

완전 혼화조를 이용한 폐수처리 공정의 응집특성

김동준¹ · 박상규² · 이용호² · 양희천[†]

(원고접수일 : 2009년 8월 25일, 원고수정일 : 2009년 9월 24일, 심사완료일 : 2009년 10월 7일)

Coagulation Characteristics of Wastewater Treatment Process Using Completely Mixed Chamber

Dong-Jun Kim¹ · Sang-Kyoo Park² · Yong-Ho Lee² · Hei-Cheon Yang[†]

요 약 : 본 논문은 완전 혼화조를 이용한 폐수처리 공정의 응집특성에 대한 연구를 목적으로 한다. 완전 혼화조 시스템은 유체 저장조, 임펠러가 장착된 3단의 혼화 및 응집부, 응집보조제 및 응집제 주입부, 응집 침전조 그리고 제어부로 구성된다. 실험용 폐수는 터널 공사현장에서 폐수 슬러지를 수거하여 약 1,000NTU의 탁도를 갖도록 만들었다. 응집보조제의 주입량이 증가함에 따라 약 99% 정도까지 탁도 제거율이 증가하였으며, 응집제의 주입량이 일정한 범위 이상으로 증가하면 탁도 제거율이 감소하는 것을 알 수 있다.

주제어 : 완전 혼화조, 폐수처리, 응집, 응집제, 탁도 제거

Abstract: The objective of this study is to investigate the coagulation characteristics of the completely mixed chamber for wastewater treatment. The completely mixed chamber system was composed of the reservoirs, the three-stage mixing and coagulation part with propeller impeller, the injection parts of coagulants, a sedimentation tank and a control panel. Wastewater sample of pH 8.5 and initial turbidity 1,000NTU was prepared using sludge taken from a tunneling work site. The efficiency of turbidity removal with increasing the dosage of coagulant aids increased by about 99%. Increasing coagulant above the optimal dosage, however, the efficiency of turbidity removal decreased.

Key words: Completely mixed chamber, Wastewater treatment, Coagulation, Coagulant, Turbidity removal

1. 서 론

급격한 산업화 및 도시화 과정, 인구 및 소비활동의 증가 등으로 인하여 환경오염이 악화되고, 오염물질의 배출이 증가하는 추세에 있다. 이러한 추세에 따라 수질오염이 심화되고, 지구의 환경변화 등으로 인하여 수자원의 고갈 문제가 심각해지면서 수처리 기술에 대한 중요성이 강조되고 있다.

폐수를 처리하지 않고 방류하거나 불안전하게 처리하면, 폐수 내 유기물질이 분해되어 악취를 발생하거나 중금속 등의 유해물질을 포함하게 된다. 이러한 폐수를 발생원으로부터 유해하지 않도록 처리하기 위해 투여하는 처리약품이 응집제(coagulant)이다. 일반적으로 응집제를 투여하는 혼화 및 응집(coagulation)공정은 전체 폐수 처리공정의 전체

[†] 교신저자(전남대학교(여수) 기계자동차공학부, E-mail:hcyang@chonnam.ac.kr, Tel: 061-659-3223)

* 전남대학교(여수) 자동차시스템공학과

** 전남대학교(여수) 기계자동차공학부

리 공정으로서 후속 공정의 효율에 영향을 미치는 중요한 공정이다. 이와 같은 전처리 공정의 목적은 음의 전하로 대전되어 침전이나 여과되지 않고 안정하게 부유하는 처리 원수내의 오염물질을 불안정화시켜 미세 플럭(micro floc) 형성을 촉진시키고, 형성된 미세 플럭을 침전 및 여과 공정에서 제거할 수 있도록 성장시키기 위한 것이다. 혼화 및 응집공정에 영향을 미치는 인자로는 처리약품의 종류 및 주입량, 처리 원수의 pH, 알칼리도, 오염물질 농도 및 온도 등이며, 또한 혼화 및 응집공정이 발생하는 장소, 임펠러 형상, 혼화강도 및 시간 등이 있다[1-3].

혼화 및 응집공정은 크게 외부로부터 필요한 에너지를 공급받는 기계식과 수류 자체의 에너지를 이용하는 수리적(hydraulic) 방식으로 구분된다[3]. 수리적 방식은 손실수두가 크고 수량이나 수질이 급변할 때 혼화강도의 조절기능이 없으며, 유량변화에 대한 응집효율이 낮아지는 단점을 갖고 있어 최근에는 사용되는 곳이 제한적이다. 한편 기계식의 완전 혼화조(completely mixed chamber)는 현재 가장 많이 이용되는 방식으로 혼화지 수중에 설치된 임펠러를 회전시켜 혼화하므로 임펠러의 회전속도를 변화시켜 혼화강도를 조절할 수 있고, 유량변화에 대한 적응성이 양호한 특성을 갖는다. 이와 같은 특징을 갖고 있는 기계식 완전 혼화조에 대한 연구는 크게 혼화특성[4-7]과 응집제의 종류 및 주입량에 따른 응집특성[8-16]에 대한 연구가 주류를 이루고 있다.

기계식 완전 혼화조가 설치된 실제 현장의 폐수 처리 시설은 일반적으로 여러 단계의 혼화 및 응집 과정을 거치게 된다. 왜냐하면 혼화 및 응집공정에서 주 응집제 하나만 주입하는 것이 아니라 pH 조절제, 응집보조제 등의 처리 약품들을 처리특성에 맞게 주입하게 되는데, 이들 처리 약품들을 동시에 주입하게 되면 상호 간섭작용을 일으켜 처리효율을 저하시키기 때문이다. 따라서 본 연구는 국내 수처리 시설의 설계기준을 적용하여 3단 기계식 완전 혼화장치를 제작하고, 응집제 및 응집보조제의 주입량과 혼화시간에 따른 응집특성에 대한 규명을 목적으로 한다.

2. 혼화 및 응집이론

2.1 급속 혼화(rapid mixing) 이론

폐수 처리공정에서 응집제를 균일하게 혼화하고 응집제와 부유입자가 적절히 접촉하도록 하기 위해서는 빠르고 격렬한 급속혼화가 요구된다. 일반적으로 처리 원수가 급속 혼화조에 체류하는 동안에 응집과정은 충분히 진행되어 미세 플럭을 생성하게 되고, 완속 혼화 조에서는 응집보조제에 의한 미세 플럭들의 상호작용으로 침전이 가능한 큰 플럭이 생성된다. Figure 1은 급속혼화와 완속 혼화조에서의 플럭형성에 가장 일반적으로 이용되는 기계식 완전 혼화조의 개략도를 나타낸다.

기계식의 혼화강도는 다음과 같은 속도경사(velocity gradient)식을 이용하여 계산한다[3].

$$G = \sqrt{\frac{W}{\mu}} = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (1)$$

여기서 G 는 속도경사, W 는 혼화조의 단위 체적당 처리 원수에 주어지는 동력, μ 는 점성계수, P 는 처리 원수에 주어지는 동력, V 는 혼화조의 체적을 나타낸다. 기계식 혼화장치에는 프로펠러형 임펠러가 가장 일반적으로 이용되는 것으로 알려져 있다. 프로펠러형 임펠러는 보통 2~3개의 날개를 가지며, 그 날개는 혼화유체에 축방향 유동을 생성시킬 수 있는 설계형상을 갖는다.

임펠러에 의해서 처리수에 주어지는 동력은 아래의 관계식을 이용하여 구할 수 있다. 난류조건($Re > 10,000$)일 때의 동력은 다음과 같다.

$$P = K_T n^3 D^5 \rho \quad (2)$$

여기서 K_T 는 난류조건일 때의 임펠러 상수, n 는 임펠러의 회전속도, D 는 임펠러 직경, ρ 는 처리 원수의 밀도를 나타낸다.

임펠러에서의 Re 수는 다음과 같이 계산되며, 여기서 u_i 는 임펠러의 선속도를 나타낸다.

$$Re = \frac{D u_i \rho}{\mu} \quad (3)$$

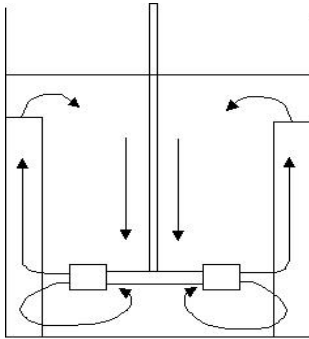


Figure 1: Schematic diagram of completely mixed chamber

2.2 응집이론

일반적으로 폐수에 부유하는 1 μ 이하 크기의 입자를 콜로이드라고 하는데, 침전 불가능한 대부분의 물질은 이와 같은 콜로이드상 미립자이다. 응집과 플럭생성(flocculation)이란 처리원수에 처리약품을 첨가하여, 침전되지 않는 콜로이드상 입자와 침전속도가 느린 부유고형물을 서로 뭉치게 해서 큰 입자(플럭)를 만들어 침전시키거나 여과시켜 제거하기 위한 공정이다. 응집공정은 응집제를 첨가하고 급속으로 혼화시켜 콜로이드 상태의 입자와 미세한 부유물질을 불안정화 시키고 불안정화 된 입자가 서로 부착하도록 하는 공정이며, 플럭생성은 일반적으로 응집보조제를 주입하여 불안정화 된 입자들을 서로 엉키게 하기 위해 완속 혼화시켜 침전이 가능한 플럭이 형성되도록 하는 공정이다.

응집 메커니즘은 반델발스(Van der Waals) 인력, 혼화에 의해 입자들이 응집할 수 있을 만큼의 제타전위의 감소, 콜로이드 입자상의 활성기(reactive group)의 상호작용에 의한 입자간 가교현상(inter-particulate bridging) 등의 복합적인 작용에 의한 것으로 알려지고 있다[2]. Figure 2는 이와 같은 응집 메커니즘을 개략적으로 나타낸 그림이다. 콜로이드상 입자는 콜로이드의 분산을 유지하는데 중요한 역할을 하는 정전기력을 갖고 있다. Figure 2(a)에서와 같이 대부분 자연 발생적인 콜로이드는 음으로 하전되며, 동일한 전하끼리는 반발하기 때문에 콜로이드는 반발력

의 작용에 의해 부유 상태, 즉 안정된 상태로 존재한다. 콜로이드의 안정성은 인력(attractive force)과 반발력(repulsive force)의 상대적 크기와 관계있고, 이 인력은 반델발스 힘에 의해 생기며 콜로이드 입자에 인접한 곳에서만 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다. 따라서 일반적으로 양전하를 띤 응집제를 주입하여 음전하를 띤 콜로이드 표면에 흡착시켜 콜로이드를 중화시키고(Figure 2(b)), 중화된 인접 콜로이드에 작용하는 반델발스 힘(Figure 2(c))에 의해 미세 플럭(Figure 2(d))이 생성된다.

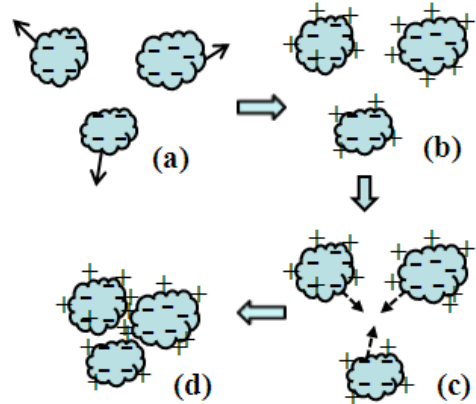


Figure 2: Schematic diagram of coagulation mechanism of colloid particles

3. 실험장치 및 방법

3.1 완전 혼화조 시스템

Figure 3은 본 연구과정에서 제작한 폐수 처리용 3단 완전 혼화조 시스템의 개략도를 나타낸다. 제작된 3단 완전 혼화조 시스템은 국내 수처리 시설의 혼화강도 범위와 체류시간 범위를 고려하여 설계하였으며, 유체 저장조, 혼화조, 응집보조제 및 응집제 주입부 그리고 응집 침전조로 구성된다. 유체 저장조는 처리원수 저장수조(1), 혼화된 처리수의 응집 침전조(3) 그리고 5리터 용량의 응집제 및 응집보조제 저장조(5-1, 5-2, 5-3)로 구성하였다. 처리원수 저장수조 내에는 펌프(RP)를 장착시켜 혼화조로 처리원수를 펌핑하게 되는데, 펌프의

사양은 170L/min×0.4kW이다. 3단의 혼화조(2-1, 2-2, 2-3)에는 각각 기계식 혼화기(4-1, 4-2, 4-3)가 장착되며 한쪽 면을 아크릴로 제작하여 혼화과정을 가시화 할 수 있도록 설계하였다. 기계식 혼화기의 프로펠러형 임펠러는 3개의 날개로 구성되며, 1단과 2단의 임펠러는 120rpm×0.4kW 사양, 3단의 임펠러는 90rpm×0.4kW의 사양으로 설계하였다. 각 단에는 100cc/min의 사양을 갖는 정량펌프(CP)와 제어시스템에 의해 처리약품의 주입량이 조절되도록 설계하였으며, 처리약품 주입노즐은 임펠러 선단 주위에 공급될 수 있도록 설계하였다. Table 1은 3단 완전 혼화조 시스템 구성요소들의 사양을 나타낸다.

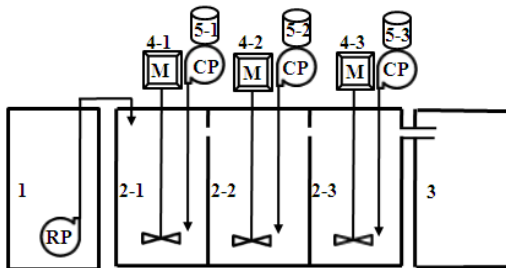


Figure 3: Schematic diagram of 3 stage completely mixed chamber system

Table 1: Specifications of 3 stage completely mixed chamber system

Tank volume	Source water tank[L]	1000
	Mixed tank[L]	200
	Sedimentation tank[L]	200
	Coagulant tank[L]	5
Pump	Capacity of RP[L/min]	170
	Capacity of CP[mL/min]	100
Propeller impeller	Speed[rpm]	90, 120
	Diameter[m]	0.3
	Attack angle[deg]	30

Table 2: Properties of wastewater and coagulants

Source wastewater	Initial pH	8.5
	Initial turbidity(NTU)	1,000
Coagulant	PAC-diluted solution with water	1:1
Coagulant aid	Polymer-diluted solution with water	1:200

3.2 실험 방법

본 연구에서 이용한 실험용 폐수는 국도17호선 우회도로 터널 공사현장에서 폐수 슬러지를 수거하여 1,000리터 용량의 원수 저장수조에 약 1,000NTU의 탁도를 갖도록 만든 처리 원수이다. 응집제인 폴리염화알루미늄(PAC)은 물과 1:1, 응집보조제인 폴리머(polymer)는 물과 1:200의 비로 희석하여 사용하였다. Table 2는 폐수 원수와 응집제 및 응집보조제의 물성치를 나타낸다.

실험변수는 임펠러의 혼화시간과 응집제 및 응집보조제의 주입량으로 설정하였다. 응집제와 응집보조제를 단독으로 주입하였을 때의 응집특성을 비교하기 위한 실험에서는 제1혼화조(2-1)에 처리원수를 펌핑하여 각각 응집제와 응집보조제를 주입하고 탁도를 측정하였다. 그리고 3단 기계식 완전 혼화조의 응집특성을 파악하기 위한 실험에서는 원수 저장수조의 펌프(RP)를 이용하여 제1혼화조(2-1)로 처리원수를 펌핑하고 혼화조내의 통로를 통해 제2혼화조(2-2)와 제3혼화조(2-3)로 유동시키며 실험을 수행하였다. 이 실험은 제1혼화조에 응집제를 주입하여 120rpm의 혼화기로 혼화시키고, 제2혼화조에서는 pH 조절시스템으로 pH를 조절하고, 제3혼화조에는 응집보조제를 주입하여 90rpm의 혼화기로 혼화시킨 후 응집침전조로 유동시키는 과정으로 이루어진다. 그리고 각각의 실험 조건에서 응집 침전조로부터 샘플링 한 처리수를 10분 침전 후에 탁도를 측정하였다. 탁도 측정에는 HACH사의 탁도계를 이용하였다. 탁도는 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) 단위로 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

응집제 및 응집보조제가 처리수중에 효과적으로 혼화되는지 여부는 처리수내에 발생하는 난류도에 따라 달라진다. 일반적으로 혼화강도가 클수록 발생하는 난류강도는 커지게 되는데, 이러한 혼화강도는 식 (1)에 의해 계산된다. 기계식 완전 혼화조에 대한 미국 수도협회(American water works association)의 설계기준은 속도경사 $G=300\sim1000s^{-1}$, 체류 시간 10~60초로 제시되는데 [3], 국내에서는 일반적으로

로 $G=300\sim350s^{-1}$ 범위 값을 설계 혼화강도로 설정하고 있다. 본 연구에서 이용한 기계식 혼화기의 임펠러 회전속도는 120rpm과 90rpm으로 설정하였으며, 날개 3개인 표준형 프로펠러 임펠러의 직경은 0.3m이다. 임펠러 회전속도 120rpm과 10℃ 처리 원수의 물성치를 이용하여 식 (3)에 의해 Re 수를 계산하면 약 563,000 정도로 난류 범위에 해당한다. 따라서 날개 3개인 표준형 프로펠러 임펠러의 K_T 상수[14] 및 식 (1)과 식 (2)을 이용하여 속도경사를 계산하면 약 $310s^{-1}$ 이므로, 국내의 일반적인 설계 혼화강도의 범위에 포함되는 것을 알 수 있다.

Figure 4와 Figure 5는 각각 제1혼화조의 혼화강도 $G=310s^{-1}$, 처리 원수의 pH가 8.5인 조건에서 물과 1:1의 비율로 희석한 응집제와 물과 1:200의 비율로 희석한 응집보조제의 주입량을 변화시키고, 1~5분 동안 혼화시킨 후 처리수를 샘플링하여 10분경과 시의 탁도를 비교한 결과이다. 응집제의 주입량과 혼화시간에 따른 탁도는 60mL를 주입하고 1분 혼화 후에 약 3.5% 정도까지 감소하였으며, 5분 혼화 후에는 약 2% 정도로 감소하였다. 반면 응집보조제의 주입량과 혼화시간에 따른 탁도는 60mL를 주입하고 1분 혼화 후에 약 1.3% 정도로 감소하였으며, 5분 혼화 후에는 0.5% 정도로 감소하였다. 본 연구의 실험조건에서는 응집제를 단독으로 주입한 경우에는 평균적으로 약 95%, 응집보조제를 단독으로 주입한 경우에는 평균적으로 약 98%의 탁도 제거율이 나타났으며, 또한 혼화시간이 증가함에 따라 응집제를 단독으로 주입한 경우에는 탁도가 평균적으로 약 9% 정도씩 선형적

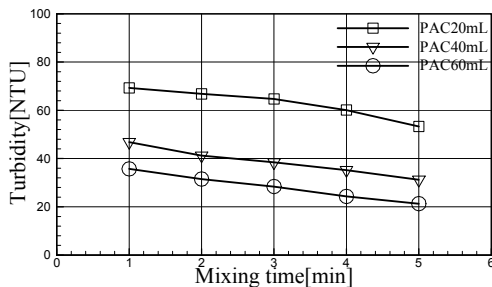


Figure 4: Turbidity with mixing time for the only PAC doses

으로 감소한 반면에, 응집보조제를 단독으로 주입한 경우에는 평균적으로 약 25% 정도씩 감소하고 혼화시간이 짧은 경우의 감소 폭이 더 크다는 것을 알 수 있다.

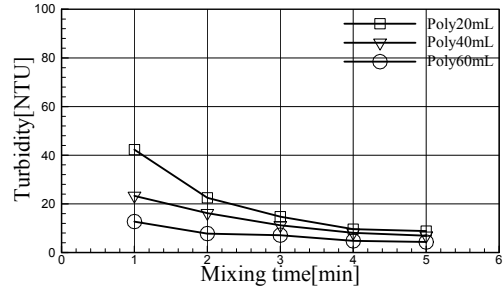


Figure 5: Turbidity with mixing time for the only polymer doses

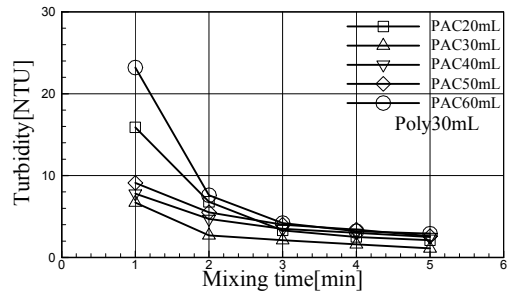


Figure 6: Turbidity with mixing time for the different PAC and 30mL polymer doses

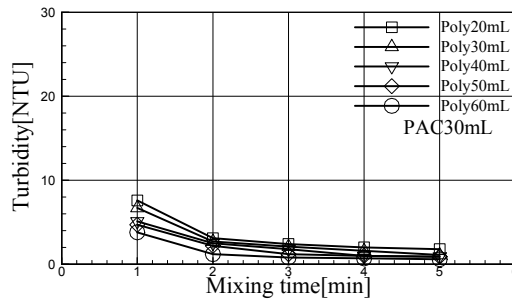


Figure 7: Turbidity with mixing time for the different polymer and 30mL PAC doses

Figure 6은 제3혼화조에 주입되는 응집보조제의 양이 30mL이고 제1혼화조에 주입되는 응집제의 양을 변화시킨 경우의 혼화시간에 따른 탁도 변화, Figure 7은 제1혼화조에 주입되는 응집제의

양이 30mL이고 제3혼화조에 주입되는 응집보조제의 양을 변화시킨 경우의 혼화시간에 따른 탁도 변화를 나타낸다. 전체적으로 혼화시간에 따른 탁도 제거율은 Figure 5의 응집보조제를 단독으로 주입한 경우와 유사한 특성을 나타내며, 응집보조제의 주입량이 30mL이고 응집제의 주입량을 변화시킬 때는 혼화시간이 3분 이상인 경우의 탁도 제거율 변화가 그다지 크지 않고, 응집제의 주입량이 30mL이고 응집보조제의 주입량을 변화시킬 때는 혼화시간이 2분 이상인 경우의 탁도 제거율 변화가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 특정한 혼화시간 이상에서 혼화시간의 증가에 관계없이 탁도 변화가 거의 없는 이유는 미소 플럭의 응집현상과 계속되는 혼화로 인한 응집된 큰 플럭의 붕괴현상 간의 균형에 의한 것으로 사료된다[15]. 응집제 및 응집보조제를 단독으로 주입하는 경우와 비교할 때, 응집제를 단독으로 60mL 주입하고 5분 혼화 후의 탁도가 최대 약 2%까지 감소한 반면에, Figure 6에서와 같이 응집제보조제 30mL, 응집제를 30mL 주입하고 5분 교반 후의 탁도는 0.1%까지 감소하였다. 또한 응집보조제를 단독으로 60mL 주입하고 5분 교반 후의 탁도는 최대 약 0.5%까지 감소한 반면에, Figure 7에서와 같이 응집제 30mL, 응집보조제를 60mL 주입하고 5분 교반 후의 탁도는 0.06%까지 감소하는 것을 알 수 있다.

Figure 8~Figure 13은 혼화시간 1, 3, 5분일 때, 제1혼화조에 응집제를 20mL~60mL 주입하고, 제3혼화조에 응집보조제를 20mL~60mL 주입하는 경우에 응집 침전조로부터 처리수를 샘플링하여 10분 경과후의 탁도 변화특성을 나타내는데, Figure 8~Figure 10은 본 연구의 응집제 주입량 범위에서 응집보조제의 주입량에 따른 탁도, Figure 11~Figure 13은 본 연구의 응집제 보조제 주입량 범위에서 응집제의 주입량에 따른 탁도를 나타낸다. Figure 8~Figure 10의 그래프부터 본 연구의 응집제 주입량 범위에서는 응집보조제의 주입량이 증가함에 따라 탁도 제거율이 커지는 것을 알 수 있다. 이는 응집보조제의 주입량이 증가함에 따라 응집제에 의해 생성된 미소플럭에 대한 가교현상이 활발해져서 침전이 용이한 큰 플럭의 생성이 증가하기 때문인 것으로 사료된다. 정

량적으로 고찰하면 혼화시간 1분일 때(Figure 8), 응집보조제의 주입량이 20mL인 경우 최소 약 97% 정도, 혼화시간 5분일 때(Figure 10), 응집보조제의 주입량이 60mL인 경우 최대 약 99.9% 정도까지 탁도 제거율이 증가하였다.

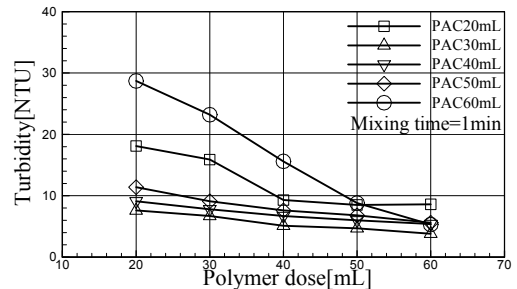


Figure 8: Turbidity with polymer dose for the different PAC doses at mixing time 1 minute

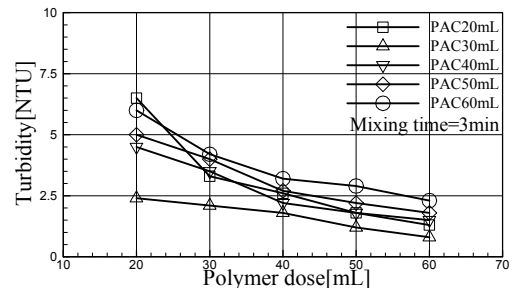


Figure 9: Turbidity with polymer dose for the different PAC doses at mixing time 3 minutes

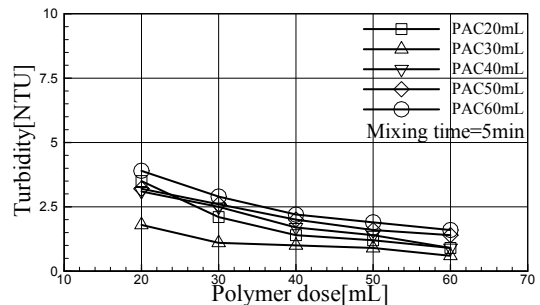


Figure 10: Turbidity with polymer dose for the different PAC doses at mixing time 5 minutes

반면에 본 연구의 응집보조제 주입량 범위에서 응집제의 주입량 변화에 따른 탁도 제거율은 위의 결과와는 상이한 특성을 나타내는 것을 Figure

11~Figure 13의 그래프로부터 확인할 수 있다. 즉, 본 연구의 응집제 주입량 범위에서는 응집보조제의 주입량이 증가함에 따라 탁도 제거율이 증가하였던 것과는 달리, 본 연구의 응집보조제 주입량 범위에서 응집제의 주입량이 30mL까지는 탁도 제거율이 증가하지만 응집제의 주입량이 30mL이상으로 많아지면 탁도 제거율이 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 응집제가 음전하로 하전되어 안정하게 부유하는 입자를 불안정하게 하여 미소 플락을 생성시키는 역할을 하는데 비해서, 응집보조제는 미소 플락들간의 가교현상으로 침전이 용이한 큰 플락을 생성시키는 역할을 하는데 기인하는 것으로 사료된다. 즉, Figure 4에서와 같이 응집제만 단독으로 주입하는 경우에는 응집제의 주입량이 증가하면 미소플락의 생성이 증가하여 탁도가 감소하지만, Figure 11~Figure 13의 경우에는 응집제의 주입이 일정량 이상으로 많아지면 응집보조제의 가교현상으로 생성된 큰 플락이 양전하를 띤 여분의 응집제 영향으로 다시 미소 플락으로 붕괴되기 때문에 탁도가 감소하게 된다[16]. 정량적으로 고찰하면, Figure 11의 혼화시간 1분의 그래프에서는 응집보조제의 주입량이 60mL이고 응집제의 주입량이 30mL일 때 최대 약 99.6% 정도까지 탁도 제거율이 증가하지만, 응집보조제의 주입량이 20mL이고 응집제의 주입량이 60mL로 증가하면 최소 약 97% 정도까지 탁도 제거율이 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 Figure 13의 혼화시간 5분인 경우에는 응집보조제의 주입량이 60mL이고 응집제의 주입량이 30mL일 때 최대 약 99.9% 정도까지 탁도 제거율이 증가하는 반면에, 응집보조제의 주입량이 20mL이고 응집제의 주입량이 60mL로 증가하면 최소 약 99.6% 정도까지 탁도 제거율이 감소하는 것을 알 수 있다.

결론적으로 고찰하면 본 연구에서 이용한 처리원수의 성상, 응집제 및 응집보조제의 주입량 조건을 고려할 때, 응집보조제의 주입량이 증가하면 탁도 제거율은 증가하는 경향을 나타내는 반면에, 일정량 이상의 응집제 주입조건에서는 탁도 제거율이 감소하고, 상대적으로 짧은 혼화시간 동안의 탁도 제거율이 높게 나타나는 특성을 알 수 있다. 이는

1,000NTU 정도로 고탁도인 처리 원수에 큰 플락 생성에 필요한 탁질(미세 플락)이 충분히 존재하여 응집제에 의한 미세 플락의 생성보다는 응집보조제에 의한 침강성이 우수한 큰 플락의 생성효과가 상대적으로 크게 작용한 것에 기인한 것으로 사료된다.

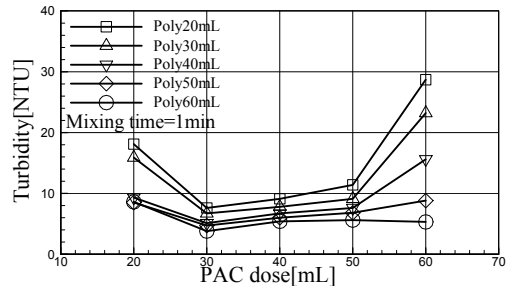


Figure 11: Turbidity with PAC dose for the different polymer doses at mixing time 1 minute

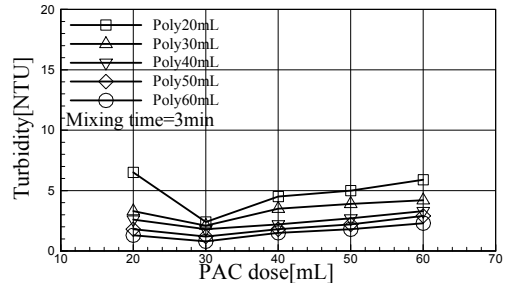


Figure 12: Turbidity with PAC dose for the different polymer doses at mixing time 3 minutes

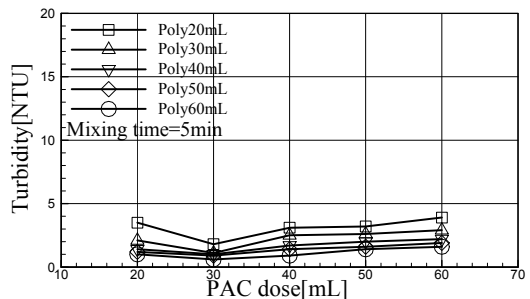


Figure 13: Turbidity with PAC dose for the different polymer doses at mixing time 5 minutes

4. 결 론

유체 저장조, 혼화조, 응집제 및 응집보조제 주

입부 그리고 응집 침전조로 구성된 3단 기계식 완전 혼화장치의 응집특성에 대한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구의 조건에서는 응집제를 단독으로 주입한 경우보다는 응집보조제를 단독으로 주입한 경우에 혼화시간에 따른 탁도 제거율이 더 높다는 것을 알 수 있다.

2. 제1 혼화조에 응집제, 제3혼화조에는 응집보조제를 주입하는 경우의 혼화시간에 따른 탁도 제거율은 응집보조제를 단독으로 주입한 경우와 유사한 특성을 나타내었으며, 일정 혼화시간 이상에서는 탁도 제거율 변화가 크지 않다는 것을 알 수 있다.

3. 본 연구의 응집제 및 응집보조제 주입량 범위에서는 응집보조제의 주입량이 증가함에 따라 최대 약 99.9% 정도까지 탁도 제거율이 증가하였으며, 특정한 응집제 주입량까지는 탁도 제거율이 증가하지만 응집제의 주입량이 그 범위 이상으로 증가하면 탁도 제거율이 약 97% 정도까지 감소하는 것을 알 수 있다.

4. 본 연구의 모든 조건에서 탁도가 100NTU 이하로 탁도 제거율(응집율)이 매우 높게 나타나는데, 이는 1,000NTU 정도로 고탁도인 처리 원수에 큰 플록 형성에 필요한 탁질이 충분히 존재하여 응집보조제에 의한 침강성이 우수한 큰 플록의 생성효과가 상대적으로 크게 작용한 것에 기인한 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] C. H. Lee, S. H. Lee and M. Okada, "Removal algae and cryptosporidium on drinking water treatment by polysilicate-iron coagulant", *J. of KSEE*, vol. 26, pp. 876-882, 2004.
- [2] S. H. Kim, "Characterizing and monitoring of coagulation and floc formation by using photometric dispersion analyzer(PDA)", *RIST Research Paper*, vol. 18, no. 4, pp. 323-327, 2004.
- [3] S. Kawamura, *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities*, John Wiley & Sons, New York, 2000.
- [4] G. S. Song, S. Y. Oh and J. J. Oh, "Numerical study on flow patterns in a stirred tank with impeller types", *J. of Fluid Machinery*, vol. 5, no. 3, pp. 29-35, 2002.
- [5] C. Luo, "Distribution of velocities and velocity gradients in mixing and flocculation vessels: comparison between LDV data and CFD predictions", Ph.D Thesis, New Jersey Institute of Technology, 1997.
- [6] J. J. Ducoste, "The effects of tank size and impeller type on turbulent flocculation", Ph.D Thesis, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, 1996.
- [7] J. K. Jeong, T. I Yoon, H. J. Seo and J. Y. Kim, "Influence of mixing intensity on the biological wastewater treatment", *J. of KSEE*, vol. 5, pp. 67-83, 1983.
- [8] J. Y. Heo, I. K. Kang and S. W. Lee, "The characteristic floc growth in coagulation and flocculation processes", *Korean Chem. Eng. Res.*, vol. 44, no. 2, pp. 207-215, 2006.
- [9] M. I. Aguilar, J. Saez, M. Llorens, A. Soler, J. F. Ortuno, V. Meseguer and A. Fuentes, "Improvement of coagulation-flocculation process using anionic polyacrylamide as coagulant aid", *Chemosphere*, vol. 58, pp. 47-56, 2005.
- [10] A. H. Mahvi and M. Razavi, "Application of polyelectrolyte in turbidity removal from surface water", *American J. of Applied Sciences*, vol. 2, no. 1, pp. 397-399, 2005.
- [11] J. M. Ebeling, P. L. Sibrell, S. R.

ogden and S. T. Summerfelt, "Evaluation of chemical coagulation-flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge", *Aquacultural Engineering*, vol. 29, pp. 23-42, 2003.

- [12] T. Nandy, S. Shastry, P. P. Pathe and S. N. Kaul, "Pre-treatment of currency printing ink wastewater through coagulation-flocculation process", *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 148, pp. 15-30, 2003.
- [13] H. S. Kim and S. H. Kim, "The experimental study of predicting optimum dosage of PAC using Jar-Test results", *J. of KSWW*, vol. 2, pp. 39-45, 1993.
- [14] S. W. Han, C. W. Lee and L. S. Kang, "Physical effect on synthesis of Al(III) polymeric inorganic coagulants for water treatment", *Korean Chem. Eng. Res.*, vol. 42, no. 5, pp. 612-618, 2004.
- [15] L. S. Kang, S. W. Han and C. W. Jun, "Synthesis and characterization of polymeric inorganic coagulants for water treatment", *Korean J. Chem. Eng.*, vol. 18, no. 6, pp. 965-970, 2001.
- [16] C. Huang and Y. Chen, "Coagulation of colloidal particles in water by chitosan", *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, vol. 66, pp. 227-232, 1996.

저 자 소 개



김동준(金東俊)

2007년 전남대학교(여수) 대학원 자동차 공학과 졸업(공학석사), 현재 전남대학교(여수) 자동차시스템공학과 조교



박상규(朴相圭)

1989년 인하대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학박사), 현재 전남대학교(여수) 기계자동차공학부 교수



이용호(李勇虎)

1999년 전남대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학박사), 현재 전남대학교(여수) 기계자동차공학부 강사



양희천(楊熙千)

1994년 중앙대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학박사), 현재 전남대학교(여수) 기계자동차공학부 교수