Journal of the Korean Society of Water and Wastewater
Vol. 20, No. 2, pp. 295-302, 2006

상하수도학회지, 논문
20권 2호, pp. 295-302, 2006

입경분포 분석을 활용한 합류식 하수관거 월류수(CSO) 오염물질 침강성 예측

Application of Particle Size Analysis to Predict the Settleability of CSO Pollutants

윤현식[1] · 이두진[2,*] · 박영숙[3]

Yoon, Hyun Sik[1] · Lee, Doojin[2,*] · Park, Young Suk[3]

1 환경관리공단
2 한국수자원공사 수자원연구원
3 강남대학교 도시건축공학부

(2006년 2월 20일 논문 접수; 2006년 4월 14일 최종 수정논문 채택)

Abstract

Over the past decades, a flocculation and/or sedimentation process have been adopted to remove pollutants from CSOs. It has been learned that major factors affecting settlement of pollutants are the particle size distribution, their settling velocities and their specific gravity. It is, therefore, a good idea to analyze the particle size distribution and settleability of CSOs pollutants in order to develop details in designing a process. Discussed in this study are pollutant characteristics of CSOs such as particle size distribution and settleability of pollutants. The power law function is applied and is found to be an effective and reliable index for expressing the particle size distribution of pollutants in CSOs. Based on the regression analysis it is observed that the derived constants of curves representing settling velocity profile are proportional to the initial concentration of particles and to the β-values of power law distributions.

Key words: CSOs; particle size distribution; power law function; settleability; settling column test; settling velocity

주제어: 합류식 하수관거 월류수, 입경분포, power law 함수, 침전성, 침전시험, 침전속도

1. 서 론

합류식 하수도는 건기시에는 관거말단의 우수토실(Regulator)에서 차집관거로 일반하수가 유도되어 하수처리장으로 유입되고, 강우시에는 우수토실로 차집되지 않는 설계치 이상의 관거유출수(하수+강우유출수)가 직접 방류선(하천, 저수지, 해양 등)은 월류되도록 구성되어 있다. 강우 초반부에 발생하는 월류수에는 지표면에 쌓여 있던 각종 오염물질과 관거내

*Corresponding author Tel: +82-42-860-0397, FAX: +82-42-860-0399, E-mail: djlee@kowaco.or.kr (Lee, D.J.)

퇴적물이 일시에 혼합되어 일반하수에 비해 매우 고농도의 오염물질이 유출됨으로서 방류선 수체의 오염피해사례가 여러 곳에서 나타나고 있다.

합류식 하수관거 월류수의 발생특성, 성상, 처리기술 등과 관련된 많은 연구가 진행 중에 있으며 특히 입자성 오염물질의 침강특성 및 입경분포에 대한 연구가 미국과 유럽을 중심으로 활발히 진행되어 왔다. Chebbo 등(1992)은 강우시 유출수내 부유성 고형물에 대한 분석을 실시하여, 중량기준으로 분포 고형물질의 대부분(66～85%)이 100μm 이내에 포함되고, 25～44μm 입경범위까지 침전제거시(평균 침전 속도: 4～11m/hr) 전체 오염 부하기준의 69～87% (CODcr 기준)까지 제거가 가능한 것으로 보고하였다. Milne 등(1996)은 합류식 관망내에서 조대 고형물과 관거 퇴적물간의 상호 영향을 규명하고자 입경분포 결과를 해석하였으며, Becker 등(1996)은 강우유출수의 경우 입자상 CODcr, phosphorus의 대부분이 침전속도 0.04～0.9 cm/sec 범위에 해당하는 것으로 분석하였다. 이외에 Chancelier 등(1998)은 침전시험방법별로 오염물질의 침강성을 수학적으로 표현한 모델을 제안하였다. 한편 이 등(2005)은 도로유출수를 대상으로 입경분포를 분석한 결과 평균 입경값의 범위가 6.7～23μm였으며, 한 등(2002, 2003)이 정수처리 공정에서의 플럭 입경 변화특성을 연구하는 등 국내에서도 입경분포에 대한 관련연구가 꾸준히 지속되고 있다. 이와 같이 입자성 오염물질의 침전특성과 관련된 연구가 지속적으로 관심을 끄는 것은, 강우시 오염부하에서 입자성 오염물질이 차지하는 비중이 크고, 이들 입자의 침전성을 이용한 물리 화학적 처리공정이 주된 처리공정으로 활용되고 있기 때문이다.

본 연구에서는 합류식 하수관거 월류수내에 포함된 입자성 오염물의 입경분포, 침강특성 등을 측정하고 상호 결과에 대한 회귀분석을 통하여 월류수 오염물질의 침강성 예측방안에 대하여 고찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 조사 대상지역

조사 대상지역은 서울시 중랑처리구역 소재 단위배수분구로서 배수분구 유역의 집수면적은 169.7ha이며, 이 가운데 75%(개발불능지 포함기준)에 해당되는 지역이 전형적인 주거지역으로 구성되어 있다. 대상지역의 하수배제 방식은 합류식이며, 매설된 하수관거는 총 42km로 대부분이 원형 콘크리트관으로 구성되어있다. 시료채취 지점은 빗물배수 펌프장과 방류하천 사이에 위치한 우수토실과 하천을 연결하는 배수로이며, 우수토실은 상부가 철제격자의 하수유입부, 하부의 침사조 및 차집관거 연결관으로 구성되어 있다. 시료채취는 강우사상별로 월류 발생 후 약 30분이내의 초기세척(first flush) 기간에 해당되는 시료로 한정하여 임의채취한 후 분석하였다.

2.2 입경분포 분석

일반적으로 입경분포 분석방법은 관측기법(Observation measurement techniques)과 분리분석기법(Separation measurement techniques)으로 나눌 수 있다. 관측기법에는 Light scattering, Laser light

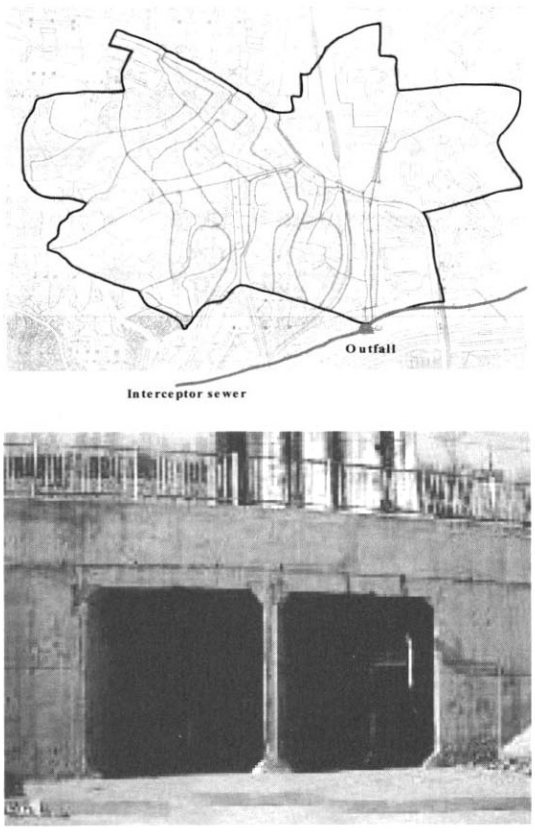


Fig. 1. Sewer map and sampling site of study area.

diffraction, Doppler shifted laser light, Resistance change, Geometric blockage, Ultrasonic spectroscopy 등이 있으며, 입경의 신속한 측정에 이용된다(Levine et al., 1992). 분리분석 기법은 오염물질의 입경별 물리 · 화학적 특성을 측정하는데 이용되며 이에는 침전, 원심분리, 막여과, 체거름, Field-flow fractionation 및 Gel filtration chromatography 등이 해당된다(Levine et al., 1992). 본 연구에서는 시료중 오염물질의 연속적인 입경분포 특성해석을 위하여 관측기법 중 레이저 회절 측정법을 이용하였다. 레이저 회절 입경측정기는 일본 Shimadzu사의 모델 SALD-2001이며, 측정 범위는 0.03～700μm이고, 광원은 semiconductor laser 형식으로 680nm 파장의 빛을 조사하게 된다.

수중에 존재하는 입자는 크기와 형상이 매우 불규칙하게 존재하며, 각 입자는 개별 또는 합체로 거동한다. 처리공정 중 침전과 응집공정에서는 이러한 입자의 특성과 거동이 매우 중요한 영향인자이며, 수중에 존재하는 입자의 입경분포 양상을 수학적인 해석을 통하여, 정규분포, 로그-정규분포, Rosin-Rammler 분포, Power-law 분포 등으로 일반화 할 수 있다. Power-law 분포는 그 동안의 여러 연구를 통하여, 수중의 입경분포 특성 및 처리공정에서의 분포특성 변화를 가장 잘 표현하고 있는 함수로 제시된 바 있다(Lawler et al., 1980). 수중의 무수히 많은 입자들의 입경분포는 입경구간과 빈도의 확률분포 함수로 표현된다. 입자의 총 갯수를 N이라하고, 입경구간 D_p～D_p+dD_p의 입자갯수를 dn이라고 할 때, 입경분포 함수(Particle size distribution function, $f(D_p)$)는 다음 식(1)과 식(2)와 같이 정의한다(Linoya, et al., 1986).

$$f(D_p) = \frac{1}{N}\frac{dn}{dD_p} \qquad 식(1)$$

$$\int_0^\infty f(D_p)dD_p = 1 \qquad 식(2)$$

Power-law 함수는 $dn/dD_p = A \cdot D_p^{-\beta}$로 이를 식 (1)에 대입하면 식 (3)과 같이 표현된다.

$$f(D_p) = \frac{A}{N} \cdot D_p^{-\beta} = \overline{A} \cdot D_p^{-\beta} \qquad 식(3)$$

여기에서 양변에 Log를 취하면,

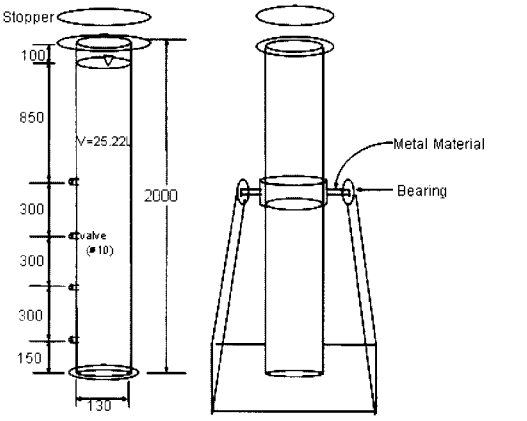


Fig. 2. Schematic diagram of settling column.

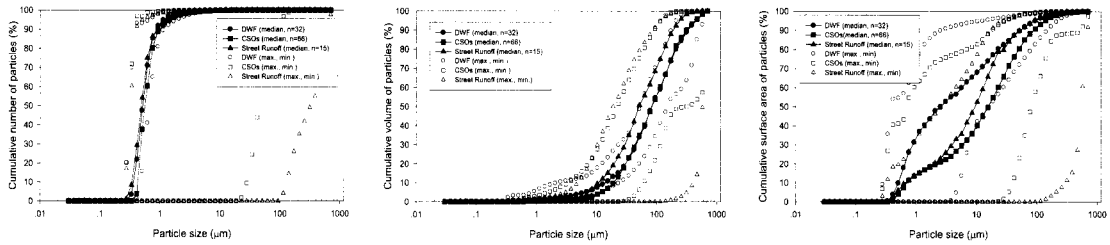
$$\mathrm{Log}(f(D_p)) = \mathrm{Log}(\bar{A}) - \beta \cdot \mathrm{Log}(D_p) \qquad 식(4)$$

여기에서 $\bar{A}$는 시료의 농도와 관련된 상수이며, β는 분포함수의 기울기로 분포함수를 특징짓는 계수로 이용된다. Power law 함수는 함수의 특성상 D_p가 1을 기준으로 β값의 증감에 따라 d_n/dD_p가 달라지게 된다. 즉 1을 기준으로 1보다 작은 입경부분에는 β가 증가하면 상대적으로 미세입경 입자 비율이 커지는 반면에, 1보다 큰 입경부분에서는 거대입자 비율이 작아지게 된다.

Kavanaugh 등(1980)은 자연수계와 하수를 대상으로 β수치가 1.8～5.0임을 제시한바 있으며, Neis 등(1997)은 하수 처리장의 1차 및 2차 처리수를 대상으로 분석한 결과 1.0～1.4의 범위로 분석한바 있다.

2.3 침강실험

일반적으로 시료의 성상 및 실험목적에 따라 고형물질의 침강속도를 측정하는 방법은 크게 두 가지가 있다. HSM(Homogeneous Suspension Method)은 측정 시작 시점에서 컬럼 전체에 균일한 농도를 유지한 후 침강을 유도하는 방법으로 침강실험에 가장 널리 활용되고 있는 방법이다. FLM(Floating Layer Method)은 통상 시료부와 침강부를 달리하여 구성한다. 시료부에서 시료중의 고형물이 균일하게 분포된 층을 형성시킨 후 침강부의 액중(보통 청정수)으로 고형물이 침강하게 되며, 침강후 침강부 말단으로 모인 고형물의 분율과 침강속도와의 상관관계를 도출하



a) number b) volume c) surface area

Fig. 3. Cumulative frequency of particle.

게 된다(Aiguier et al., 1996). 본 연구에서는 시료중 고형물질에 대한 침강속도를 측정하기 위하여 HSM 측정방법을 적용하였다. 침강실험시의 시료 채취는 컬럼 하단부로 부터 30cm 간격의 등간격으로 4곳에 채수밸브를 통하여 이루어 졌으며, 시료채취 시간은 예비 실험을 통하여 0, 5, 10, 30, 60, 120분으로 선정하였다. 채취된 시료는 CODcr, SS 수질항목별로 채취 즉시, Standard Method(APHA, 1995) 준하여 모든 수질분석을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 합류식 하수관거 월류수의 오염물질 입경분포 특성

레이저 회절 측정법으로 합류식 하수관거 월류수, 건기하수, 강우시 지표유출수 각각에 대한 오염물질 입경분포 분석결과를 **Fig. 3**에 도시하였다. **Fig. 3**에서 가로축은 구간이 로그축적인 μm단위이며, 세로축은 해당 입경별 입자개수(a), 입자부피(b), 표면적(c)의 빈도(frequency, %)를 누적하여 나타낸 것이다.

입자개수 빈도분석 결과, 시료종류별 입경 중앙값(median)은 건기하수 및 지표유출수에서 0.5μm, 합류식 하수관거 월류수 0.6μm으로 유사하였으나, 입경범위(최소~최대)는 건기하수에서 0.3~0.6μm, 합류식 하수관거 월류수는 0.3~45μm, 지표유출수 0.3~313μm로 합류식 하수관거 월류수와 지표유출수에서 매우 큰 변동을 보였다. 이는 강우시 지표면의 토사 등이 일시에 씻겨 내려 빗물에 섞이고, 건기시 퇴적된 고형물질이 재부상하여 거대입자들과 혼합됨으로써 입경분포가 다양해진 것으로 추측된다. 또한 이

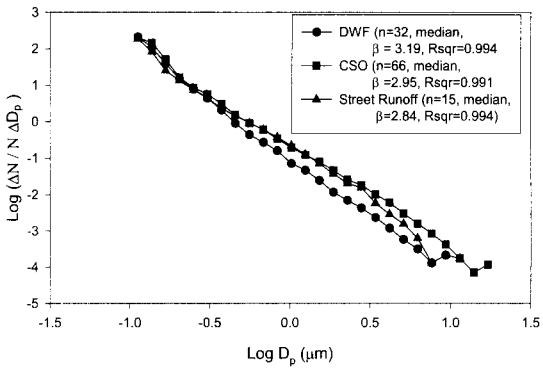
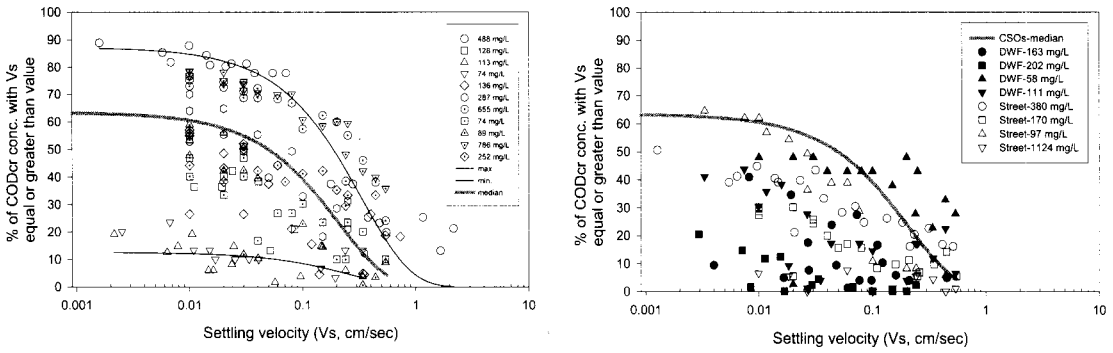


Fig. 4. Power law distributions of particle numbers. (n: number of samples, Rsqr: coefficient of determination)

등(2005)의 연구결과와 유사하게 강우조건에 따라 입경분포가 심하게 변동되는 것으로 나타났다.

입자의 부피와 표면적에 대한 빈도는 입자개수 빈도곡선과는 다른 양상을 보여주고 있는데, 이는 입자의 부피가 입자직경의 세제곱, 표면적이 제곱에 비례하여 재계산되므로서 얻어진 결과로 판단된다. 입자의 부피빈도 분석에서는 건기하수와 합류식 하수관거 월류수의 중앙값이 85μm이고, 지표유출수는 이보다 작은 50μm로 나타났다. 한편, 입자의 표면적 빈도곡선에서는 건기하수가 2.5μm, 합류식 하수관거 월류수에서 15.3μm, 지표유출수가 9.0μm로 각각 분석되었다.

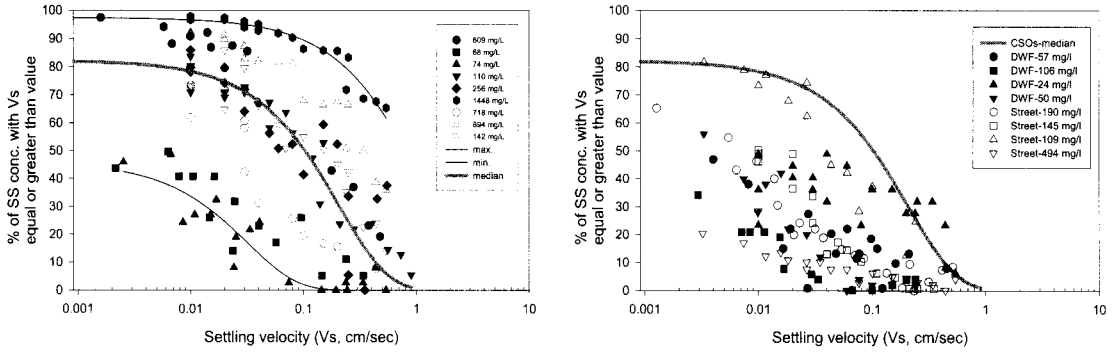
건기하수, 지표유출수 및 월류수에 대한 입자개수 측정결과를 전술한 Power-law 함수를 이용하여 입경분포 특성을 분석하였다. Power-law 함수에 의한 입자 개수자료의 상관계수 R^2 값은 0.991~0.994로 자료의 상관성을 잘 표현하고 있는 것으로 판단되며 이 중 중앙값(median)에 해당되는 자료를 **Fig. 4**에 도시하였다. 입경분포 함수의 기울기에 해당하는 β값은



(a) CSOs

(b) CSOs-median, DWF, Stormwater runoff

Fig. 5. Settling velocity grading plots for CODcr.



(a) CSOs

(b) CSOs-median, DWF, Stormwater runoff

Fig. 6. Settling velocity grading plots for SS.

건기하수가 3.19, 지표 유출수에서 2.84, 합류식 하수관거 월류수가 2.95로 분석되었다. β값이 작을수록 입경이 큰 입자가 상대적으로 많은 비율을 차지하는 것을 의미하므로, 예상된 바와 같이 합류식 하수관거 월류수와 지표유출수중에 조대입경을 가진 고형물질이 많음을 알 수 있었다.

3.2 오염물질 침강 측정결과

침강 실험결과는 시간 간격을 두고 침전컬럼 깊이별로 채취 · 측정된 수질농도 결과(CODcr, SS)를 이용하여, 가로축은 침강속도(cm/sec)를 로그축적으로 표시하고 세로축은 침강 최초농도에서 주어진 침강속도와 같거나 큰 농도비율을 %(침강속도 제거비율)로 하여 **Fig. 5**과 **Fig. 6**에 나타내었다. 또한 합류식 하수관거 월류수와 건기하수 및 지표유출수의 침강양상을 상호비교가 용이하도록 합류식 하수관거 월류수에 대한 전체 침강측정 결과(**Fig. 5, 6**의 (a))와 합류식 하수관거 월류수 침강결과의 중앙값 곡선 및 건기하수, 지표 유출수 침강측정 결과(**Fig. 5, 6**의 (b))를 구분하여 제시하였다.

전반적으로 합류식 하수관거 월류수 오염물질의 침강속도가 강우사상별로 매우 상이한 결과를 나타내어 침강속도 제거비율의 범위가 넓었고, 합류식 하수관거 월류수의 오염물질 중앙값 곡선보다 건기하수 및 지표 유출수 침강속도가 전반적으로 하회하는 양상을 보여 주었다. 이는 합류식 하수관거 월류수의 침강제거가 건기하수 및 지표 유출수 보다 큰 표면부하율과 짧은 체류시간에도 제거가 가능한 것을 의미하며, 관거퇴적물의 재부유에 의한 오염물질이 많은 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다.

CODcr와 SS는 농도 대비 침강속도 변화가 유사한 경향 즉, 실험 시작 초기농도가 높을수록 침강속도 제거비율이 높았으며, 침전으로 제거되는 SS는 초기농도와 비례한다는 Randall 등(1982)의 연구결과와

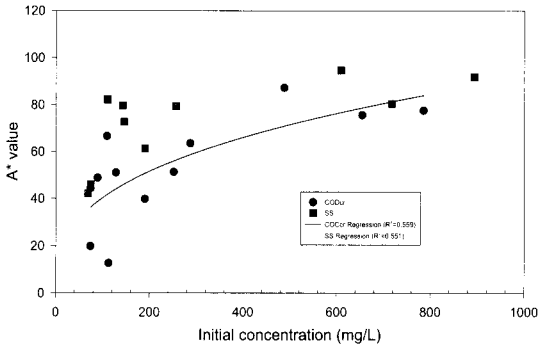


Fig 7. Relationship between initial concentration and A* value for CODcr, SS.

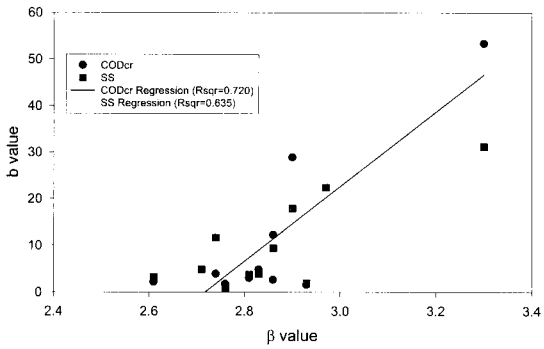


Fig. 8. Relationship between β and b value for CODcr, SS.

같은 경향을 보여 주었다.

각 시료종류별로 침강속도 제거비율을 비교평가하기 위하여, 침강속도를 일정한 기준(0.1cm/sec)에 고정하고, 건기하수, 합류식 하수관거 월류수 및 지표유출수의 수질항목별 침강속도 중앙값을 적합시켜 해당값을 구하였다. 침강속도별 제거비율이란 특정 침강속도(cm/sec)보다 같거나 큰 비율(%)을 말하며, 침강컬럼 시험에서 침강에 의하여 제거되는 비율을 의미한다. CODcr의 경우 침강속도 0.1cm/sec를 기준으로 각 시료를 보면 건기하수는 10%인 반면, 합류식 하수관거 월류수의 경우 약 40%, 지표유출수가 약 20% 정도로 분석되었다. SS는 합류식 하수관거 월류수가 약 50%, 지표유출수가 20%로 분석되었다.

3.3 오염물질 침강속도 함수와 입경분포 함수를 이용한 침강예측

오염물질 침강함수를 유도하기 위하여, 측정된 자료에서 독립변수를 침강속도(cm/sec), 종속변수를 침강 누적비율(%)로 하여, 각기 비선형 회귀분석(nonlinear regression analysis)을 수행하였다. 분석에 이용된 함수는 **Fig. 5, 6**에서 실선으로 표시된 예와 같이 지수감소 함수(exponential decay function)인 $y = A^* \cdot \exp(-b\chi)$ 형태로서, 계수 A*와 b는 침강속도 곡선의 형태를 표현한다. A*계수는 y축의 절편 즉, 침강속도 0에 근접할 때의 비율을 표현하며, b계수는 곡선의 기울기를 의미한다. 통상 침전에 의한 전체 제거효율을 구하기 위해서는 해당 침강속도를 기준으로 곡선의 적분형태로 구하게 된다.

회귀분석에 따른 R^2 값을 보면 전반적으로 높은 수치를 나타내고 있으며, 이중 약 70% 정도가 0.800~0.999를 나타내고 있다. 이는 기존의 합류식 하수관거 월류수 오염물질의 침강속도 관련 연구 등(Theroux et al., 1959, Smith, 1968)에서 제시한 바 있는 지수감소 함수가 침강속도 곡선을 표현하는데 적합하다는 결과와 일치함을 보여주고 있다.

Fig. 7은 합류식 하수관거 월류수를 대상으로 침강시험의 초기농도와 침강속도 곡선의 A*계수와의 상관관계를 분석한 결과이다. 비선형 곡선으로 회귀분석시 R^2값이 CODcr에서 0.559, SS에서 0.551의 상관도를 보여주었다. **Fig. 8**은 전술한 입경분포 분석에서 제시한 Power-law 입경분포 함수의 β값과 침강속도 곡선의 계수 b값을 선형으로 회귀분석시의 결과로 R^2값은 CODcr이 0.720, SS가 0.635로 분석되었다.

Table 1. Regression equations for initial conc., A*, β, b values

Parameter	Initial conc. and A* value	and b value	Constants from the study
CODcr	$A^* = C_1 \cdot CODcr_{(t=0)}^{(C2)}$	$b = C_3 + C_4\beta$	C_1 : 7.855, C_2 : 0.355 C_3 : -218, C_4 : 80.21
SS	$A^* = C_1 \cdot SS_{(t=0)}^{(C2)}$	$b = C_3 + C_4\beta$	C_1 : 31.46, C_2 : 0.159 C_3 : -114, C_4 : 43.59

note) CODcr, $SS_{(t=0)}$: Initial concentration at settling column test

이러한 상관관계성은 결국 초기농도가 높을수록 높은 침강제거효율을 얻을 수 있음을 의미하며, 입경 분포 특성 즉, β값에 따라 침강 제거양상이 상이할 수 있음을 의미한다. 또한 이러한 상관분석 결과를 이용하여 채수된 시료의 초기농도와 동일 시료에 대한 입경분포 결과(β값)를 사전에 분석하면 침강속도 곡선의 예측과 나아가 침전공정의 제거효율 까지도 추산할 수 있음을 의미한다.

Table 1에서는 전술한 상관분석 결과를 수식으로 나타낸 것이다. 여기에서 CODcr(t = 0)과 SS(t = 0)는 침강컬럼 시험실 초기농도를, β는 시료에 대한 Power-law 입경분포 함수의 계수를, b는 침강곡선의 기울기를 나타낸다. 본 결과는 해당지역에서 채수한 시료에 국한된 특성결과이므로 시료의 종류 및 지역에 따라 상수값이 다소 변동할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 합류식 하수관거 지역을 대상으로 강우시 발생하는 월류수의 오염물질 입경분포, 침전특성 등을 건기하수, 지표유출수와 비교 분석하였으며, 그 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 레이저 회절 측정법으로 측정된 합류식 하수관거 월류수 오염물질의 입경분포 결과(중앙값 기준) 건기하수 및 지표유출수는 0.5μm, 합류식 하수관거 월류수는 0.6μm이었으며, 입자의 부피빈도 분석에서는 건기하수와 합류식 하수관거 월류수의 중앙값이 85μm이었고, 지표유출수는 이보다 작은 50μm로 나타났다. 입자의 표면적 빈도분석에서는 건기하수가 2.5μm, 합류식 하수관거 월류수에서 15.3μm, 지표유출수가 9.0μm로 나타났다.

2. 건기하수, 지표유출수, 월류수에 대하여 Power-law 함수를 이용한 입경분포 특성분석을 수행한 결과, Power-law 함수에 의한 자료의 상관계수 R^2 값은 0.991~0.994로 자료의 상관성을 잘 표현하고 있는 것으로 나타났으며, 특성계수 β값은 건기하수가 3.19, 지표 유출수 2.84, 합류식 하수관거 월류수가 2.95로 분석되었다.

3. 침강실험에서 CODcr의 경우는 침강속도 0.1 cm/sec를 기준으로 건기하수의 침강제거효율은 10%인 반면, 합류식 하수관거 월류수는 약 40%, 지표유출수는 약 20%로 나타났다. SS의 경우에는 합류식 하수관거 월류수가 약 50%, 지표유출수가 20%로 분석되었다. 또한 지수감소함수가 CODcr와 SS의 침강곡선을 잘 표현하고 있는 것으로 나타났다.

4. 침강실험 결과와 입경분포 결과의 상관관계 분석을 통하여, 침강시험 초기농도와 침강속도 곡선의 계수 A*, 침강속도 곡선의 b계수와 입경분포 곡선의 특성계수 β계수와의 비례관계를 도출할 수 있었다. 이러한 결과로부터 입경분포 분석을 통하여 침강속도 곡선을 예측하고 나아가 침전공정의 제거효율도 추산할 수 있을 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 이준호, 조용진, 방기웅 (2005) 강우시 도로유출수 수질특성 및 입경분포, *대한환경공학회지*, **27**(7), pp. 777-784.
2. 한무영, 김충일, 이일룡, 전화조 (2002) Particle Counter를 이용한 정수장 침전지의 진단 및 개선, *대한상하수도학회 한국물환경학회 2002 공동추계학술발표회*, 대구, G89-G92.
3. 한무영, 김진호, 김충일 (2003) 플록의 크기를 이용한 최적교반 강도의 결정, *대한상하수도학회 한국물환경학회 2003 공동추계학술발표회*, 부산, A45-A48.
4. Chebbo, G. and Bachoc, A., (1992) Characterization of suspended soilds in urban wet weather discharges, *Wat. Sci. Tech.*, **25**(8), pp. 171-179.
5. Milne, D. A., Jefferies, C., and Ashley, R. M., (1996) Pollutional aspect of gross soild and their interaction with sewer sediments, *Wat. Sci. Tech.*, **33**(9), pp. 31-37.
6. Becker, F. A., Hedges, P. D., and Smission, R. P. M., (1996) The distribution of chemical constituents within the sewage settling velocity grading curve, *Wat. Sci. Tech.*, **33**(9), pp. 143-146.
7. Chancelier, J. P., Chebbo, G., and Lucas-Aiguier, E. (1998) Estimation of settling velocities, *Wat. Res.*, **32**(11), pp. 3461-3471.
8. Levine, A. D., Tchobanoglous, G., and Asano, T. (1992) Particulate contaminants in wastewater: A comparison of measurement techniques and reported particle size distribution, *J. Fluid particle separation*, **4**(7), pp. 89-106.
9. Aiguier, E., Chebbo, G., Bertrand-Krajewski, J-L., Hedges, P. D., and Tyack, N. (1996) Methods for determing the settling velocity profiles of solids in storm sewage, *Wat. Sci. Tech.*, **33**(9), pp. 117-125.

10. Lawler, D. F., O Melia, C. R., and Tobiason J. E. (1980) Integral water treatment plant design: from particle size to plant performance, In M.C. Kavanaugh & J. Leckie, eds., *Particulates in water*. Advan., In Chem. Ser. No. 189, American Chemical Soc., Washington, D.C..
11. Linoya, K., Gotoh, K., and Higashitani, K. (1986) *Poweder Technology Handbook*, Marcel Dekker Inc.
12. Kavanaugh, M. C., Tate, C. H., Trussell, R. R., and Trussel, G. (1980) Use of particle size distribution measurements for selction and control of solid/lquid separation processes, In M.C. Kavanaugh & J. Leckie, eds., *Particulates in water*, Advances in Chemistry Series, 189. American Chemistry Society, Washington, D.C..
13. Neis, U. and Tiehm, A. (1997) Particle size analysis in primary and secondary waste water effluents, *Wat. Sci. Tech.*, **36**(4), pp 151-158.
14. Randall, C. W., Ellis, K., Grizzard, T. J., and Knocke, W.R. (1982) Urban runoff pollutant removal by sedimentation, *Proc. of the conference on stormwater detention facilities*, ASCE.
15. Theroux, R. J. and Betz, J. M., (1959) Sedimentation and preaeration experiments at Los Angeles, *Sewage and Industrial Wastes*, **31**, pp. 1259.
16. APHA, AWWA and WEF (1995) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th edition.
17. Smith, R., *Preliminary design of simulation of conventional wastewater renovation systems using the digital computer*, US EPA Report, 1968.