

세사 투입에 따라 형성된 플럭의 물리적 특성

Effects of ballasting Agent (Microsand) on Physical Floc Characteristics

류재나 · 임윤대 · 오재일 *

Jaena Ryu · Yoondae Lim · Jeill Oh *

중앙대학교 건설환경공학과

(2010년 8월 6일 접수 ; 2010년 9월 6일 수정 ; 2010년 9월 10일 채택)

Abstract

Chemical coagulation destabilizes colloidal particles so that particles grow to larger flocs. Solid particles are then removed by solid-liquid separation after typical precipitation. Rapid precipitation enhances the separation by reducing the precipitation time with larger and denser particles. Conventionally, polyelectrolyte compounds (polymers) function as a flocculant aid by introducing a interparticle binding, which increases the particle size and density. And more recent ballasted flocculation adds a ballasting agent (microsand) to form denser particles with its high-density($sp\ gr=2.65$). The current research was to evaluate the manner in which ballasted flocs are formed under different injection timings of microsand and to recognize the effects on floc formation. $FeCl_3$ as a coagulant, anionic polymer for a flocculation aid and microsand were used for the floc formation. Floc size (diameter) was widely ranged with the highest mean value when microsand was injected between $FeCl_3$ and polymer. Mean floc density was larger when the floc formed smaller. Settling velocity increased with larger floc size, whilst not significantly affected by the timing of microsand injection. The additional slow mixing on floc formation increased floc size to some extent.

Key words : microsand, floc size, floc density, floc settling velocity

주제어 : 세사, 플럭 크기, 플럭 밀도, 플럭 침강속도

1. 서론

일반적으로 하수의 처리는 미생물을 활용한 생물학적 방법으로 수행되며, 응집·침전 반응과 같은 화학적 처리방법의 적용은 우천시 미처리 하수의 처리, 하수의 인 제거, 만류수의 처리 등에 제한적으로 적용되고 있는 실정이다. 전통적으로 화학적 응집·침전 반응은 주로 쉽게 침전되지 않는 콜로이드 입자를 제거하기 위해 응집제 및 응집보조제

투입을 통한 플럭(floc)을 형성(응집(coagulation)·응결(flocculation) 과정을 거쳐 형성된 플럭)하고 중력식 침전 과정을 통해 고액분리 시키는 방법을 일컫는다. 한편 입자 분리(solid-liquid separation) 방법에는 침전, 여과, 압착, 원심분리 등의 여러 가지 고액분리 방법이 사용되며, 고액분리효율을 결정하는 주요한 인자로는 형성된 플럭의 크기, 밀도 등이 있다. 특히 침전에 의한 고액분리 방법에서 형성된 플럭 자체를 빠르게 침전시키기 위해 세사(microsand)

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

를 보조적으로 투입하고 응집제 투입을 통해 형성된 미세 플럭과 결합(Ballasted particle flocculation)시켜 침전속도를 증가시켜 처리효율을 개선하고자 하는 방법이 점차 보편화 되고 있는 실정이다(Metcalf and Eddy, Inc., 2004).

침전시간을 감소시키기 위해서는 플럭의 크기와 밀도가 커서 침강속도가 빠른 플럭을 형성함이 필수적이다. 크기 및 밀도가 큰 플럭을 형성하기 위해서는 하수에 응집제(Alum 계열, Ferric 계열) 이외에 응집보조제(polymer), 가중응집제(microsand)를 투입하는 방법이 일반적이다. Alum 계열의 응집제들은 여러 특성을 가지는 하수에 대해 응집이 효과적으로 발생하며, 다른 응집제와 비교하여 경제성이 높다는 장점을 가지고 있는 반면, Ferric 계열은 응집제의 분자량이 크므로 침전속도가 빠르며 넓은 pH 범위에서 응집이 발생한다는 장점을 가지고 있다(Ding et al., 1999; Gebbie, 2005). 응집보조제는 응집제로 인해 형성된 미세플럭(micro floc)에 가교작용(bridging)을 일으켜 결합력을 더 강하게 해주기 위해 사용되며, 특히 polymer는 합성고분자 물질로 플럭의 크기를 증대시켜 침전 효율을 증대시킨다. 가중응집제는 밀도가 높은 물질들로, 플럭에 결합하여 밀도를 증대시키기 위해 사용된다. 특히 밀도가 높은 세사(비중=2.65)를 사용한 Ballasted particle flocculation은 0.1mm에서 3.0mm의 크기의 플럭을 형성하는 것으로 잘 알려져 많은 선행 연구에서 이용되었다(Mirzadeh, 1977; Novak et al., 1977; Cailleaux et al., 1992; Young and Edwards, 2003).

형성된 가중 응집 플럭의 특성은 응집제, 응집보조제 및 가중응집제의 종류, 조합의 형태, 투입량, 투입시간 등의 여러 인자에 의해 영향을 받는다. 여러 영향 인자 중 특히 가중응집제의 투입시점 변화에 따른 형성 플럭의 물리적 특성 변화는 검토할 중요한 메커니즘이다. 기존의 연구에 의하면 화학적 처리의 응집·응결의 과정 중 응결의 과정은 플럭의 크기에 관계없이 플럭의 밀도 증가에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Gregory, 1998). 따라서 본 연구에서는 응집제($FeCl_3$)와 응집보조제(음이온 polymer)의 투입시점을 동일하게 유지한 채, 가중응집제(microsand)의 투입시점을 3가지로 달리하여 플럭의 형성에 미치는 영향을 형성된 플럭의 대표적 물리적인 특성인 크기, 밀도, 침강속도 관점에서 상호 비교 분석하였다. 또한 응집과정 외 추가로 응결과정을 진행시켜 형성된 플럭의 특성을 파악하기 위하여, 급속교반을 통해 응집만을 시행하였을시와 급속교반으로 응집된 플럭에 완속교반을 추가로 수행하여 응결과정이 진행된 후 형성된 플럭의 물리적 특성을 비교하였다.

2. 연구방법

2.1 실험재료

시료는 서울 근교 N 하수처리장에서 스크린을 거쳐 1차 침전조 전단에 유입되는 하수를 사용하였다. 측정된 하수의 수질측정값은 pH=7.28, SS=68mg/L, COD_{Cr} =109.56 mg/L, T-P=2.89mg/L이다. 응집제는 무기응집제인 염화제2철수화물(Ferric Chloride Hydrate, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$)을 사용하였으며, Jar test 응집실험을 통해 원수의 SS 농도를 90% 제거하는 수준에서 응집제 투입 농도(= 81mg/L)를 결정하였다. 응집보조제는 에멀전형태의 음이온계열 polymer(이양화학 A330E, 중음이온성, 점도: 1,500 cps 이하, pH: 6~8, 비중: 1.00~1.06)를 사용하였다. polymer의 점도를 고려하여 1g/L의 표준용액(stock sol.)을 제조하였으며, 1mg/L 수준까지 투입하였다. 가중응집제로는 주문진 표준사를 분쇄하여 사용하였으며, 고른 입경을 가지는 세사를 얻기 위하여 #100, #200 체를 이용하여 75~150 μ m의 입경분포를 가진 세사를 걸러냈으며, 시료 1L 당 3g을 투입하였다.

2.2 실험장치

실험장치는 플럭을 형성하는 반응조/교반장치와 형성된 플럭을 바로 밀로 유도 침전시키는 침강 컬럼(settling column) 장치로 크게 나누어지며, 하단 컬럼 침강구간에는 침전된 플럭의 특성을 촬영하기 위한 카메라 장치가 설치되어 있다. 전체적인 실험장치 모식도는 다음 Fig. 1과 같다.

반응조/교반장치는 원수에 투입된 응집제, 응집보조제, 가중응집제를 교반하여 플럭의 응집-응결과정이 진행되도록 하는 역할을 하며, 교반강도(G)를 달리하여 급속교반($G=200/sec$) 및 완속교반($G=100/sec$)을 시행하게 된다. 시료의 교반에 사용된 Jar의 규격은 가로, 세로, 높이 11.5×11.5×21cm이고, 임펠러의 크기는 8×2cm이다. 교반에 사용된 모터는 50~1000rpm 범위에서 일정한 교반강도를 유지할 수 있는 디지털모터(미성과학, BL610D)를 사용하였다.

침강장치는 플럭 형성이 완료된 시료를 침강 컬럼을 통해 수중 침강시켜 플럭의 특성을 침강속도 관점에서 파악하게 된다(Nobbs et al., 2002; Jarvis et al., 2005). 5×2.5×80cm³의 투명아크릴로 제작된 침강 컬럼으로 교반이 끝난 플럭 시료의 일부를 침강시키고, 이를 컬럼의 하단부에서 CCD(charge coupled device) 카메라(SANYO, VCC-6574)로 촬영하여 플럭 크기, 밀도, 침강속도를 파악하였다.

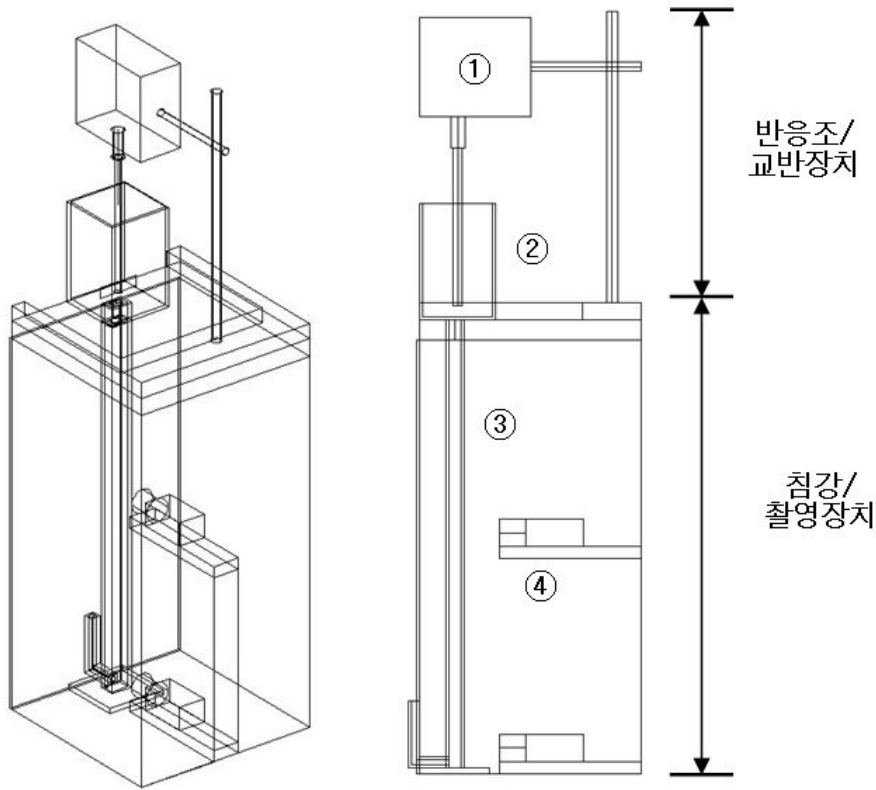


Fig. 1. 실험장치의 개요, ①디지털 모터 및 교반장치, ②반응조, ③침강 컬럼, ④CCD 카메라

플러를 측정하는 방법에는 현미경이나 사진기를 통하여 직접측정하는 방법과 광산란법, 빛투과법, 입자센서를 이용한 입자계수기 (particle counter)를 통한 간접적인 측정방법이 있다. 최근에는 디지털사진기의 성능 및 이미지 분석 방법의 발달로 고화질의 CCD 카메라 장치를 통하여 플러의 크기를 순간, 연속 촬영함이 가능하며, CCD 카메라를 통해 촬영된 이미지를 이미지분석 프로그램을 사용하여 플러의 특성을 파악하였다(Chakraborti et al., 2000; Nobbs et al., 2002).

2.3 실험조건

가중응집제인 (a) 세사의 투입시점을 변화시키는 실험 조건 및 (b)완속교반을 추가 시행하는 실험 조건의 모식도는 Fig. 2와 같다.

세사 투입시점의 변화 조건에서는 응집제와 응집보조제의 투입시점을 각각 교반시작시인 0초, 교반시작 후 60초로 동일하게 유지시킨 채, 세사의 투입시점을 ①교반시작과 동시점 0초(MCP), ②교반시작 후 30초가 지난 시점 (CMP), ③교반시작 후 90초가 지난 시점(CPM)의 3개 조

건으로 나누어 실험을 진행하였다.

두 번째 실험 set인 급속교반만을 시행했을 때와 완속교반을 추가로 진행하였을 때의 플러 특성을 비교하기 위해서는 시료의 특성을 측정하는 시점을 ①급속교반을 120초 시행한 후의 시점(Rapid), ②120초 이후 추가로 600초 동안 완속교반을 시행한 시점(교반 시작 후 720초, Rapid+Slow)으로 설정하였다. 급속교반 및 완속교반의 교반속도(G)는 각각 200/sec, 100/sec로 설정하였다.

2.4 분석방법

플러의 물리적 특성을 나타내는 인자로는 플러의 겉보기 특성을 나타내는 크기, 모양, fractal dimension 등이 있으며, 플러의 내부 특성을 표현하는 인자들에는 플러의 밀도, 강도, 침강속도 등이 대표적이다(Allen, 1997). 여러 인자들 중 본 연구에서는 플러의 크기를 직경으로 나타내어 표현하였으며, 침강속도와 유효밀도로 플러의 내부 특성을 표현하였다.

응집과 응결과정에서 형성된 플러는 다양한 크기와 형태를 가지게 되어 불규칙적인 형상이 된다. 또한 플러는 구조

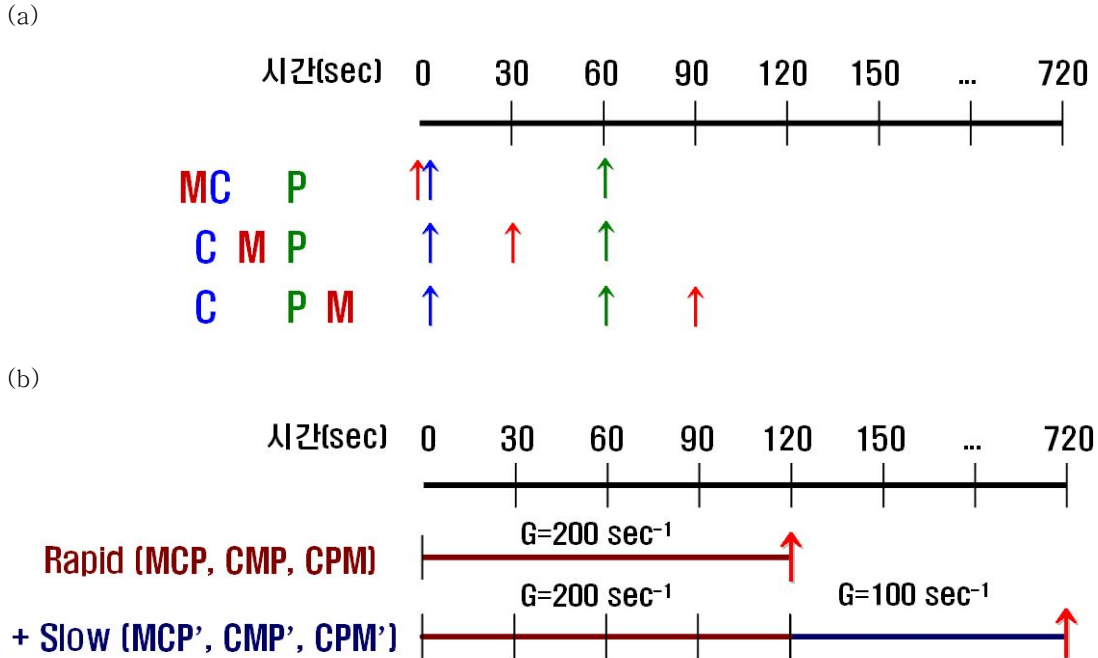


Fig. 2. 실험조건(M:Microsand, C:Coagulant, P:Polymer), (a)세사의 투입시점의 변화에 따른 실험조건, (b)교반속도에 따른 실험조건

적으로 공극이 존재하기 때문에 일반적으로 플럭의 크기를 정확하게 측정하기는 어렵다(Jarvis et al., 2005). 플럭과 같이 불규칙적인 입자의 크기를 나타내는 데는 ESD (equivalent spherical diameter)의 개념의 사용이 일반적이며, ESD를 통해서서는 평면으로 측정된 불규칙적인 입자의 공간적인 형상을 표현한다(Allen, 1997). 입자의 직경 (d_f)은 이미지분석을 통해 측정된 입자의 면적을 동일한 직경을 가지는 구체로 대체하는 아래 식 (1)을 이용하여 계산한다. 여기서, d_f 는 플럭의 지름, A_f 는 이미지 촬영을 통해 측정된 플럭의 면적을 의미한다.

$$d_f = 2\sqrt{\frac{A_f}{\pi}} \quad (1)$$

플럭의 밀도는 측정된 플럭의 크기와 침강시간을 Stoke's law에 적용하여 계산하며, 침강속도는 침강장치를 이용하여 측정된 플럭의 낙하시간에 따라 식 (2)를 통해 구한다(Tambo and Watanabe, 1979; Gregory, 1998; Khelifa and Hill, 2006). 여기서 V_s 는 플럭의 침강속도 (cm/sec), g 는 중력가속도(980 cm/sec²), C_D 는 항력계수 (-), ρ_s 와 ρ_w 는 플럭 입자 및 물의 밀도(g/cm³), d_f 는 플럭의 지름(cm)을 의미한다.

$$V_s = \left[\frac{4}{3} \frac{g}{C_D} \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right) d_f \right]^{1/2} \quad (2)$$

3. 결과 및 고찰

응집제(FeCl₃)와 응집보조제(polymer)의 투입시점을 '2.3 실험조건'에서 언급하였듯이 교반 바로 직후 및 교반을 시작한 후 60초가 지난 시점으로 동일하게 유지한 채, 세사의 투입시점만을 0초(응집제와 동시 투입), 30초(응집보조제 전에 투입), 90초(응집보조제 이후 투입)로 변화시키어 투입하고, 모든 조건에서 교반을 시작한지 120초가 되는 시점(Rapid; MCP, CMP, CPM), 720초가 되는 시점(Rapid+Slow; MCP', CMP', CPM')에서 형성된 플럭의 특성을 측정하였다.

3.1 세사 투입 시점에 따른 플럭의 특성

3.1.1 형성된 플럭의 크기

Fig. 3은 MCP, CMP, CPM의 실험조건에서 측정된 플럭의 크기를 도수분포표로 나타내었다. 도수분포의 크기는 관측값의 전체에 대한 비율(%)로 표현하였다. 측정된 플럭의 유효밀도는 세사를 교반시작 30초 후에 투입하였을 때

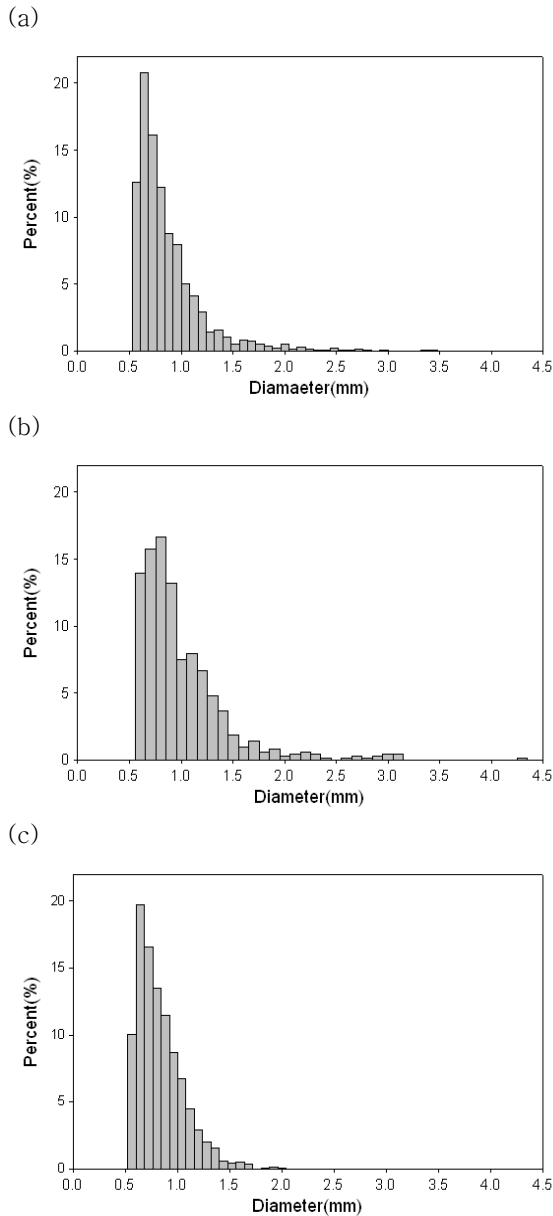


Fig. 3. 플럭 크기의 도수분포, (a)MCP, (b)CMP, (c)CPM

(CMP) 0.5670~7.0243mm의 가장 넓은 범위에서 나타났으며, CPM의 조건에서 형성된 플럭의 크기 범주가 0.5670~1.9891mm로 가장 좁게 나타났다.

측정된 플럭의 평균 크기는 플럭의 크기의 범위가 가장 넓게 나타났던 CMP의 경우가 1.0228mm (95% 신뢰구간: 0.9793~1.0663mm)로 가장 큰 것으로 나타났다. 형성된 플럭의 크기 범주가 가장 좁게 나타난 CPM의 경우가 플럭의 크기 또한 0.8335mm (95% 신뢰구간: 0.8224~0.8445mm)로 가장 작은 것으로 나타났다. 0초에서 응집

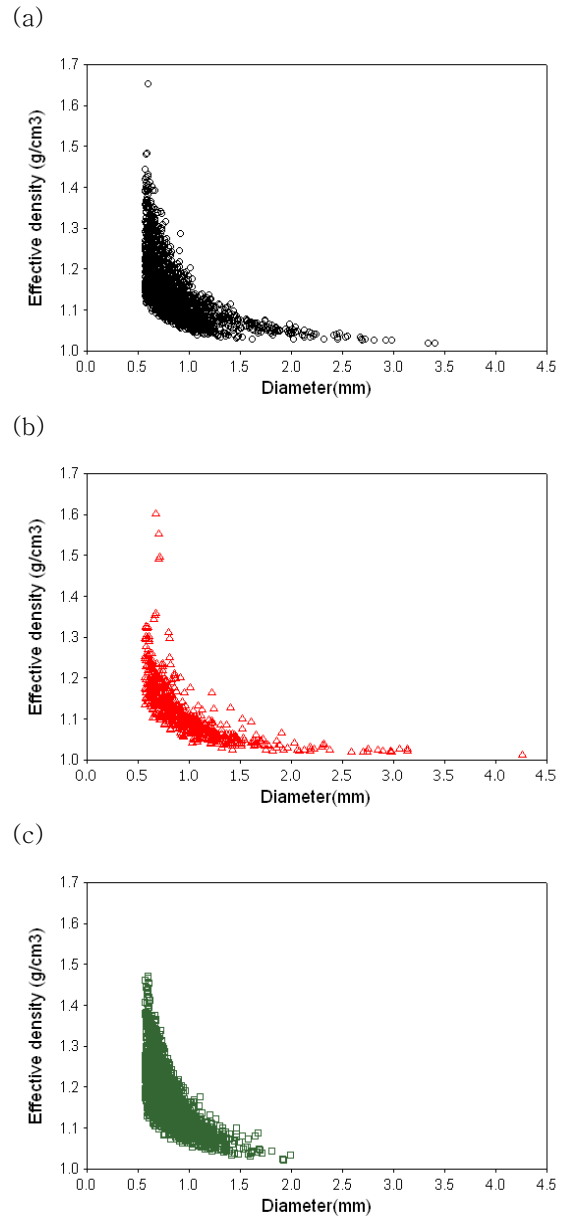


Fig. 4. 플럭 크기와 플럭 밀도의 산포도, (a)MCP, (b)CMP, (c)CPM

체를 투입, 미세플럭을 형성한 후 30초가 지난 시점에 세사를 투입한 후 60초가 되는 시점에 응집보조제를 투입하는 CMP 투입순서의 경우, 이미 형성된 미세플럭에 일정 크기의 세사(75-150 μ m)들이 투입된 후 투입된 응집보조제가 미세플럭과 세사의 가교작용을 일으켜서 그 크기가 크게 형성된 것으로 보여진다. 세사를 응집제와 같은 시점에 투입한 경우(MCP)는 미세플럭이 형성되기 이전 세사가 투입이 되어 미세플럭의 형성에 방해요소로 작용하여 미세플럭

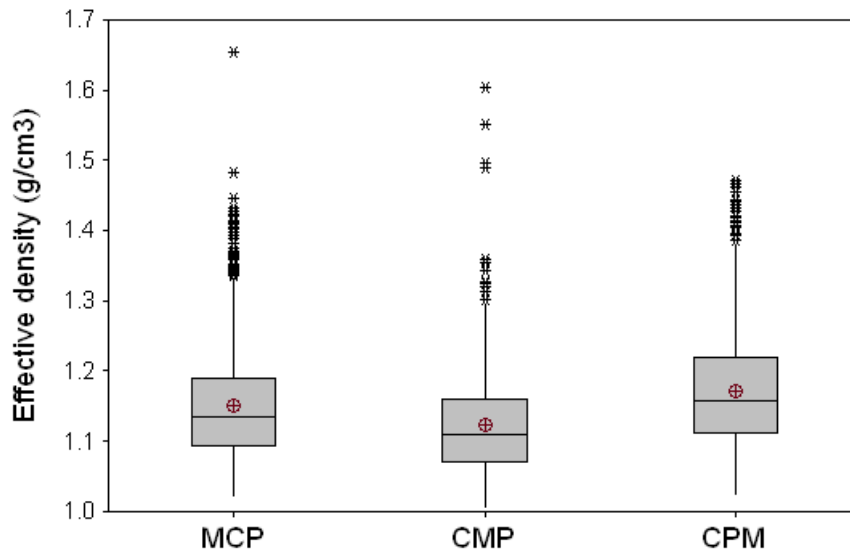


Fig. 5. 플럭 밀도의 통계 특성치

이 적절히 형성되지 못했을 가능성이 있다고 판단된다. 세사를 가장 늦게 투입하였을 경우(CPM)는, 세사의 투입이 응집보조제의 투입 이후인 90초였고, 그 시점에서 30초간 추가로 교반을 하고 크기를 측정할 경우에 해당하며, 충분한 교반시간이 주어지지 않아 형성된 응집보조제를 통한 미세플럭과 세사의 결합이 충분한 시간을 갖지 못했을 가능성이 있다.

3.1.2 형성된 플럭의 밀도

Fig. 4는 각 실험조건에서 산정된 플럭의 유효 밀도를 플럭의 크기에 대해 나타내었다. 측정된 플럭의 유효밀도는 MCP, CMP, CPM이 각각 1.0201~1.6544g/cm³, 1.0047~1.6029g/cm³, 1.0232~1.4708g/cm³의 범위에서 나타났으며, CMP의 조건에서 상대적으로 좁은 범위에서 조밀하게 분포하는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 각 조건에서 계산된 플럭의 유효밀도를 boxplot으로 나타내어 통계 특성치를 표현하였다. MCP, CMP, CPM의 각 실험조건의 측정 유효밀도 데이터에 대하여 boxplot의 상자는 관측값의 3사분위수(75%)와 1사분위수(25%)의 범위를 나타내며, boxplot 중간의 선에 해당하는 관측값이 중앙값(median)을 나타낸다. ⊕의 값은 측정값들의 평균(mean)을 나타내며, *의 값들은 통계적으로 판정된 이상치에 해당한다.

Fig. 5에서 나타난 평균 유효밀도는 CPM(1.1722g/cm³)

> MCP(1.1502g/cm³) > CMP(1.1225g/cm³)의 순서로 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. '3.1.1 형성된 플럭의 크기'의 분석에서 평균직경이 가장 작은 것으로 나타난 CPM의 경우가 가장 큰 밀도를 가지는 것으로 나타났으며, 가장 큰 크기의 플럭을 형성했던 CMP의 경우가 밀도도 역시 가장 낮은 것으로 나타났다. 많은 선행연구에서 나타난 바와 같이, 플럭의 크기가 크게 형성되면 밀도가 낮아지고, 크기가 작은 반면 조밀하게 형성이 되는 경향이 보여진다(Tambo and Watanabe, 1979; Khelifa and Hill, 2006).

3.1.3 형성된 플럭의 크기-침강속도-밀도의 관계

침강 컬럼을 이용하여 촬영한 플럭들은 프레임별로 측정이 되어지며 동일 시간에 측정된 프레임 내의 플럭들은 크기와 밀도는 서로 상이하지만 침강속도는 동일하게 된다. 이에 동일 시간에 측정된 플럭들에 대해 크기의 평균값과 밀도의 평균값을 계산하여 측정된 플럭의 평균크기-침강속도-평균유효밀도의 관계를 나타내었다.

Fig. 6에 나타난 바와 같이 MCP, CMP, CPM의 세 조건 모두에서 크기가 큰 플럭이 침강속도도 빠름을 알 수 있다. 침강 속도는 식(2)에 나타난 바와 같이 플럭의 밀도와 직경에 대한 함수로 표현이 된다. 동일한 크기의 플럭에 대한 침강 속도는 MCP와 CPM이 거의 비슷한 경향을 보이며, CMP의 경우가 가장 침강 속도가 낮아 밀도가 작을 것으로 판단되어진다. Fig. 4의 산포도 그래프에서 측정된 모든 플

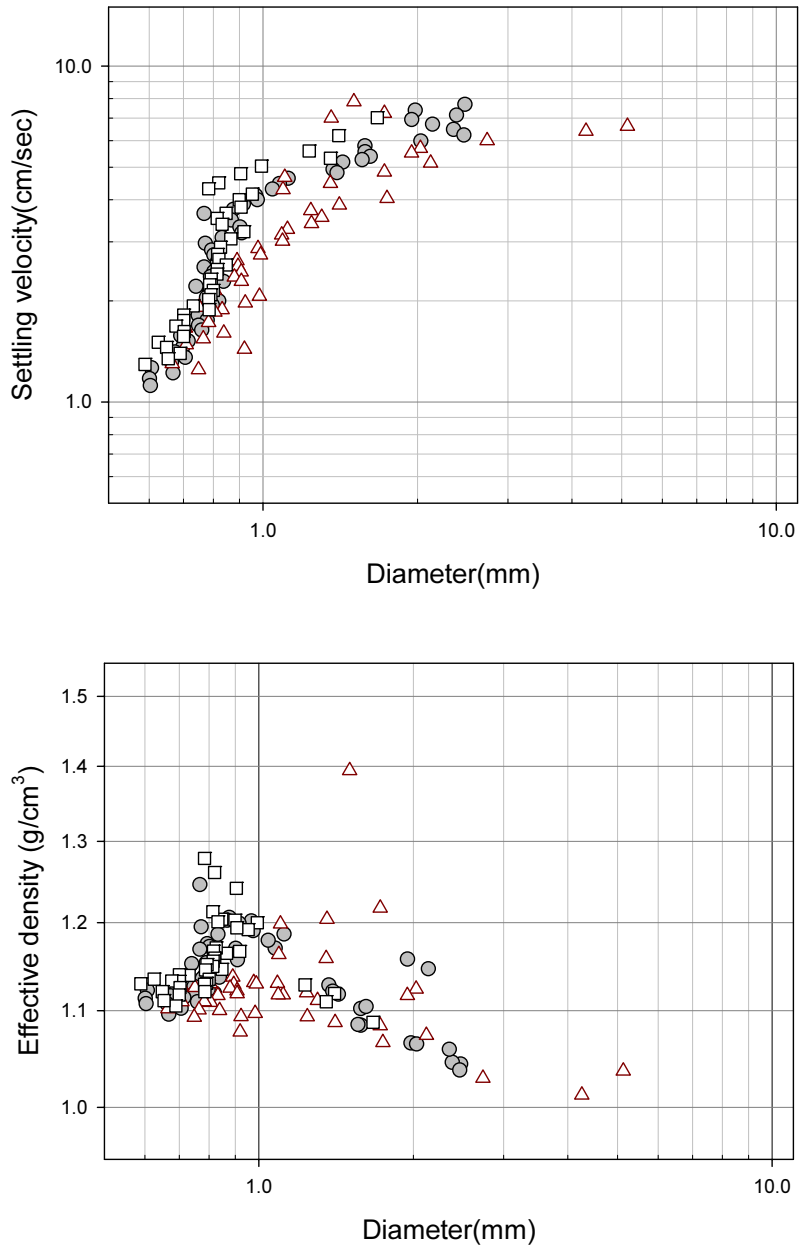


Fig. 6. 플럭의 크기-침강속도-밀도의 관계
(●:MCP, ▲:CMP, □:CPM)

럭의 크기에 대해 밀도를 구한 결과는, 밀도와 크기의 반비례 관계가 명확하게 나타났으나, 프레임별 평균 크기와 평균유효밀도의 관계를 표현하였을 시는 그 관계가 명확히 나타나지 않았다. 특히 평균직경이 약 1mm미만으로 측정된 플럭은 한 프레임 내의 측정된 플럭의 크기에 대한

밀도의 범주가 매우 커서 크기의 증가에 따른 밀도의 감소 특성의 표현이 용이하지 않았으나, 큰 범주의 자료로 판단하였을 때 플럭의 크기가 증가할수록 침강속도는 증가하는 경향이 있으며, 유효밀도는 감소하는 경향이 있는 것으로 판단된다.

Table 1. 완속교반을 추가로 수행했을시 플럭의 크기의 변화

조건	평균직경 (mm)	95% CI (mm)	조건	평균직경 (mm)	95% CI (mm)	변화율(%)
MCP	0.8656	0.8508, 0.8804	MCP'	0.8869	0.8793, 0.8946	+2.46
CMP	1.0228	0.9793, 1.0663	CMP'	1.0232	1.0098, 1.0365	+0.04
CPM	0.8335	0.8224, 0.8445	CPM'	0.9062	0.8949, 0.9175	+8.72

Table 2. 완속교반을 추가로 수행했을시 플럭의 밀도의 변화

조건	평균밀도 (g/cm ³)	95% CI (g/cm ³)	조건	평균밀도 (g/cm ³)	95% CI (g/cm ³)	변화율(%)
MCP	1.1502	1.1468, 1.1536	MCP'	1.1165	1.1148, 1.1181	-2.93
CMP	1.1225	1.1168, 1.1282	CMP'	1.1327	1.1302, 1.1351	+0.91
CPM	1.1722	1.1682, 1.1763	CPM'	1.1316	1.1290, 1.1342	-3.46

3.2 추가적인 완속교반을 통한 플럭의 특성

3.2.1 형성된 플럭의 크기

MCP, CMP, CPM 각각의 세사 투입 실험 조건에서 완속교반을 추가로 10분 진행한 경우(MCP', CMP', CPM') (동일한 세사 투입순서를 유지한 채 급속교반만 시행했을 때와 완속교반을 추가로 수행하였을 때)의 크기의 변화를 Table 1에 나타내었다. 완속교반을 추가로 시행하였을 때 Fig. 3에서 평균직경이 가장 크게 나타났던 CMP의 경우 크기의 증가율이 0.04%로 거의 변화가 없었으며, 가장 작은 크기의 플럭을 형성했던 CPM의 경우 완속교반을 추가로 시행하기 전과 후의 크기 변화가 가장 크게 나타났다.

응집보조제를 가장 마지막에 투입하는 MCP와 CMP의 경우, 가교작용을 하는 응집보조제의 투입이 이미 형성된 미세플럭과 투입된 세사를 붙여주는 역할을 하며, 이 결합의 작용이 급속교반 동안(초기 2분)의 빠른 시간에 이루어져 완속교반을 추가로 수행할 동안은 형성·주입되어 있던 물질들의 가교가 이미 거의 진행되었을 것으로 판단된다. 더 이상의 응집제, 가중응집제의 투입이 없는 상황에서 완속교반을 추가로 시행함이 크게 의미가 없을 수 있음을 나타낸다. 세사를 가장 늦게 투입한 CPM의 경우, 급속교반의 짧은 시간동안에는 응집보조제에 둘러싸인 미세플럭과 세사와의 결합이 충분히 이루어지지 않았던 것으로 판단되며, 완속교반동안 시료 속에 미처 결합하지 못했던 세사가 추가적으로 결합을 일으켜 크기를 증가시킨 것으로 사료된다.

이는 완속교반을 시행하기 전, CPM의 경우의 평균직경이 가장 작았으나 완속교반의 추가 수행 후 플럭의 크기의 증가가 크게 일어났음에서도 나타난다.

3.2.2 형성된 플럭의 밀도

Table 2는 완속교반을 시행하기 전·후 측정된 플럭의 유효밀도의 변화율을 나타내었다. 완속교반을 추가로 10분 진행하였을 때 플럭의 밀도의 변화율이 가장 큰 실험 조건은 CPM으로 나타났다. 플럭의 크기의 경우에는 완속교반을 시행하였을 때 소폭에 해당하지만 더 크게 플럭이 형성되는 경향이 나타난 반면, 밀도의 경우는 오히려 줄어들거나(MCP, CPM의 경우) 아주 작은 비율로 증가(CMP의 경우, 0.91%)하는 것으로 나타났다. 완속교반을 추가로 진행한 후 급속교반만을 시행했을시와 크기를 비교한 '3.2.1 형성된 플럭의 특성'에 나타난 바와 같이, 플럭 크기의 경우 교반을 더 진행할수록 응결과정 동안 응집보조제의 역할이 증가하며, 그로 인해 미세플럭과 세사와의 결합을 통해 플럭 크기가 점점 더 크게 형성될 수도 있음을 나타낸 반면, 밀도의 증가에는 크게 상관성이 없는 것으로 나타났다. 선행 연구에 의하면 응결의 과정이 플럭의 크기에 관계없이 플럭의 밀도를 증가시키는데 영향을 미친다고 하였으나, 본 실험의 결과는 응결의 추가적인 시행을 위한 교반시간의 증대가 플럭 밀도의 증가에는 크게 상관성이 없을 수 있음을 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 응집제를 투여한 일반적인 화학적 하수처리 방법에 응집보조제 및 가중응집제를 추가로 투입하였을 시, 형성된 플럭의 대표적 물리적인 특성인 크기, 밀도, 침강속도와의 관계를 비교하였다. 특히 가중응집제인 세사의 투입시점의 변화에 따른 물리적 특성 변화를 주로 평가하였으며, 완속교반을 추가로 실시하였을 때 응집 외 응결의 진행에 따르는 플럭의 물리적인 변화를 추가로 비교하였다. 본 연구에서 파악된 각 실험 조건에 대한 물리적인 플럭의 상대적인 특성은 다음과 같다.

- 1) 세사의 투입시점을 변화시켜 관찰한 플럭의 크기는 세사를 응집제와 응집보조제의 사이에 투입하였을 때 가장 넓은 범위에서 분포하였으며 평균 크기도 가장 큰 것으로 나타났다.
- 2) 세사의 투입시점을 변화시켜 관찰한 플럭의 유효밀도는 플럭의 크기를 가장 작게 형성했던 경우인 응집제와 응집보조제를 모두 투입한 이후 세사의 투입시점을 설정하였을 때 가장 큰 것으로 나타났다.
- 3) 측정된 프레임별 평균크기, 침강속도 및 평균 유효밀도의 관계에서는 크기가 큰 플럭이 형성되면 플럭의 침강속도 빠른 것으로 관찰되었으며, 동일한 크기의 플럭에 대한 침강속도는 세사의 투입시점의 변화와 크게 상관이 없는 것으로 나타났다. 플럭의 평균 크기와 평균 유효밀도와의 관계는 플럭의 크기가 크게 형성될수록 밀도도 작은 것으로 나타났다.
- 4) 완속교반을 추가로 수행하였을 시 플럭의 크기의 변화는 세사를 가장 나중에 투입한 경우 그 증가율이 가장 컸으며, 플럭의 밀도는 크게 변화하지 않는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 환경부 “차세대 핵심환경기술개발사업”으로 지원받은 과제입니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Allen, T. (1997) *Particle Size Measurement, Volume 1. Powder Sampling and Particle Size Measurement*, 5th edn., Chapman & Hall.
- Cailleavx, C., Pujol, E., Dianovs, F. and de Drovton, J. (1992) Study of Weighted Flocculation in View of a New Type of Clarifier, *Aqua*, Vol. 41, pp. 18-27.
- Chakraborti, R.K., Atkinson, J.F. and van Benschoten, J.E. (2000) Characterization of Alum Flocc by Image Analysis, *Environmental Science & Technology*, Vol. 34, pp. 3969-3976.
- Ding, Y., Dresnack, R. and Chan, P.C. (1999) *Assessment of high-rate sedimentation processes: microrcarrier weighted coagulation jar-test*, US Environmental Protection Agency.
- Gebbie, P. (2005) A Dummy's Guide to Coagulants, 68th Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference, Schweppers Centre-Bendigo, 7-8 September, 2005.
- Gregory, J. (1998) The role of floc density in solid-liquid separation, *Filtration & Separation*, Vol. 35, pp. 367-371.
- Javis, P., Jefferson, B. and Parsons, S.A. (2005) A Review of Floc Strength and Breakage, *Water Research*, Vol. 39, pp. 3121-3137.
- Khelifa, A. and Hill, P.S. (2006) Models for Effective Density and Settling Velocity of Floccs, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 44, pp. 390-401.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2004) *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, 4th edn., McGrawHill.
- Mirzadeh, A. (1977) Effects of Sodium Bentonite and Ferric Chloride on Activated Sludge Treatment of Wastewater, *Journal of Fermentation Technology*, Vol. 55, pp. 258.
- Nobbs, D., Tang, P. and Raper, J.A. (2002) The Design, Construction and Commissioning of a Low-cost Optical Particle Size Analyser Specifically for Measurement of Settling Velocities and Size of Floccs, *Measurement Science and Technology*, Vol. 13, pp. 297-302.
- Novak, J.T., Becker, H. and Zurow, A. (1977) Factors Influencing Activated Sludge Properties, *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 103, pp. 815.
- Tambo, N. and Watanabe, Y. (1979) Physical Characteristics of Floccs- I. The Floc Density Function and Aluminum Flocc, *Water Research*, Vol. 13, pp. 409-419.
- Young, C.J. and Edwards, F.G. (2003) Factors Affecting Ballasted Flocculation Reactions, *Water Environment Research*, Vol. 75, pp. 263-272.