(y 절편, 130 mm)이 크게 나온 것을 확인할 수 있었는데, 이는 하류부의 위어 구조물에 의한 배수효과와 유속의 감소로 인한 퇴적물의 영향(일반적으로 위어 구조물 앞에는 퇴적물 구간 발생)으로 판단할 수 있다. 따라서 하류부의 퇴적물 제거를 위한 유지관리 방안이 마련되어야 한다는 것을 알 수 있다.

3.3 펌프 영향 하수흐름 특성

‘지점 3’은 해석에 있어서 다른 지점들과 달리 특히 주의해야할 점이 있다. 바로 펌프의 영향인데, 상류지점에 존재하는 중계펌프의 영향으로 시계열 그래프에서 측정 데이터의 편차가 심해 자칫 계측 장비의 노이즈로 인식 될 수 있다는 점이다. 하지만, 펌프의 영향을 제외한 하수의 흐름은 비교적 일정한 패턴으로 반복되고 있음

알 수 있다. 따라서 이번 분석 과정에서는 우천일과 청천일로 구분하는 방법 이외에, 측정 데이터(raw data)와 펌프 영향을 제거한 청천일 데이터로 구분을 하여 그래프를 도출하고 분석해야 할 것이다. 우선, 펌프의 영향을 제거하기 위해 비정상적으로 수위가 급격히 증가하는 구간을 ‘펌프영향구간’으로 선별하는 과정을 거쳤으며, 이때 선별한 펌프영향구간과 우천일을 모두 제거하면, 펌프영향을 제거한 청천일 데이터를 얻을 수 있다. 이를 시계열 그래프로 표현하면 Fig. 4. (a)와 같이 나타낼 수 있다. 우천일에도 유량이 증가하는 모습을 보이지만, 펌프가 미치는 영향보다는 그 영향이 미미한 것으로 보인다. 전체 데이터를 분산그래프로 나타내면 펌프 영향 흐름에서만 볼 수 있는 특이한 패턴을 보이는데, 수위는 증가하지 않고 유속만 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 중력에 의해서만 가

속되는 자연유하식 흐름에서는 볼 수 없는 현상으로, 펌프 가동에 의한 홍수파가 발생하게 되고 하류로 흘러감에 따라 점점 그 파장이 길어지고 파고가 낮아지는 특성인 강하현상을 보인다. 따라서, 펌프 지점으로부터 약 1.5 km의 유달거리를 전파되어 오는 동안 수위 강하로 인해 지점의 수위는 증가하지 않고 유속만 증가하게 되는 것이다. 또한 펌프영향을 제거한 청천일 데이터로 선형 회귀분석을 수행하면, 팔목할만한 결과가 도출되는데, 수위-유량 분산그래프에서의 R^2 값이 모두 0.999가 나와 데이터와 거의 일치한다고 말할 수 있다. 또한 LC, SS 방법의 조도계수가 모두 0.010로 매끈한 관에 해당하는 값이 도출되었으며, 장애물은 존재하지 않았다. 이는, 지속적으로 얇고 빠른 유속으로 인해 관내가 마모되고, 퇴적물이 쌓일 수 있는 환경이 조성되지 않았기 때문으로 추정된다.

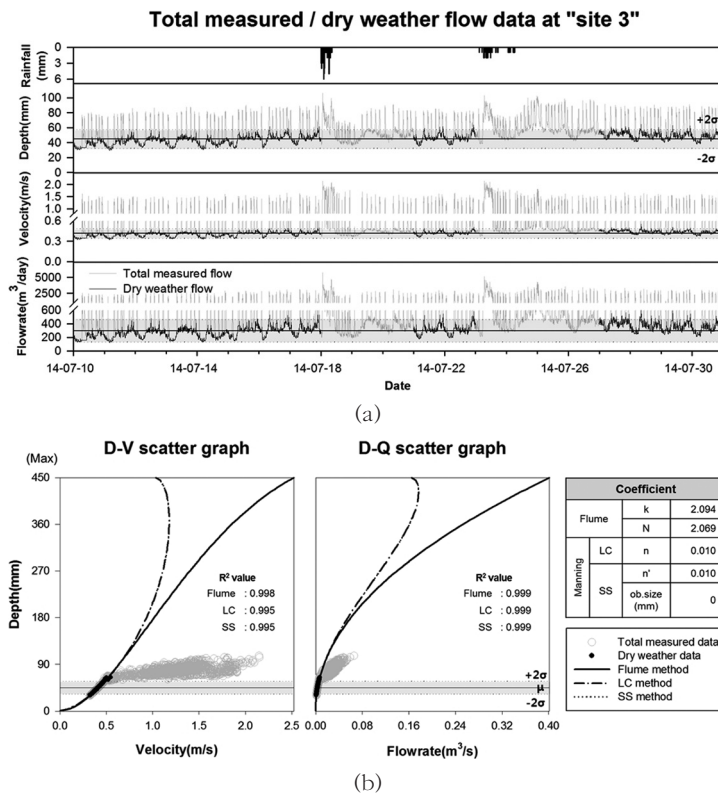


Fig. 4. (a) Observed rainfall, flow depth, flow velocity, and flowrate data in time series at "site 3" during the monitoring period (3 weeks), (b) The Depth-velocity and depth-flowrate scatter graphs with three types of model equations (flume, LC, SS).

4. 결론

본 연구에서는, 중장기 모니터링 데이터를 획득하기 위한 지점 선정의 전초단계로서 한 달 간의 모니터링 데이터를 활용하여 해당 지점의 흐름 유형을 분석하고, 현장 상황에 기초한 교란 인자를 파악하는 과정을 소개하였다. 상호 비교가 가능하고 수리학적인 특성이 나타날 것으로 예상되는 세 개의 지점을 선정하고, 각 지점에서의 유량 모니터링 데이터를 활용하여 시계열 그래프와 분산그래프를 도출 하였으며, 그래프를 통해 하수흐름 특성을 정성적, 정량적으로 분석하였다.

- 1) 단기간 유량데이터를 활용한 분산그래프 분석에서, 자연유하식 흐름인 ‘지점 1’과 ‘지점 2, 3’에서의 흐름 패턴의 차이를 비교하여 외부 영향인자의 발생특성을 분석할 수 있었다. 먼저, 비교적 안정적인 흐름 특성을 보인 ‘지점 1’에서는, 말단부의 낙차현상이 다소 존재하는 것을 알 수 있었으며, 이와 비교하여 ‘지점 2’에서는 위어로 인해 발생하는 두 가지 외부요인(CSOs의 발생, 위어에 의한 배수효과)의 영향이 뚜렷하게 나타났으며, 하류부 장애물의 높이는 130 mm로 위어에 의한 배수효과가 상당한 것으로 분석되었다. 또한, ‘지점 3’에서는 상류부의 중계펌프장으로부터 야기되는 외부 교란으로 인해, 자연유하식 흐름과는 구별되는 특정한 패턴의 흐름이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 유량 모니터링 데이터에서 청천일 데이터를 분류하고 분산 그래프를 도출하여 회귀 분석을 하였을 때, 데이터에 대해 플룸식과 SS 방법에서 95%이상의 높은 적합도를 보였기 때문에, 해석식의 대표성을 확보할 수 있었다. 다시 말해, 이때 결정된 식과 도출한 계수를 활용하면, 각 지점간의 흐름 상태에 대한 상호비교가 가능하며, 추후에 수위 모니터링 데이터의 계측만으로도 유량

의 환산이 가능할 것이다.

사 사

본 연구는 환경부 “차세대 에코이노베이션기술개발사업 (과제번호 414-111-006)”으로 지원받은 과제입니다. 이에 감사드립니다.

References

- Butler, D. and J. Davies (2004). *Urban drainage*, pp.163-164 CRC Press.
- Chapra, S. C. (2012). *Applied numerical methods*, McGraw Hill, New York.
- Enfinger, K. L. and H. R. Kimbrough (2004). Scattergraph Principles and Practice: A Comparison of Various Applications of the Manning Equation, *Proceedings of the Pipeline Division Specialty Conference*.
- Lanfear, K. J. and J. J. Coll (1978). Modifying Manning's Equation for Flow Rate Estimates, *Water and Sewage Works* 125(3).
- Ludwig, R. G. and J. D. Parkhurst (1974). Simplified application of Palmer-Bowlus flow meters, *Journal (Water Pollution Control Federation)*: 2764-2769.
- Ministry of environment (2008). Standard manual for estimating sewer I/I(infiltration and inflow)
- Ministry of environment (2009). Sewer flowmeter Installation and Maintenance manual
- Stevens, P. L. and K. L. Enfinger (2007). Scattergraph Principles and Practice: Characterization of Sanitary Sewer and Combined Sewer Overflows, *Pipelines* 2007: 1-15.
- Stevens, P. L. and H. M. Sands (1995). Sanitary Sewer Overflows Leave Telltale Signs in Depth-Velocity Scattergraphs, *Seminar Publication, Citeseer*.
- Stevens, P. L. and J. S. Schutzbach (1998). New Diagnostic Tools Improve the Accuracy of the Manning Equation, *Proceedings of the Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference*.