

자성분말체를 이용한 황토수에 포함된 부유물질 제거에 관한 연구

김윤정 · 김동규 · 이혁희 · 장태선[†]

한국화학연구원 신화학연구원 환경에너지연구센터

(2008년 2월 18일 접수, 2008년 6월 16일 채택)

A Study on the Removal of Suspended Solids Included in Yellow Soil Water by Using Magnetic Powders

Yun Jeong Kim · Dong Gyu Kim · Huk Hee Lee · Tae Sun Chang[†]

Environment & Energy Research Center, Sustainable Chemical Technologies, Korea Research Institute of Chemical Technology

ABSTRACT : When suspended solids are removed by natural sedimentation, it is necessary to use mainly huge equipments and waste great cost. This is a problem that must be solved certainly as soon as possible. In this study, suspended solids of yellow soil water were rapidly removed by controlling pH and amounts of magnetic powder, organic and inorganic flocculants. In the case of the suspended solids of 0.3% yellow soil water, the most excellent turbidity was achieved at pH between 7 and 7.5.

Key Words : Magnetic Powder, Yellow Soil Water, Suspended Solids, Solid-liquid Separation, Rapid Removal

요약 : 수중에 포함된 진흙 및 흙탕물 등의 부유물질을 제거하기 위해 자연 침강방법을 이용할 경우 수처리 시간이 장시간 소요됨으로써, 거대설비가 필요할 뿐만 아니라 이에 따른 많은 인력이 동원되어야 한다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 진흙 및 흙탕물 등의 부유물질을 제거하기 위한 방법으로 자성분말체를 이용하여 황토수의 부유물질을 고속으로 제거하기 위한 조건을 확인하였다. 부유물질이 0.3%인 황토수의 부유물질을 고효율적으로 제거하기 위해서는 수중의 pH가 7.0~7.5, 마그네사이트의 자성분말체가 0.1~0.2%, 무기응집제인 황산알루미늄이 알루미늄으로서 13 ppm, 아크릴아마이드 계열의 고분자응집제 0.5 ppm의 농도를 유지함으로써, 황토수의 부유물질 제거율이 극대화되었다.

주제어 : 자성분말체, 황토수, 부유물질, 고·액분리, 고속제거

1. 서론

강원 영서지역은 하절기 시 집중호우에 의해 하천이 범람하여 고령지의 무분별한 채소밭 토사가 유출되며, 댐에는 상류에서 하천수와 동시에 토사가 유입되는 일이 빈번하게 일어나고 있다. 토사 유입이 장기간에 걸쳐 퇴적되면 저수 용량이 서서히 감소하고, 특히 댐의 기능이 손상된다. 대부분의 흙탕물이 전 구간에서 유입되어 탁수가 수돗물 오염화의 주범이 될 뿐만 아니라 고령지로부터 흘러 내려온 유기물질이 많아 부영양화가 발생하고 햇빛이 들어가지 않아 수초가 잘 자라지 않고, 물고기도 잡히지 않아 수질생태계의 교란이 일어날 수 있는 문제점이 발생할 수 있다.

또한 건설 현장의 진흙 처리는 대량 발생한 토목 현장에서 큰 과제로 되어 있다. 대부분 시공업체들이 하천오염 방지 시설을 제대로 설치하지 않고 공사에 나서면서 정화되지 않은 흙탕물 등이 그대로 하천과 강을 통하여 바다로 흘러들어 연안 바다를 오염시킨다. 진흙은 작은 입자가 되

어 넓은 바다로 퍼져 가라앉아 작은 물고기와 조개류, 바닷풀 등에 피해를 주게 된다. 특히 건설 현장에서 유입된 흙탕물은 햇볕 투입 및 산소 공급을 막아 인근 하천 마다 부영양화 현상까지 발생하게 하는 등 환경오염의 주범이 되고 있다.

일반적으로 응집제 첨가에 의한 화학적 처리방법을 이용하여 토양의 점토성 물질인 수중의 진흙을 제거하고 있으며, 이외에도 킬레이트제,^{1~3)} 촉매,^{4,5)} 역삼투압,^{6,7)} 흡착제,^{8~10)} 이온교환^{11,12)} 등의 방법을 이용하고 있다.

응집이란 분산성 현탁입자(suspended solids)를 집합시키고, 입자경을 크게 하여 고·액분리¹³⁾를 용이하게 하는 작용을 말하는 것으로서, 반데르발스 힘(Van der Waals' force)만으로는 결합력이 약하게 됨에 따라 입자와 입자간의 결합을 위해서 유·무기 응집제^{14~17)}를 폐수에 투입하여 폐수 중에 분산된 부유물질 입자들간의 점착력을 부여하면서 응결 및 가교, 흡착으로 결합력이 비약적으로 증대되어 거대화에 의한 플록이 형성된다. 비중에 의한 고·액분리를 쉽게 하기 위하여 유·무기 응집제를 첨가하여 자연 침강을 하게 되며, 수중에 부유물질을 제거하기 위하여 응집제를 투여할 경우 음전하를 띠고 있는 부유물질들은 양전

[†] Corresponding author

E-mail: tschang@kriict.re.kr

Tel: 042-860-7577

Fax: 042-860-7598

하를 띠고 있는 유·무기 응집제 및 보조제에 의해 무전하상태가 형성됨과 동시에 큰 플록이 형성되며, 큰 비중에 의해 자연 침강하게 된 플록을 탈수방법에 의해 제거하게 된다.

그러나 수중에 포함된 진흙 및 흙탕물 등의 부유물질을 제거하기 위해 자연 침강방법을 이용할 경우 수처리 시간이 장시간 소요됨으로 거대설비가 필요할 뿐만 아니라 이에 따른 많은 인력이 동원되어야 하므로 기업의 경제성이 크게 떨어진다는 단점을 가지고 있다.

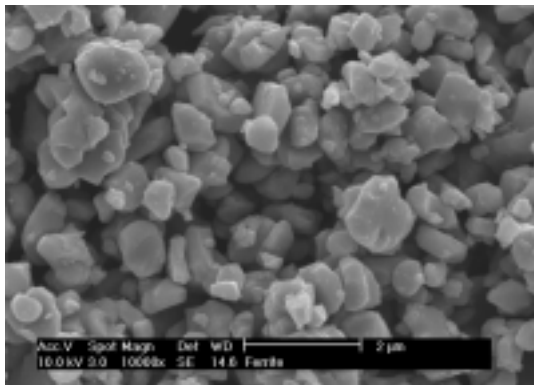
따라서 본 연구에서는 토양으로부터 오염된 수중의 진흙이나 흙탕물 등의 부유물질을 자성분말체를 이용하여 고속으로 제거하기 위한 수처리 공정^{18~20)}을 확인하기 위하여 부유물질의 명확한 농도를 제공할 수 있는 임의의 황토수를 이용하여 자성분말체와 수질의 영향인자를 조절한 후 수처리시간 단축에 의한 경제성을 제공하면서 고효율의 부유물질을 제거하기 위한 조건을 확인하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

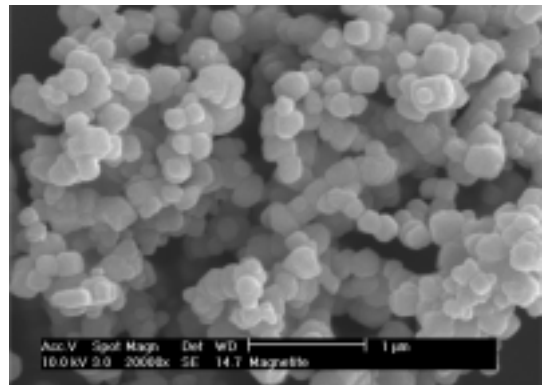
2.1. 실험재료

본 연구는 일정한 농도의 진흙 또는 흙탕물을 제공하기 위하여 1 L 메스실린더에 2차 증류수를 채우고 일정량의 고창황토를 첨가한 후 균일하게 분산시켜 부유물질을 제조하여 사용하였으며, 응집제는 (주)동양제철화학의 무기응집제($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 \sim 18H_2O$)와 (주)이양화학의 폴리아크릴아마이드 계통의 고분자 응집제를 희석하여 사용하였다.

자성분말체는 (주)보광화학의 마그네타이트(Fe_3O_4)와 (주)토다페라이트 코리아(Toda ferrite Korea의 hard type)의 등방성 페라이트를 이용하였으며, 이에 대한 자성분말체의 전자현미경(Philips XL30S FEG Scanning Electron Microscope) 형상을 Fig. 1에 나타냈다. 수처리를 위해 수중에 투입된 자성분말체의 고·액분리를 위하여 0.477 테슬라의 NdFeB 자석을 이용하였으며, pH를 조절하기 위하여 (주)동양제철화학의 수산화나트륨(NaOH)과 황산(H_2SO_4)을 희석하여 사용하였다.



(a)



(b)

Fig. 1. SEM photographs of (a) ferrite and (b) magnetite magnetic powders.

2.2. 실험방법

일정한 농도로 제조된 황토수의 pH 변화, 자성분말체의 첨가량 및 유·무기 응집제 농도에 따라 부유물질을 고속으로 제거하기 위하여 각각의 조건에 따른 침강속도, 탁도 및 증금속을 확인하여 수중의 진흙이나 흙탕물 등 부유물질의 고속제거를 위한 수처리 공정의 영향인자를 확인하였다.

실험방법에 따른 pH는 Thermo사 Orion 3Star meter를 이용하였으며, 탁도는 LaMotte사 2020e 디지털 탁도계를 이용하였고, 증금속은 KS M1948 방법에 의해 수행하였다.

2.2.1. pH에 따른 변화

1 L의 증류수를 채우고 3 g의 황토를 정확히 첨가한 후 진탕하여 인공적으로 0.3%의 황토수를 준비하였으며, 희석된 수산화나트륨과 황산을 이용하여 pH를 각각 5.0, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 9.0, 10으로 정확히 조절하고, 무기응집제(Alum) 3 mL를 첨가한 후 진탕하여 Al이 39 ppm의 농도를 유지하도록 균일하게 혼합해 주었다. 곧바로 이곳에 각각의 마그네타이트 및 페라이트 자성분말체 분말 3 g과 희석된 고분자응집제 1 mL를 정확히 분취하여 1.0 ppm이 되도록 격렬히 진탕하고, 이를 방치한 후 곧바로 부유물질의 침강속도를 확인하였으며, 10분 후 메스실린더의 상층부 수면으로부터 10 cm 위치의 물을 채취하여 탁도를 분석하였다.

2.2.2. 자성분말체의 첨가량에 따른 변화

인공적으로 제조된 0.3%의 황토수 1 L에 무기응집제(Alum)를 첨가하여 Al이 39 ppm의 농도를 유지하도록 균일하게 혼합해준 다음 희석된 NaOH를 이용하여 pH를 7.5로 정확히 조절하였다. 이곳에 각각의 자성분말을 0.5~50 g의 범위 내에 첨가하고, 수중의 고분자응집제의 농도가 1 ppm이 되도록 분취하고, 이를 격렬히 진탕하여 이를 방치한 후 곧바로 메스실린더의 상층부로부터 매우 느린 속도로 자석을 진탕된 수용액에 침적시켜 자성에 의한 부유물질의 제거를 실시하였다. 또한 부유물질의 자성에 의한 고·액분

Table 1. Analysis results of yellow soil water on the pH change

	Magnetite			Ferrite		
	Precipitation time (sec)	Turbidity (NTU)	Heavy metal as Pb (ppm less than)	Precipitation time (sec)	Turbidity (NTU)	Heavy metal as Pb (ppm less than)
original water	1,800 more than	76.3	0.1	1,800 more than	74.2	0.1
pH 10	1,200 more than	17.7	0.1	1,200 more than	15.4	0.1
pH 9.0	364	5.94	0.1	342	5.04	0.1
pH 8.0	228	4.90	0.1	202	4.52	0.1
pH 7.5	211	4.48	0.1	179	4.18	0.1
pH 7.0	201	3.98	0.1	170	3.68	0.1
pH 6.5	218	4.21	0.1	204	3.92	0.1
pH 6.0	432	4.88	0.1	364	4.25	0.1
pH 5.0	1,200 more than	21.8	0.1	1,200 more than	20.4	0.1

리 여부를 관능법으로 확인하였다. 분석을 위한 시료채취는 동일하게 수행하였으며, 자성을 이용한 부유물질의 제거 과정은 디지털 카메라로 촬영하였다.

2.2.3. 유·무기 응집제 농도에 따른 변화

유·무기 응집제 농도에 따른 변화를 살펴보기 위하여 1 L 메스실린더에 인공적으로 0.3%의 황토수를 제조하였다. 무기응집제(Alum)인 경우 수중의 Al의 농도를 1.3~39 ppm로 변화시키고, pH를 7.5로 정확히 조절한 후 이곳에 자성분말체 분말 3 g(0.3%)을 각각 첨가하였으며, 고분자응집제의 농도가 1 ppm이 되도록 하였다. 유기응집제의 경우 무기응집제로서 Al의 농도가 26 ppm이 되도록 하고, pH가 7.5로 조절한 후 자성분말체가 0.3%의 농도로 되도록 조정하였으며, 이곳에 고분자응집제 농도가 1.0~20 ppm이 되도록 분취한 후 진탕하여 균일하게 혼합하고, 실험방법에 따른 변화를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. pH의 변화에 따른 영향

pH 변화에 따른 부유물질의 침강소요시간과 탁도, 중금속의 분석결과를 Table 1에 나타냈다. pH 6.5~8의 광범위한 범위에서 자성분말체와 부유물질인 황토가 서로 플록을 형성하여 빠른 속도로 침강하였으며, 탁도도 비교적 낮은 수치를 나타냈다. 특히 pH에 따른 침강속도 및 탁도는 pH 7.0~7.5에서 가장 좋은 결과가 나타난 반면, pH 6 이하 또는 pH 9 이상에서는 플록의 형성이 잘 이루어지지 않았으며, 플록 상태가 저조하여 침강속도가 매우 느림을 확인할 수 있었다.

또한 수중에 포함된 중금속의 측정결과 모두 0.1 ppm 이하로 pH에 따른 중금속의 영향은 받지 않았다.

3.2. 자성분말체 첨가량에 따른 영향

황토수에 자성분말체를 지나치게 과량이나 소량으로 첨가할 경우 탁도가 상대적으로 높게 나왔으며, 마그네타이트

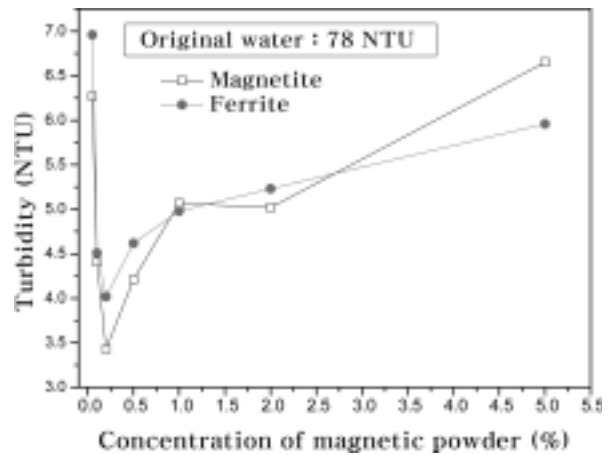


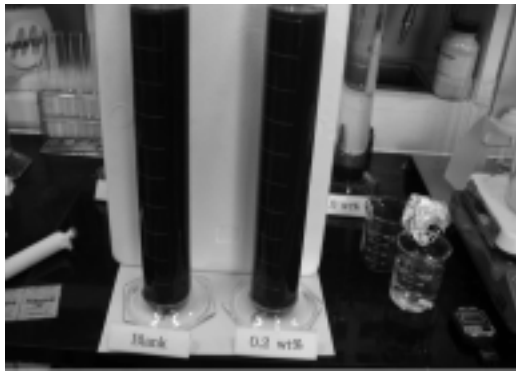
Fig. 2. The dependence of turbidity on concentration of magnetic powder.

및 페라이트의 자성분말체가 0.2%의 농도를 유지할 때 Fig. 2에서 나타난 바와 같이 탁도가 가장 낮게 나타났음을 확인할 수 있었으며, 자성분말체 중 페라이트 보다 마그네타이트 분말을 이용할 때 수처리 효율이 높게 나타났으며, 고·액분리 과정 중 작업성이 우수하였다. Fig. 3에서와 같이 유·무기 응집제 및 자성분말체를 이용하여 황토수에 자성분말체가 포함된 응집된 부유물질은 진탕된 메스실린더의 상층부터 자석을 침적시켜 고·액 분리를 함으로써 매우 청정한 수질을 얻을 수 있었다.

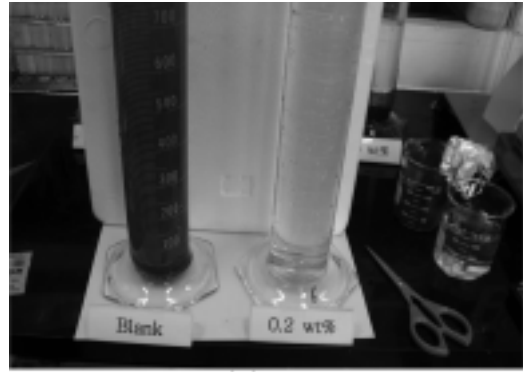
3.3. 유·무기응집제 첨가량에 따른 영향

용해된 유·무기응집제의 첨가량에 따른 탁도 변화를 Fig. 4와 5에 나타냈다. 무기 응집제의 첨가량이 증가할수록 탁도가 대체적으로 감소하는 경향을 나타냈으며, 무기 응집제의 농도가 6.5 ppm일 때 탁도가 급격히 저감되었으며, 시각적 관능법에 의한 플록 및 자성분말체의 침강성은 무기 응집제의 농도가 13 ppm일 때 가장 우수한 결과를 나타냈다.

유기응집제는 아크릴아마이드 계열의 고분자 응집제가 0.2 ppm 이상의 농도를 유지할 때 플록이 효과적으로 형성되



(a)



(b)

Fig. 3. Water clarity effect on flocculant and magnetic powder.

(a): Addition of 2 g magnetic powder, (b): Addition of 2 g magnetic powder and organic, inorganic flocculant.

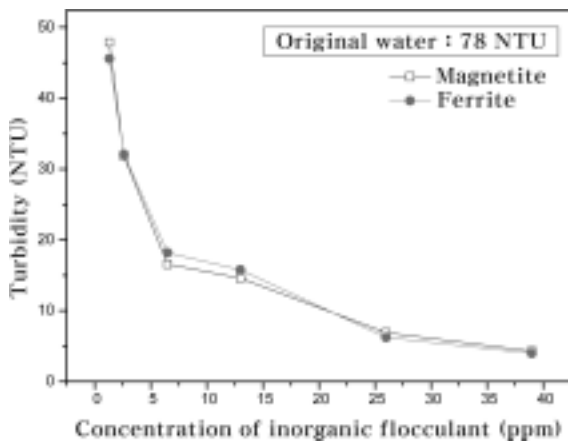


Fig. 4. The dependence of turbidity on concentration of inorganic flocculant.

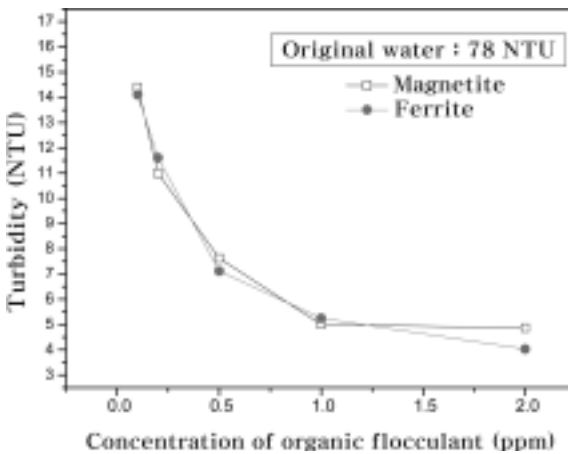


Fig. 5. The dependence of turbidity on concentration of organic flocculant.

있으며, 0.5 ppm의 농도 이상부터는 물속에 미세하고 가라앉지 않는 플록의 양이 적어져 상당히 깨끗해지는 모습을 관찰할 수 있었다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 대체적으로 고분자 응집제의 첨가량이 증가할수록 탁도가 감소하는 경향을 나타내고 있으나 고분자응집제는 COD 증가 원인이 될 수 있어 0.5 ppm의 농도를 유지하는 것이 가장 적합할

것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구의 자성분말체를 이용하여 황토수에 포함된 부유물질의 고속제거에 관한 연구결과, 수중에 오염된 진흙이나 흙탕물의 부유물질을 제거하기 위해서는 여러 가지의 변수에 따라 달라짐을 관찰할 수 있었다. 자성분말체를 이용하여 진흙이나 흙탕물로 오염된 부유물질을 고속으로 제거하면서 경제성을 제공하기 위해서 다양한 반응 변수를 기하였고, 양에 따라 최적의 부유물질 제거조건을 확립하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 자성분말체를 이용하여 수중에 포함된 황토수를 제거하기 위해서는 pH 7.0~7.5에서 탁도와 침강속도가 가장 우수하였으며, pH 6 이하 또는 pH 9 이상에서는 자성분말체가 함께 혼합됨에도 불구하고, 플록 형성이 잘 이루어지지 않아 외부의 자력을 가할지라도 명확한 고·액분리가 되지 않았으며 수처리효율이 저조하였다.

2) 자성분말체가 0.2%의 농도를 유지할 때 외부 자력으로부터 고·액분리가 명확히 됨에 따라 탁도가 가장 적게 나타났으며, 부유물질이 0.3%의 황토수인 경우 자성분말체의 첨가량이 0.05~0.2%의 범위로 사용이 가능함을 알 수 있었으며, 가장 명확한 황토수의 부유물질 제거를 위해서는 0.2%의 농도로 유지되어야 하며, 본 연구에서 경제성 및 환경오염성을 고려할 때 0.1~0.2%의 범주안의 자성분말체가 함유되는 것이 가장 유리할 것으로 판단되었다.

3) 유·무기 응집제의 첨가량이 증가할수록 탁도가 대체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 임의로 제조된 0.3%의 황토수를 제거하기 위해서는 아크릴아마이드 계열의 고분자응집제의 농도가 0.5 ppm, 무기응집제인 황산알루미늄이 알루미늄이온으로서 13 ppm의 농도로 처리하는 것이 가장 효과적임을 알 수 있었다.

4) 자성분말체를 이용하여 황토수에 포함된 부유물질을 고속으로 제거하기 위해서는 페라이트보다는 마그네타이트가 더욱 효과적임이 확인되었다.

참 고 문 헌

1. Juang, R.-S., Chen, M.-N., "Removal of Copper(II) Chelates of EDTA and NTA from Dilute Aqueous Solutions by Membrane Filtration," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **36**(1), 179~186(1997).
2. Ruey-Shin Juang, Feng-Chin Wu, Ru-Ling Tseng, "Adsorption removal of copper(II) using chitosan from simulated rinse solutions containing chelating agents," *Water Res.*, **33**(10), 2403~2409(1999).
3. Robert D. Hancock, Peter W. Wade, M. Patrick Ngwenya, Alvaro S. De Sousa, Kirty V. Damu, "Ligand design for complexation in aqueous solution. 2. Chelate ring size as a basis for control of size-based selectivity for metal ions," *Inorg. Chem.*, **29**(10), 1968~1974(1990).
4. Feng, J., Hu, X., Yue, P. L., "Discoloration and Mineralization of Orange II Using Different Heterogeneous Catalysts Containing Fe," *Environ. Sci. Technol.*, **38**(21), 5773~5778(2004).
5. Yasumichi Matsumoto, Hideaki Nagai, Eiichi Sato., "Photocatalytic oxidation of sulfur on titanium dioxide," *J. Phys. Chem.*, **86**(24), 4664~4668(1982).
6. Kellyn S. Betts., "Rotating ion-exchange system removes perchlorate," *Environ. Sci. Technol.*, A-Pages, **32**(19), 454 A~455 A(1998).
7. Herbert H. P. Fang, Edward S. K. Chian., "Reverse osmosis separation of polar organic compounds in aqueous solution," *Environ. Sci. Technol.*, **10**(4), 364~369(1976).
8. Kong, Y. G., Cha, C. Y., "NOx Abatement with Carbon Adsorbents and Microwave Energy," *Energy Fuels*, **9**(6), 971~975(1995).
9. Zhang, J. P., Wang, Q., Smith, T. R., Hurst, W. E., Sulpizio, T., "Endotoxin Removal Using a Synthetic Adsorbent of Crystalline Calcium Silicate Hydrate," *Bio-technol. Prog.*, **21**(4), 1220~1225(2005).
10. 오창건, 안주현, 임신기, "폐수중의 유기물 제거를 위한 고분자 흡착제의 개발," 1999년 추계학술대회발표회 논문집2, (1999).
11. Lin, S. H., Wu, C. L., "Ammonia Removal from Aqueous Solution by Ion Exchange," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **35**(2), 553~558(1996).
12. Barney, D. L., Kent, C. E., "Ion Exchange Separation Processes for Niobium and Tantalum," *Ind. Eng. Chem. Process. Des., Dev.*, **7**(1), 1~5(1968).
13. 라덕관, "유동층에 의한 활성슬러지 혼합액의 고속 고액 분리," 대한환경공학회지, **18**(1), 91~100(1996).
14. Yu, Y., Zhuang, Y.-Y., Li, Y., Qiu, M.-Q., "Effect of Dye Structure on the Interaction between Organic Flocculant PAN-DCD and Dye," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **41**(6), 1589~1596(2002).
15. Dominguez, J. R., Beltran de Heredia, J., Gonzalez, T., Sanchez-Lavado, F., "Evaluation of Ferric Chloride as a Coagulant for Cork Processing Wastewaters. Influence of the Operating Conditions on the Removal of Organic Matter and Settability Parameters," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **44**(17), 6539~6548(2005).
16. 신명철, 최상준, 이석훈, 신준호, 박이순., "고분자응집제를 이용한 상수처리의 효율 향상," 대한환경공학회지, **19**(8), 1043~1050(1997).
17. 박홍석, 이상윤, "정수처리에서 응집제 종류와 분리공정이 조류 제거에 미치는 영향," 대한환경공학회지, **22**(2), 279~289(2000).
18. 이종일, 태범석, 박영우, "Ferrite 첨가에 의한 산업폐수 중의 부유물 제거," 대한환경공학회지, **17**(10), 1031~1039(1995).
19. 손희중, 노재순, 김상구, 황영도, 권기원, 김원경, "자성체 이온교환수지를 이용한 응집공정의 최적화," 대한환경공학회지, **26**(1), 40~51(2004).
20. Kim, Y.-H., Suh, K.-H., Oh, C.-S., "Removal of Suspended Solids in Livestock Wastewater Using Magnetic Fluid Separation," *Journal of the Korean Institute of Chemical Engineers*, **38**(2), 277~281(2000).