

산 오염수 전처리용 침전 및 중화 특성

Characterization of Sedimentation and pH Neutralization as Pretreatment of Acid Contaminated Water

임종도¹⁾ · 이상빈²⁾ · 박재우[†]

Jongdo Im · Sangbin Lee · Jae-Woo Park

Received: July 7th, 2022; Revised: July 11th, 2022; Accepted: August 2nd, 2022

ABSTRACT : Sedimentation and pH neutralization has been investigated as pretreatment of acid contaminate water. The settling and neutralizing process derive more effective degradation efficiency as the pre-treatment process before the removal process of adsorption, volatile, biodegradation, or oxidation. Settling velocity, uniformity coefficient, coefficient of curvature, and grain size index can define in the sedimentation process for characteristics of the soil. The stainless steel sieve has been used to separate each particle size of the dry soil by assembling in order of 4, 10, 20, 40, 80, 100, and 200 mesh sizes. The soil from Gamcheon Port in Busan drops upper side of the sieve and shakes back and forth to separate each different size of the particle. The 1L of Imhoff cone and 200 mL of the mass cylinder were used as settling tanks to calculate settling velocity. Stokes' equation was used to figure out the average density of dry soil with a value from settling velocity. In the results, the average particle density and lowest settling velocity were 1.93 g/cm³ and 0.11 cm/s, respectively. These values can detect the range of settling points of sediment to prevent chemical accidents. In pH neutralization, the initial pH of 2, 3, 4, and 5 of nitric acid and sulfuric acid are used as an acid solution; 0.1, 0.01, and 0.001 M of sodium hydroxide and calcium hydroxide are used as a base solution. The main goal of this experiment is to figure out the volume percentage of the acid solution becomes pH 7. The concentration of 0.001 M of base solution exceeds all the conditions, 0.01 M exceeds partially, and 0.1 M does not exceed 5 v/v% except pH 2. Calcium hydroxide present less volume than sodium hydroxide at pH neutralization both sulfuric and nitric acid.

Keywords : pH, Sedimentation, Chemical accidents, River contaminants, Neutralization

요지 : 본 연구에서는 산 오염수 전처리를 위한 침전 및 중화 공정에 대해 연구하였다. 침전 및 중화 공정은 오염물질 흡착, 휘발, 생분해 혹은 산화 등과 같은 제거공정 전에 필요한 전처리 공정으로 좀 더 효과적인 제거효율을 도출해 내기 위함이다. 침전 공정에 선 일반적인 퇴적토인 부산 감천항의 퇴적토를 이용하여 침강 속도, 입자 균등계수, 곡률계수 및 입도지수를 파악하였고, 이를 위해 스테인리스 스틸로 구성된 표준체 판을 사용하였다. 각 표준체의 망 단위는 4, 10, 20, 40, 80, 100, 200이며 조립된 체 상부에 건조된 퇴적토를 투하시킨 후 진동을 가하여 입경별로 분류하였다. 입경별로 분류한 건조퇴적토는 1L 크기의 임호프콘(Imhoff cone)과 200mL 메스실린더에 침강시켰다. 각 입경별 침강속도를 구한 후 스토크스의 법칙(Stokes' law)에 따라 입자의 밀도를 계산하였다. 그 결과, 사용된 건조퇴적토의 평균 입자밀도는 1.93g/cm³였으며 침강속도가 가장 낮은 값은 0.11cm/s이었다. 침강속도와 입자 밀도를 통하여 화학사고 시 입자의 침전 위치나 퇴적 가능한 범위를 알아 대비할 수 있다. 중화 공정의 경우 강한 산성을 지니고 있는 질산과 황산을 사용하였고 중화제로 수산화나트륨과 산화칼슘을 사용하였다. 질산과 황산의 산도는 2, 3, 4, 5로 선정하였고 수산화나트륨과 산화칼슘(0.1, 0.01, 0.001M)를 사용하여 중화제 사용량이 pH 7의 조건을 맞췄을 때 5v/v% 미만으로 나올 수 있는 값을 도출하였다. 가장 농도가 높은 0.1M의 중화제의 경우 가장 낮은 pH 2를 제외하고 모두 5v/v% 미만으로 충족시켰고, 0.01M의 중화제는 일부 pH에서만 충족되었으며, 농도가 가장 낮은 0.001M의 중화제는 모든 pH에서 5v/v% 미만의 조건을 충족시키지 못 하였다. 질산과 황산 모두 산화칼슘이 수산화나트륨 보다 더 적은 부피비를 차지하였고 중화에 적합한 효과를 도출하였다.

주요어 : pH, 침전, 화학사고, 하천오염, 중화

1. 서론

화학물질 유출로 인한 하천-호소 오염 사건은 과거부터 현재까지 일어나는 사건이다. 1991년 낙동강 페놀 유출사건

을 기점으로 2020년 천안시청사 앞 장재천에 부직포 제작용 풀 유출사건과 춘천 공지천 지류에서 수성 페인트로 추정되는 오염물질 유출 사건이 있다. 당시, 춘천 유출사건은 물고기가 집단 폐사하는 일이 있었다.

1) Master Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

2) Doctoral Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

† Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University (Corresponding Author : jaewoopark@hanyang.ac.kr)

하천-호소 내에 존재하는 뭉쳐진 토양이나 미세입자는 화학물질 유출 시 입자의 공극 내외로 흡착이 가능하다. 오염물질 흡착은 입자의 밀도 및 입경을 증가시킬 수 있으며 이는 곧 침강속도 역시 증가하여 하천-호소 바닥에 퇴적되어 오염물질을 축적하는 현상을 일으킨다.

침전 공정은 수질 내 존재하는 미세입자나 활성도가 강한 슬러지 혹은 콜로이드성 입자를 응집 후 처리하는 공법이다. 수처리 공법에서 필수적인 공정 중 하나이며 오염물질 제거를 효과적으로 하기 위해 전처리 조건으로 많이 쓰인다(Li & Stenstrom, 2014). 기본적인 수처리 공법에선 생물학적 처리를 접목한 2차 침전까지 쓰이며 3차 침전 공정은 주로 전기응집 공법을 사용하여 미세 잔류물 처리 목적으로 쓰이는 경우가 있다(Zodi et al., 2011). 2차 침전 공정은 40년간 폐수처리 시설에 쓰여 왔으며 근래에는 유체 역학을 계산식으로 모델링한 침전 탱크 개발을 주로 연구해 오고 있다(Gao & Stenstrom, 2020).

중화 공정 역시 침전 공정만큼이나 수처리 공법에 필수적인 공정이다. 소방청 중앙119구조본부(2020)는 전국 7대 국가산업단지 4,451개 사업장을 대상으로 2018년부터 2020년까지 화학물질 취급량을 조사하였다. 분석한 결과 취급량이 높은 화학물질은 수산화나트륨, 황산, 염산 순으로 총합 6,200만 톤이 넘게 사용되고 있었다. 세 물질 모두 친수성이며 수질 내 용해도가 높아 pH에 큰 영향을 주는 물질로 누출 시 중화처리에 대비해야 할 물질에 속한다.

중화공정은 하천-호소나 해양에 속해있는 퇴적물을 수질 내 식물 성장에 미치는 매개체로서 양질의 효과를 낼 수 있으며 석유탄화수소, 중금속 및 침전물의 염분을 처리하는데 효과적이다(Kim et al., 2020). 낮은 pH에선 미생물의 활성도가 저하되는데 이는 생물학적 공법을 사용하여 오염물질을 처리하는 공정에서는 비효율적인 결과를 보여주며 중화공정의 필요성을 상기 시켜준다(Hu et al., 2004). 무엇보다도 공정에 사용되는 리액터나 침전 탱크는 금속 물질을 주로 사용하는데 산성이 강한 오염폐수가 들어올 시 부식의 위험성이 있다(Reyes et al., 2008).

본 연구는 화학물질 유출 사고를 대비하여 하천-호소 내에 유해물질이 흡착된 입자들의 침강과 수질 내 용해되어

산성을 띠는 유해물질들의 중화 실험을 수행하고자 하였다. 또한, 두 공정은 직접적인 오염물질 처리방법인 산화와 흡착의 전처리 단계로서 오염물질 분해와 제거에 더 효과적인 방법을 위해 조건을 최적화시키고 입자의 성질을 파악함으로써 향후 후처리 설계를 위한 기초데이터를 확보하고자 하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 침전 공정

건조 토양의 침전 속도, 곡률계수 및 균등계수를 확인하기 위해 부산 감천항에 있는 퇴적토를 건조 후 사용하였다. 건조는 H사의 DO-150 건조기를 사용하여 105~110°C에 4시간 이상 향량이 될 때까지 건조시킨 후 데시케이터 안에서 상온이 될 때까지 보관하였다. 건조된 퇴적토는 막자사발을 이용하여 작게 분쇄시켰으며 입자 크기별로 분리하기 위해 4, 10, 20, 40, 80, 100, 200망 순으로 조립된 D사의 Si8027 모델인 스테인리스 스틸 표준체 판을 사용하였다. 스테인리스 스틸 표준체 상부에 건조된 퇴적토를 투하 후 진동을 가하여 입경 별로 분류하였다(Fig. 1). 침전 실험을 진행하기 전 입경 별로 분류된 건조퇴적토의 무게를 잰 후 입경 분포도를 구하였고 흙의 입경이 고르지 알아보기 위해 Eq. (1), (2)를 사용하여 균등계수와 곡률계수를 도출하였다.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (2)$$

여기서, C_u 는 균등계수를, C_z 는 곡률계수를, D_{10} , D_{30} 및 D_{60} 은 각각 통과질량백분율 10%, 30% 및 60%를 나타낸 입경이다.

균등계수와 곡률계수는 토양의 등급 지표를 나타내기 위한 지수로 적용되며, 균등계수는 값이 클수록 토양 입자의

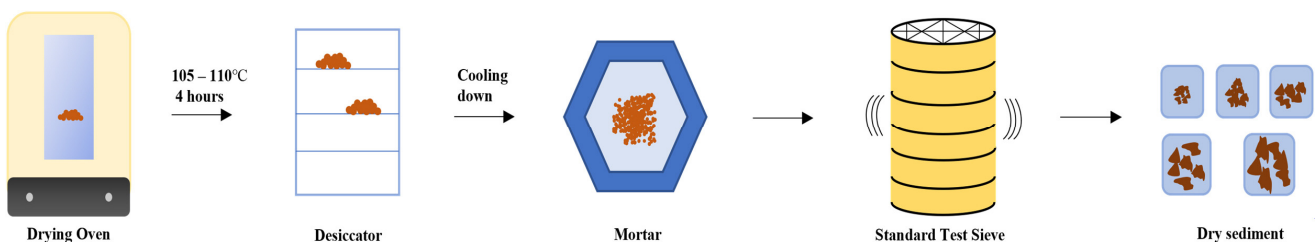


Fig. 1. Scheme of drying and separation of the sediment

범위가 크고 균일할수록 동일한 형상의 곡선이 표현된다. 하지만, 압력, 크기 및 유압 전도도 같은 외부적 요소들로 인하여 입자 크기에 영향을 미칠 때는 직접 사용될 수 없다고 보고하였다(Erguler & Shakoor, 2009a). 통과질량백분율로만 계산하여 토양의 입도분포를 판단하는 균등계수와 곡률계수와는 달리 입도 지수는 미세입자 함량, 입도분포곡선의 기울기, 형상 및 위치에 따라 영향을 미친다. Erguler & Shakoor(2009b)는 암석의 붕괴 속도와 물리적 특성의 관계를 통하여 습윤-건조 후 입자 크기 분포 곡선을 정의하기 위해 입도 지수(I_{GS})를 Eq. (3)에 구하였다.

$$I_{GS} = \frac{A_C}{A_T} \quad (3)$$

여기서, I_{GS} 는 입도 지수를, A_C 는 입자 크기 분포 곡선의 넓이를, A_T 는 입자 범위의 총넓이를 나타내었다.

침전 실험을 진행하기 위해 침전 탱크 용도로 사용할 1L 임호프콘(Imhoff cone)과 200mL 메스실린더를 준비하였다. 준비된 두 침전 탱크에 증류수를 가득 채운 후 건조 퇴적토를 상부에 침강시켜 각 입경 별 침강속도를 도출하였다(Fig. 2). 침강 실험은 각 입경 별 3번씩 진행하였으며, 평균 침강 시간을 구하였고 도출된 침강속도는 스토크스 법칙(Stokes' law) Eq. (4)를 통해 입자 밀도를 도출하였다(Stokes, 1850; Oseen, 1927; Sha, 1956; Zanke, 1977; Raudkivi, 1990; Cheng, 1997).

$$V_t = \frac{d^2(\rho_s - \rho)g}{18\mu} \quad (4)$$

여기서, V_t 는 앞서 도출한 침강속도, d 는 토양 입자의 입경, ρ_s 는 토양의 밀도, ρ 는 물의 밀도, g 는 중력, μ 는 유체의 점성도이다.

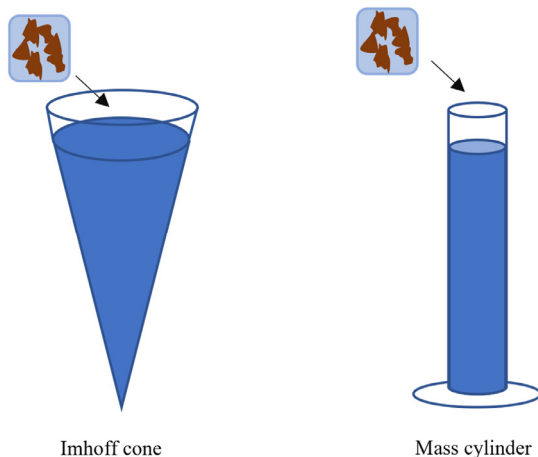


Fig. 2. Scheme of sedimentation test

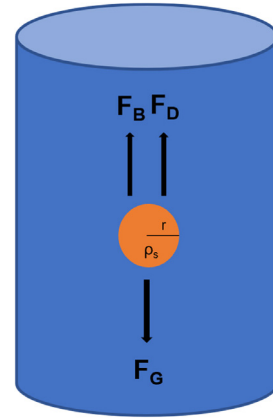


Fig. 3. Force of particle in the fluid motion

Fig. 3은 유체 내에 있는 입자의 물리적 특성을 나타냈으며 이는 중력(F_G), 부력(F_B), 항력(F_D)이 있다. 또한, 위 3가지의 물리적 특성을 Eq. (5)~(8)로 표현하였다.

$$F_G = F_B + F_D \quad (5)$$

$$F_G = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s g \quad (6)$$

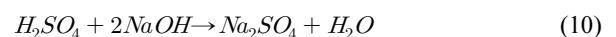
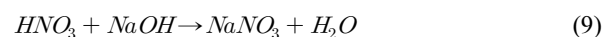
$$F_B = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g \quad (7)$$

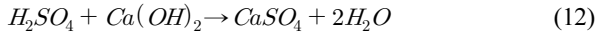
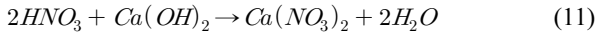
$$F_D = 6\pi\mu r V_t \quad (8)$$

2.2 중화 공정

pH가 낮은 수질을 중성으로 맞추기 위해 중화 실험을 진행하였다. 산성을 띠는 화합물은 질산(Matsunoen chemical, 60%)과 황산(Sigma-Aldrich)을 선정하였고 중화제로는 수산화나트륨(Sigma-Aldrich)과 산화칼슘(Duksan)을 선정하였다. 초기 pH의 값과 중화제의 농도에 따라 pH가 중성이 되는 중화제의 부피 비를 파악하기 위해 2, 3, 4, 5의 pH 조건과 0.1, 0.01, 0.001M의 중화제 농도를 선정하여 중화 실험을 진행하였다. 실험을 진행하기 위해 pH 미터는 M사의 SevenExcellence pH meter S400을 이용하며 pH 전도도는 LE407 모델을 사용하였다. 실험에 사용한 초순수는 Y사의 aquaMAX™ Ultra 370의 증류장치를 이용하여 생산한 2차 증류수(> 18 MΩ cm)를 사용하였다.

Eq. (9)~(12)는 본 연구에서 사용된 화학물질로 중화 공정에서 나올 수 있는 화학 반응식이다.





여기서, Eq. (9)는 질산과 수산화나트륨, Eq. (10)은 황산과 수산화나트륨, Eq. (11)은 질산과 산화칼슘, Eq. (12)는 황산과 산화칼슘의 반응식이다.

중화공정의 실험 기준은 중화제의 사용량이 5v/v% 이하로 나올 때의 기준을 잡았으며, 이는 실제 규모의 실험을 진행 하였을 때 리액터의 부피를 초과하지 않도록 설계하기 위해서 이다. 중화 공정의 목표는 낮은 pH나 높은 pH를 적절한 값에 맞춰 미생물 활성도를 촉진시켜 생분해 공정을 효과적으로 발전시키는 것이다. 또한, 수 처리 공법에서 사용되는 탱크나 리액터들이 산성이 강한 수질에 의하여 부식되지 않도록 대비할 수 있다. pH가 낮은 광산폐수 같은 경우는 pH를 증가시켜 중금속 처리에 효과적으로 사용된다.

3. 결과 및 고찰

3.1 입경 별 분포

실험에 선정된 퇴적토의 입경 범위는 0.05mm에서 4.75mm이며 USDA soil classification에 따르면 점토는 0.002mm 이하, 실트는 0.002mm에서 0.05mm, 모래는 0.05mm에서 2.0mm로 점토, 실트, 모래 중 모래에 가장 가까운 수치를 나타내었다(García-Gaines & Frankenstein, 2015). Fig. 4는 입자 크기를 로그로 치환하여 입경 분포도를 나타내는 그래프이다. 입경 분포도를 보았을 때, 0.18mm에서 0.425mm의 입경을 가진

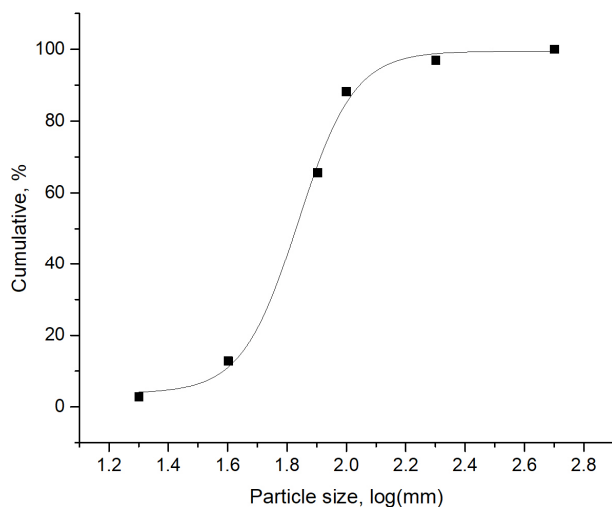


Fig. 4. Fitted curve of a grain-size distribution of dry soil from Gamcheon Port in Busan

입자가 52.8%로 가장 많았고, 0.15mm에서 0.18mm의 입자가 14.6% 두 번째로 많이 분포되어있다.

토양의 입도 분포를 좋고, 나쁨으로 판단하기 위해 Eq. (1)과 Eq. (2)를 사용하여 균등계수와 곡률계수를 구하였다. 두 값을 계산하기 위해 통과질량백분율 10%, 30%, 60%(D₁₀, D₃₀, D₆₀)를 구하였다. D₁₀은 0.075mm, D₃₀은 0.128mm, D₆₀은 0.165mm였으며 균등계수와 곡률계수는 각각 2.194, 1.317이었다. 토양 입자의 균등계수가 4 이상이거나 곡률계수가 1~3일 때 양입도 기준에 만족하여 입도 분포가 양호하다고 판단할 수 있으나 둘 중 하나라도 만족이 안 될 시에는 빈입도 기준에 입도 분포가 좋지 않다고 판단할 수 있다(Onyelowe & Shakeri, 2021). 본 연구에서는 곡률계수는 1.317로 양입도 기준에 만족하나 균등계수가 4 이하로 입도 분포가 좋지 않다고 볼 수 있다. 또한, Yoo et al.(2009)에 따르면 균등계수가 증가할수록 적합수비가 감소하는 경향이 있다 보고하였으며 균등계수 2.194는 높은 적합수비를 가지고 있다고 판단된다.

Table 1은 토양 유형이 다른 이전 연구와 본 연구의 입도 지수를 구하였다(Erguler, 2016). 입도 지수는 미세토양 함량이 증가함에 따라 입도 분포곡선과 영향이 있다는 것을 알 수 있다. 본 연구의 입도 지수는 0.62로 미세토양의 함량이 굵은 토양의 함유량보다 약간 높다고 볼 수 있다.

Table 1. Grain size index (I_{GS}) for different soil types and distribution curve

| References | Grain size index (I _{GS}) |
|---------------------|-------------------------------------|
| Grain size < 0.05mm | 1.00 |
| Al-Mhaidib, 2006 | 0.96 |
| Erguler, 2016 | 0.78 |
| This study | 0.63 |
| Powrie, 2004 | 0.62 |
| Holtz et al., 1981 | 0.33 |
| Craigs, 2004 | 0.21 |
| Grain size > 1mm | 0.00 |

3.2 입경 별 침강속도 및 밀도

Table 2는 Eq. (4)를 이용하여 입경 별 입자 밀도를 구하기 위한 실험 조건이다. 침전실험 이후 각 입경 별 침전 속도를 구하였으며, Table 2에 있는 조건을 사용하여 Eq. (4)에 대입 후 Table 3에 각 입경 별 입자 밀도를 나타내었다.

본 연구의 평균 입자 밀도는 1.93g/cm³며 입자가 작을수록

Table 2. Settling test condition

| ρ (g/cm ³) | T (°C) | μ (g/cm·s) | g (cm/s ²) |
|------------------------|--------|------------|------------------------|
| 0.9988 | 17.1 | 0.0108 | 980.7 |

Table 3. Settling velocity and particle density of each particle size

| Particle size (mm) | V_t (cm/s) | ρ_s (g/cm ³) |
|--------------------|--------------|-------------------------------|
| 4.75 | 278.02 | 1.48 |
| 2.00 | 62.87 | 1.61 |
| 0.85 | 13.84 | 1.67 |
| 0.425 | 4.00 | 1.86 |
| 0.18 | 1.52 | 2.11 |
| 0.15 | 0.78 | 2.21 |
| 0.075 | 0.11 | 2.56 |

침강속도는 감소하고 입자 밀도는 증가한다. 위 결과처럼 입경 별 침강속도와 밀도가 다른 이유는 Eq. (5)~(8)에 의거하여 입자가 유체에 있을 시 적용되는 힘인 중력, 부력, 그리고 항력으로 인하여 입경의 지름과 입자 밀도에 직접적으로 영향을 끼치기 때문이다. 무엇보다 같은 토양이면 입자의 밀도 역시 같아야 하는데 이는 미세토양의 밀도와 전체토양의 평균 밀도에서 차이가 있기 때문이다(Han et al., 2016). 건조된

토양을 막자사발로 분쇄 시 완벽하게 분쇄되었다고 보기 어려우며 뭉쳐진 토양 내에 공극이 존재하는 이유로 입경이 클수록 입자 밀도가 작아지는 결과를 도출할 수 있다.

3.3 수산화나트륨과 산화칼슘을 이용한 중화공정

Fig. 5는 수산화나트륨을 사용하여 각 pH별 질산을 중화시킨 그래프이며 초기 pH는 2에서부터 5까지 설정하였다. pH가 가장 낮은 Fig. 5(a)는 중화지점에 도달하였을 때 가장 가파르게 올라갔고 pH가 높은 Fig. 5(d)는 다른 그래프보다 가장 완만하게 올라갔다. 또한, pH 2의 수산화나트륨 중화 부피비는 106v/v%로 질산의 부피와 거의 동일하였고, 초기 pH 3는 10.7v/v%로 pH 2보다 약 10배 가량 적었으며 pH 4는 1.3v/v% 그리고 pH 5는 0.55v/v%이었다.

Fig. 6은 산화칼슘을 사용하여 각 pH별 질산을 중화시킨 그래프이며, 초기 pH는 Fig. 5와 같이 2에서부터 5까지 설정하였다. 산화칼슘을 이용한 중화공정 역시 수산화나트륨을

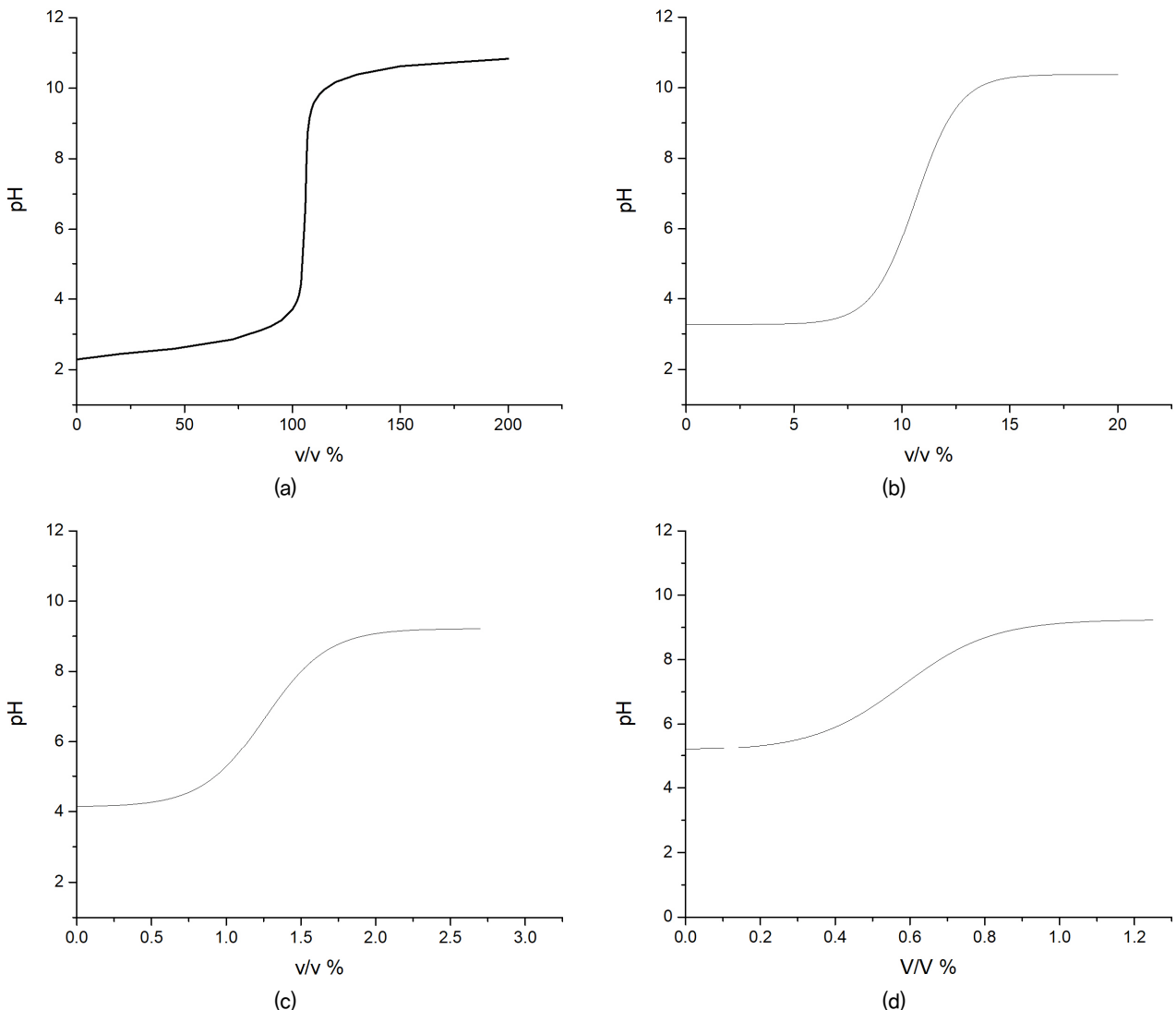


Fig. 5. Titration curve of 0.01M of sodium hydroxide and nitric acid with (a) pH 2, (b) pH 3, (c) pH 4 and (d) pH 5

사용한 중화공정같이 pH가 증가할수록 그래프의 모양은 완만하게 나왔지만 부피비는 약 2배 가량 적게 나왔다. 이는 산화칼슘이 수산화칼슘보다 강한 알칼리성을 띄어서 이다.

본 연구의 궁극적 목표는 산성을 띠는 수질에 중화제를 사용하여 중성에 맞추었을 때 부피비가 5v/v% 미만으로 나

오는 것이며 질산과 수산화나트륨 0.01M의 조건에서는 Fig. 5(c)와 5(d)가 가장 적절하게 나왔다. Table 4는 각 pH와 중화제의 농도 별 부피비를 나타내는 표이다. 질산과 황산 모두 pH 2와 중화제 농도가 0.001M에서는 부피비가 5v/v%를 넘었다. 중화제 농도가 0.1M에서는 pH 3, 4, 5 일 때 5v/v%

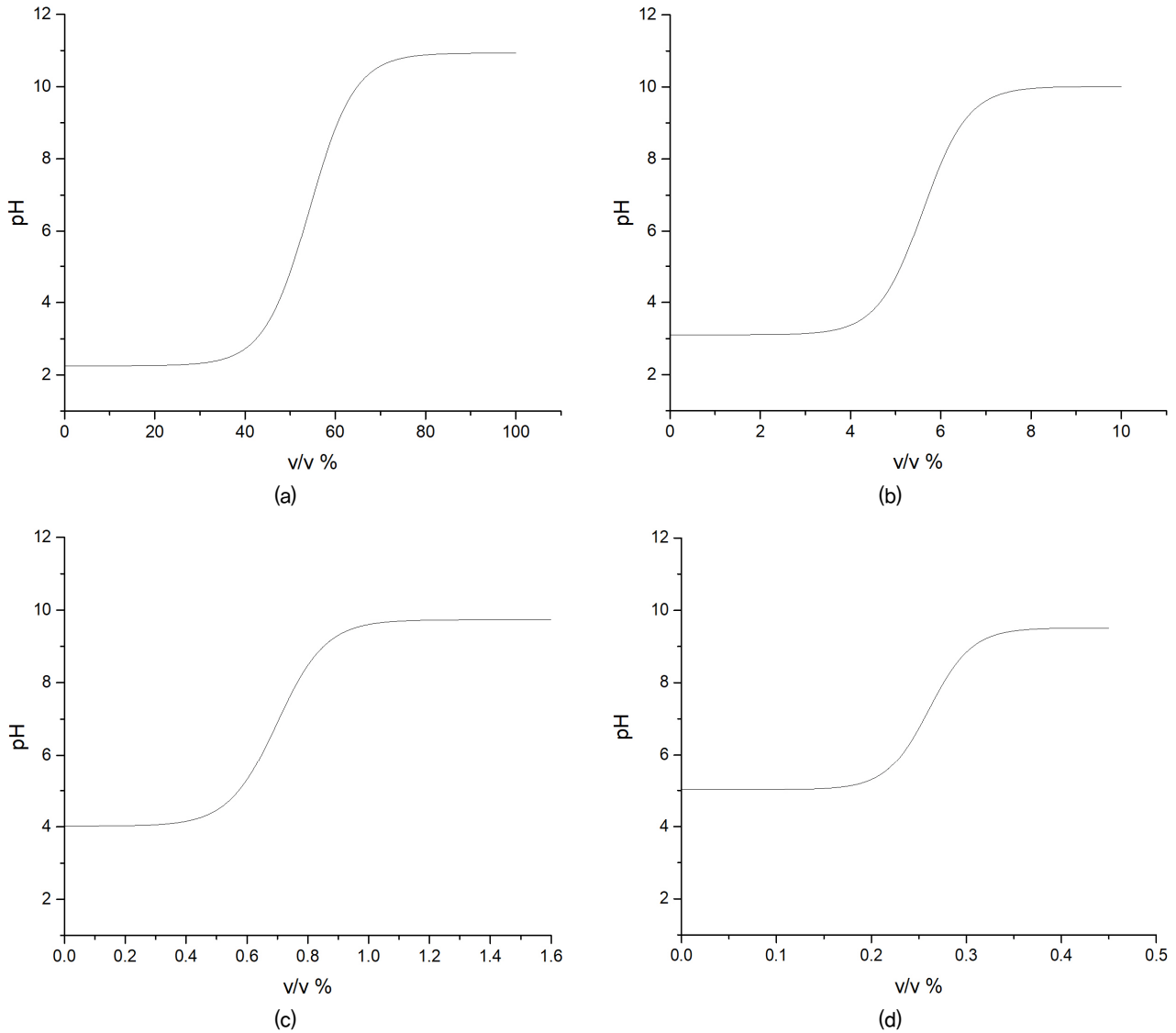


Fig. 6. Titration curve of 0.01M of calcium hydroxide and nitric acid with (a) pH 2, (b) pH 3, (c) pH 4 and (d) pH 5

Table 4. v/v% of pH neutralization by different acid and base condition

| | Initial pH | NaOH (M) | | | Ca(OH) ₂ (M) | | |
|---------------|------------|----------|------|-------|-------------------------|------|-------|
| | | 0.1 | 0.01 | 0.001 | 0.1 | 0.01 | 0.001 |
| Nitric acid | 2 | 40 | 106 | n.d. | 6.8 | 54 | n.d. |
| | 3 | 3.1 | 10.7 | n.d. | 0.7 | 5.55 | n.d. |
| | 4 | 0.28 | 1.3 | n.d. | 0.075 | 0.71 | n.d. |
| | 5 | 0.045 | 0.55 | 7.5 | 0.017 | 0.25 | 27.5 |
| Sulfuric acid | 2 | 23 | n.d. | n.d. | 12.2 | n.d. | n.d. |
| | 3 | 2.1 | 58 | n.d. | 1.1 | 38 | n.d. |
| | 4 | 0.25 | 7 | n.d. | 0.12 | 6 | n.d. |
| | 5 | 0.025 | 0.9 | 9.7 | 0.034 | 0.6 | 25 |

넘기지 않았으며 0.01M에서는 일부만 5v/v% 이하로 나왔다. 또한, 질산 기준 수산화나트륨이 산화칼슘보다 약 2.89배 더 많은 양이 필요하였고 황산은 약 1.40배 더 사용하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 화학사고 하천-호소 오염 대비 침전실험을 위해 일반적인 퇴적토인 부산 감천항의 퇴적토를 이용하여 침식능을 도출하였고, 강산의 중화 공정 실험으로 산성에 의한 화학물질 중화 성능을 도출하였다. 침전 공정에서는 4 이하의 균등계수로 퇴적토의 높은 적함수비와 저질의 입도 분포를 알아내었다. 퇴적토의 입도지수는 0.62이며 굵은 토양의 함유량이 미세토양의 함유량보다 적다는 것을 확인하였다. 침전실험을 통하여 각 입도 별 침강실험을 진행하였고 평균 입자 밀도는 1.93g/cm^3 며 입자가 작을수록 밀도가 증가함을 알아내었다. 입자가 작을수록 밀도가 증가하는 이유는 미세토양일수록 건조퇴적도가 응집되어 있지 않고 굵은 토양보다 공극이 적어서 이다. 중화 공정은 실제 규모의 리액터에 맞게 5v/v%를 기준으로 잡았으며, 각 pH와 중화제 농도별로 부피비를 도출하였다. 질산의 경우 pH 2에서는 모두 기준 부피비를 넘어섰지만 0.1M의 산화칼슘에서 가장 적은 양을 차지하였다. pH 3에선 0.1M의 중화제 농도를 제외하고 모두 기준 부피비를 넘었지만 0.1M에선 수산화나트륨이 산화칼슘보다 4.43배 더 많이 사용되었다. pH 4와 5에선 0.01M을 제외하고 모두 부피비 기준치 안에 들어왔으며 수산화나트륨이 약 2.60배 높게 사용되었다. 황산의 경우 질산과 마찬가지로 산화칼슘이 수산화나트륨보다 더 적은 부피비를 차지하였으며 약 1.4배 적은양을 사용하였다. 이처럼 질산과 황산 모두 산화칼슘이 수산화나트륨보다 적합한 효과를 보여주었다.

두 공정은 흡착, 휘발, 산화, 생분해 등 오염물질 제거공정 이전에 사용되는 전처리 공정이며 오염물질 제거에 최적화할 수 있는 조건을 만들어 주기 위해 필요로 한 공정이다. 또한, 두 공정은 화학물질 별 침식능 혹은 빠른 중화공정이 필요한 긴급 상황을 대비하기 위한 목적으로도 사용될 것이다.

감사의 글

본 연구는 환경부 화학사고 환경피해저감 기술사업의 일환으로 수행되었으며(과제번호 2020001960002), 이에 감사드립니다.

References

1. 중앙119구조본부 (2020), 화학사고 현장대응 매뉴얼, 발간등록번호 11-1661010-000006-01, 소방청 중앙119구조본부, pp. 134-145.
2. Arabia, S. (2006), Swelling behavior of expansive shale: a case study from ABDULLAH I. AL-MHAIDIB, *Expansive Soils*, CRC Press, pp. 285~300.
3. Cheng, N. S. (1997), Simplified settling velocity formula for sediment particle, *Journal of hydraulic engineering*, Vol. 123, No. 2, pp. 149~152.
4. Craig, R. F. (2004), *Craig's soil mechanics*, Taylor & Francis Group, London.
5. Erguler, Z. A. (2016), A quantitative method of describing grain size distribution of soils and some examples for its applications, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 75, No. 2, pp. 807~819.
6. Erguler, Z. A. and Shakoor, A. (2009), Quantification of fragment size distribution of clay-bearing rocks after slake durability testing, *Environmental & Engineering Geoscience*, Vol. 15, No. 2, pp. 81~89.
7. Erguler, Z. A. and Shakoor, A. (2009), Relative contribution of various climatic processes in disintegration of clay-bearing rocks, *Engineering Geology*, Vol. 108, No. 1~2, pp. 36~42.
8. Gao, H. and Stenstrom, M. K. (2020), Development and applications in computational fluid dynamics modeling for secondary settling tanks over the last three decades: A review, *Water Environment Research*, Vol. 92, No. 6, pp. 796~820.
9. Garcia-Gaines, R. A. and Frankenstein, S. (2015), USCS and the USDA soil classification system: Development of a mapping scheme, ERDC/CRREL TR-15-4, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, pp. 5~8.
10. Han, Y., Zhang, J., Mattson, K. G., Zhang, W. and Weber, T. A. (2016), Sample sizes to control error estimates in determining soil bulk density in California forest soils, *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 80, No. 3, pp. 756~764.
11. Holtz, R. D., Kovacs, W. D. and Sheahan, T. C. (1981), *An introduction to geotechnical engineering*, Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
12. Hu, Z. H., Wang, G. and Yu, H. Q. (2004), Anaerobic degradation of cellulose by rumen microorganisms at various pH values, *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 21, No. 1, pp. 59~62.
13. Kim, K., Yoon, S., Kwon, H. A. and Choi, Y. (2020), Effects of treatment agents during acid washing and pH neutralization on the fertility of heavy metal-impacted dredged marine sediment as plant-growing soil, *Environmental Pollution*, Vol. 267.
14. Li, B. and Stenstrom, M. K. (2014), Research advances and challenges in one-dimensional modeling of secondary settling tanks—a critical review, *Water research*, Vol. 65, pp. 40~63.
15. Onyelowe, K. C. and Shakeri, J. (2021), Intelligent prediction of coefficients of curvature and uniformity of hybrid cement modified unsaturated soil with NQF inclusion, *Cleaner Engineering and Technology*, Vol. 4, 100152.
16. Oseen, C. W. (1927), *Neuere methoden und ergebnisse in der hydrodynamik*. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft mb H.
17. Powrie, W. (2004), *Soil Mechanics: Concepts and Applications*, Taylor & Francis Group, London.
18. Raudkivi, A. J. (1990), *Loose boundary hydraulics*, Technical

- report, Pergamon Press, Oxford, Vol. 3.
19. Reyes, A., Letelier, M. V., De la Iglesia, R., Gonzalez, B. and Lagos, G. (2008), Microbiologically induced corrosion of copper pipes in low-pH water, *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 61, No. 2, pp. 135~141.
 20. Sha, Y. Q. (1956), Basic principles of sediment transport. *J. Sediment Res*, Vol. 1, No. 2, pp. 1~54.
 21. Stokes, G. G. (1851), On the effect of the internal friction of fluids on the motion of pendulums, *Transaction of the Cambridge Philosophical Society*, Vol. 9, pp. 8.
 22. Yoo, K. S., Kim, D. K. and Yoo, N. J. (2009), A study on the soil water characteristic curve with change of coefficient of uniform in compacted granitic soils, *Journal of Industrial Technology*, Vol. 29 A, pp. 145~153.
 23. Zanke, U. (1977), Berechnung der Sinkgeschwindigkeiten von Sedimenten, Vol. 46, pp. 230~245
 24. Zodi, S., Louvet, J. N., Michon, C., Potier, O., Pons, M. N., Lopicque, F. and Leclerc, J. P. (2011), Electrocoagulation as a tertiary treatment for paper mill wastewater: Removal of non-biodegradable organic pollution and arsenic, *Separation and purification Technology*, Vol. 81, No. 1, pp. 62~68.