

In Line Orifice Mixer에서의 응집제 확산분포 특성

Characteristics of coagulants dispersion within In-Line Orifice Mixer

임경호¹ · 박영오^{2*} · 박대진² · 박노석² · 고태곤²

Kyeong-Ho Lim¹ · Young-Oh Park^{2*} · Dae-Jin Park² · No-Suk Park² · Tae-Kon Ko²

1 공주대학교 건설환경공학부, 2 한국수자원공사

(2008년 9월 9일 접수; 2008년 12월 3일 수정; 2008년 12월 8일 채택)

Abstract

In a water treatment process a complete and homogeneous dispersion of the coagulants in the raw water could be most important factor. This research was performed to evaluate coagulation performance of the in-line-orifice mixer which was recently introduced as a rapid mixing device. The test was to determine the actual coagulant dispersion distribution on the overall cross-section at a distance of 1.6~3D from the chemical injection point by measuring zeta potential. From the results of zeta potential test, it was shown that the coagulant dispersion within the in-line orifice mixer was occurred very unevenly. The results have confirmed that it is necessary to increase the velocity of coagulants injection or pressurized water rates, in order to reduce nonuniform distribution of chemicals.

Key words : in-line mixer, dispersion, zeta potential, streaming current

주 제 어 : 관내혼화장치, 확산, 제타전위, 유동전류

1. 서론

급속혼화는 응집제를 가능한한 짧은 시간 내에 원수에 균등하게 분산시켜 응집제와 원수중의 불순물(탁질과 용존 유기물질)과의 접촉 및 반응이 효율적으로 이루어지도록 하는 정수과정의 가장 중요한 공정 중의 하나로서, 후속 공정인 응집, 침전, 여과공정에서 불순물을 제거할 수 있도록 불순물의 전기 화학적 특성을 불안정화시키는 역할을 수행한다. 원수의 탁도, 용존 유기물질 농도, 전기전도도, pH, 알칼리도, 수온 등의 인자를 비롯하여 응집제의 화학적 반응 동력학, 조의 형상 및 impeller의 기하학적 요소 등이 급속혼화

공정의 처리효율을 결정한다.(Rebuhn 등, 1993 ; Rushton 등, 1950)

급속혼화공정에서 급속염계 응집제의 확산은 이론적으로 1초 이내에 이루어지는 것을 권유하고 있지만, 실제 설계나 운전여건상에서는 1~2초 내에 이루어지는 것을 허용하고 있다(Hudson and Wolfner, 1967 ; Vrale and Jorden, 1971). 그러나 기계적 혼화 방식을 사용하고 있는 많은 정수장에서는 2초 이내에 응집제를 공정수내에 골고루 확산시키는 것이 불가능하기 때문에 약 30~40%정도 과잉 주입하여 콜로이드와의 충돌기회를 증가시키고 있는 실정이다 (Kawamura, 1991).

*Corresponding author Tel: +82-42-629-3721, Fax: +82-42-629-3739, E-mail: yopark@kwater.or.kr(Park, Y.O.)

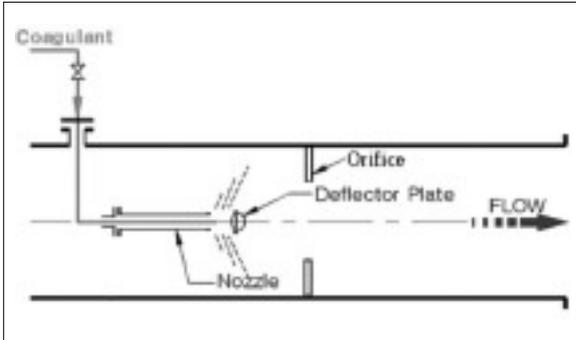


Fig. 1. Schematic diagram of In-line Orifice Mixer.

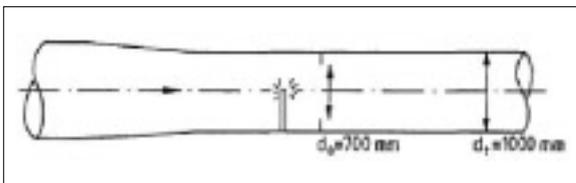


Fig. 2. Installation of an orifice plate within the pipe.

최근 응집제가 원수에 투입됨과 동시에 가능한 빠른 속도에 확산시킬 수 있는 장치로서 Fig. 1과 같이 노즐, 원통형 실린더, 방해판(deflector), 오리피스를 조합시킨 In-line Orifice Mixer가 개발되어 국내에서 다수의 정수장에 설치되어 운영되고 있다.

당초 관내에 오리피스를 설치하는 것은 Bratby(1980)에 의해 제안되었으며, 응집제 주입 후 이러한 plate로 인해 하류로 갈수록 속도경사가 점점 증가한다는 원리를 이용한 것이다. Fasion 등(1967)에 의하면 혼화과정은 응집제 주입 후 4~5D(D : pipe diameter) 후단의 공간에서 일어나며, 완전혼합은 오리피스 관경이 원수관경의 0.5배 (orifice/pipe diameter) 이하에서만 성공적으로 이루어진다고 한다. 그러나 오리피스 관경은 손실수두 때문에 제한적일 수밖에 없으며, Fig. 2와 같이 응집제는 plate의 전단 50cm에 주입하고, 원수관경이 1,000mm일 경우 오리피스 관경은 700mm로 권장하고 있다. 하지만 이러한 장치들의 정확한 설계 자료가 제시되어 있지 않고, 또한 제작사에서 제시한 설계치와 도면에 대한 검증이 이루어지지 않아 순간 혼화 효과에 대한 의문이 제기되어 왔다.

이러한 문제점을 해결하고자 방해판의 외경 치수와 관경의 적정 비율, 방해판과 오리피스간의 간격, 최적의 혼화를 위한 오리피스 구경, 투입노즐의 위치와 방해판과의 적정거리를 변수로 수치해석을 실시하여, 응집제와 원수가 혼합되는 상태를 기준으로 설계치를 제시한 바 있다.(오석영, 현동수, 2001)

그러나 In-line Orifice Mixer가 설치되어 운영 중에 있는 정수장에서 홍수기 고탁도시 침전수의 탁도가 상승하게

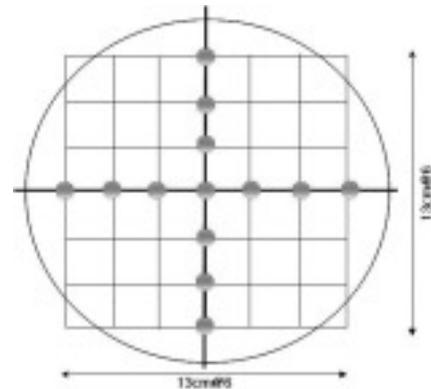
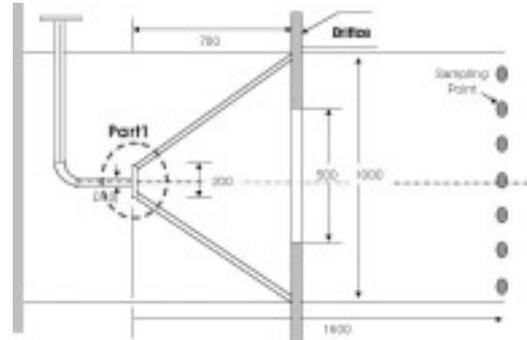


Fig. 3. Schematic diagram of sampling points of grid iron sampler in DH WTP.

나, 침전지별 수질이 일정하지 않는 등 여러 가지 문제점이 제기되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 3개 정수장을 대상으로 실제 운영중인 In-line Orifice Mixer에 대한 정밀진단을 실시하여 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 실험방법 및 대상 정수장

2.1. DH 정수장

원수와 응집제의 순간적 급속혼화가 이루어진다면 혼화 후 관단면에서의 제타전위값이 일정하게 분포할 것이며, 그렇지 않다면 각 지점별로 편차가 크게 나타날 것이다. 이러한 점에 착안하여 관단면 전체에 걸쳐 응집제의 균일한 혼합·확산정도를 측정하기 위하여 혼화 후 관단면을 격자형이나 수직과 수평의 십자형으로 구획하고, 혼화수를 채취할 수 있는 기법을 도입하여 본 실험에 적용하였다.

DH정수장의 혼화공정은 In-line Orifice Mixer와 Back Mixer와의 2단 혼화로 운영하고 있으며, 응집제는 PAC1 14ppm을 주입하고 있었다. 급속혼화 후 관 단면의 응집제 분포특성을 파악하기 위하여 아래 Fig. 3과 같이 응집제 주입 후 관 단면(D)의 약 1.6D 지점 후단에서 수직과 수평의 십자형으로 혼화수를 채취하여 제타전위를 측정하였다. 측

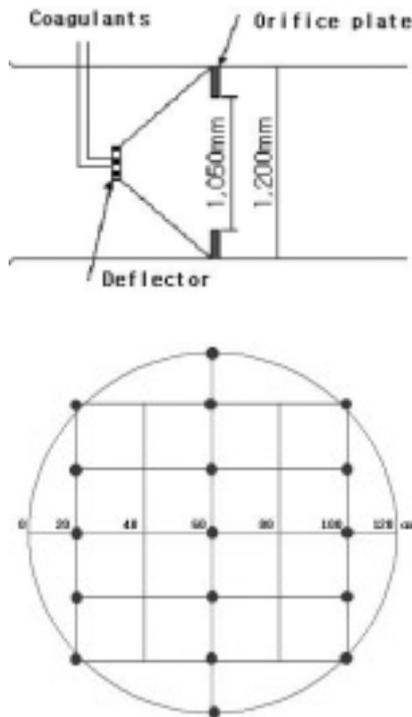


Fig. 4. Schematic diagram of sampling points of grid iron sampler in GM WTP.

정된 제타전위 결과는 상용프로그램인 Surfer(서퍼) 프로그램을 사용, 등고선식으로 분포도를 작성하여 응집제 확산 정도를 살펴보았다.

제타전위 측정기는 Malvern사 Model Zen 2600을, SCD(Streaming Current Detector)는 Micro Metrics사의 제품을 사용하였다.

제타전위는 시간이 지남에 따라 변하는 특성 때문에 각 지점별 시료채취 후 1분 이내에 측정하였다.

2.2. GM 정수장

GM정수장도 DH정수장과 마찬가지로 혼화공정은 In-line Orifice Mixer와 Back Mixer와의 2단 혼화로 운영하고 있으며, 혼화 후 관단면의 응집제 분포특성을 파악하기 위하여 아래 Fig. 4와 같이 응집제 분사 후 3D 지점의 원수 배관 토출부를 수심별 격자형으로 구획 후 혼화수를 채취하여 제타전위를 측정하였다. 실험당시 응집제는 PAC1 12ppm을 주입하고 있었다.

이때 원수유량을 조정하면서 Table 1과 같이 교반강도가

Table 1. Experimental conditions of orifice mixer

Velocity Gradients(sec ⁻¹)			
Design	Condition-1	Condition-2	Condition-3
(160,000m ³ /d)	(55,880m ³ /d)	(129,600m ³ /d)	(133,440m ³ /d)
1,435	501	1,163	1,197

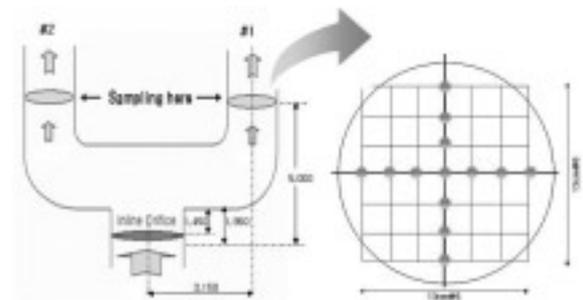


Fig. 5. Schematic diagrams of Mixing & coagulation process and sampling points.

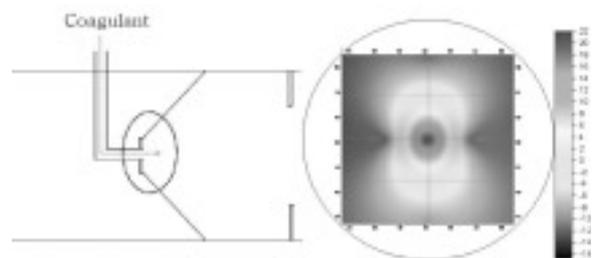


Fig. 6. Zeta potential distribution diagram in orifice mixer.

500~1,200sec⁻¹ 인 상태에서 각 지점별 제타전위를 측정하였고, 후속공정에 미치는 영향을 파악하기 위하여 각 혼화지 유입수의 제타전위를 측정하여 비교하여 보았다.

G값은 응집제 주입 직후부터 오리피스 지점까지의 유량에 따른 손실수두와 체류시간을 산정하여 계산

2.3. YS 정수장

YS정수장도 DH, GM정수장과 마찬가지로 혼화공정은 In-line Orifice Mixer와 Back Mixer와의 2단 혼화로 운영하고 있으나, Fig. 5와 같이 응집제 주입 직후(1.45m 후단) 2계열로 분리되어 혼화지로 유입되고 있어 혼화수 채취가 곤란하였다.

그래서 2계열로 분리된 후 약 3.5m 후단의 혼화지 유입관(D 1,000mm)을 대상으로 응집제 확산분포 조사를 위해 수직·수평의 십자형으로 구획 후 혼화수를 각 계열별로 채취하여 제타전위를 측정하였다. 또한 응집제 혼합·확산 분포의 안정성을 평가하기 위하여 혼화지 유입측에 연속으로 Streaming Current(SC)를 측정하였으며, 실험당시 응집제는 PAC1 12ppm을 주입하고 있었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. DH정수장 제타전위 측정결과

제타전위 분포도 조사결과, 설계조건에서 Fig. 6의 우측 그림과 같이 관 단면의 중앙 및 중앙의 하단부에만 응집제가

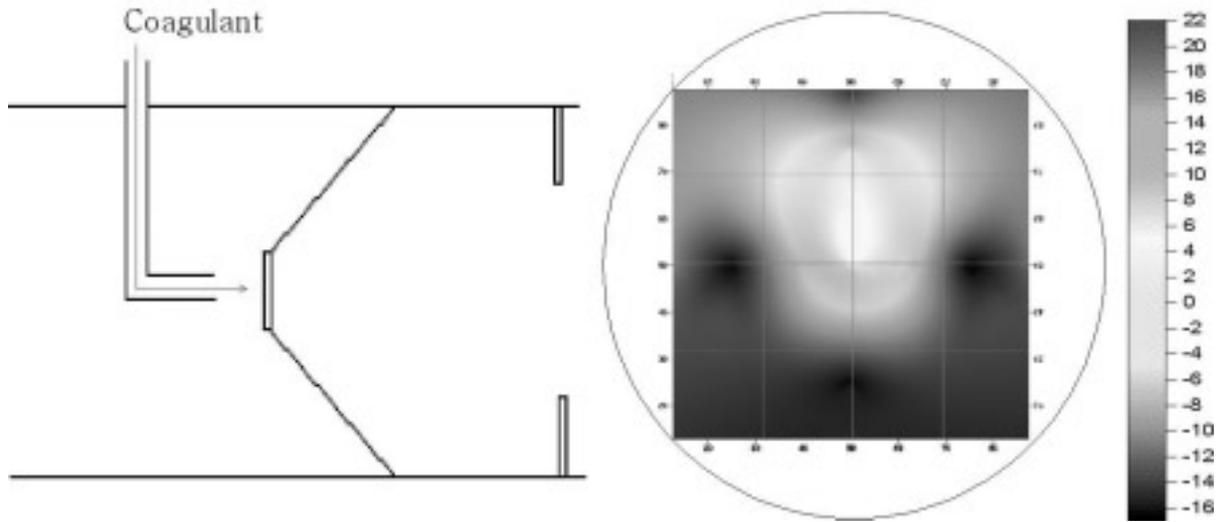


Fig. 7. Zeta potential distribution diagram after retrofitting.

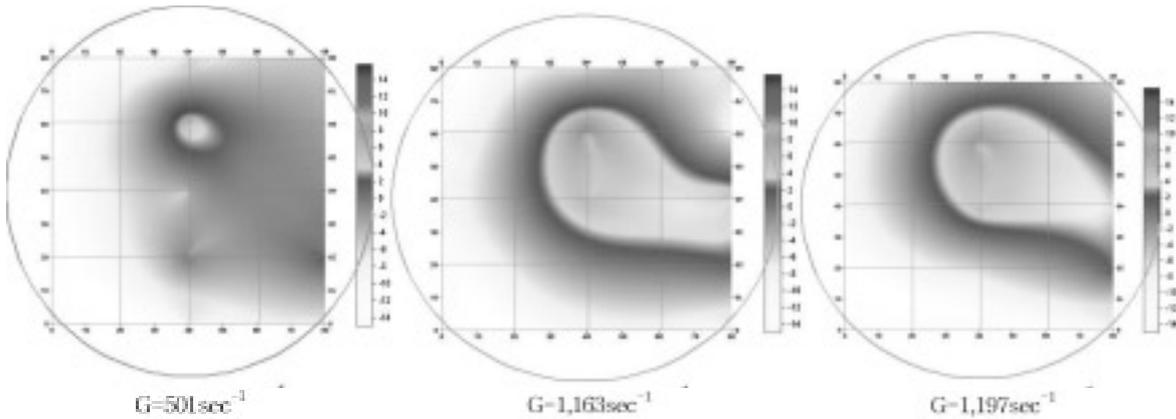


Fig. 8. Zeta potential distribution diagram in each G value.

집중 분포하고 있는 반면 바깥쪽에는 거의 원수와 비슷한 값을 나타내고 있다.

혼화장치 내부를 살펴 본 결과, Fig. 6의 좌측 그림과 같이 응집제 주입관이 방해판과 연결된 상태에서 천공되어 있었다. 이는 일반적인 오리피스 믹서와 매우 상이한 구조로서 방해판에 의한 확산효과를 거의 기대할 수 없는 구조이다.

그래서 응집제가 방해판에 직접분사가 가능하도록 1계열 혼화장치를 Fig. 7의 좌측 그림과 같이 개선 조치한 후 혼화 효율을 평가한 결과, 시설개선 후에도 Table 2에 나타난 바와 같이 응집제 확산효과는 거의 없는 것으로 나타났다.

3.2. GM 정수장 제타전위 측정결과

3.2.1. 교반강도에 따른 제타전위 분포도

Fig 8은 교반강도에 따른 관내 제타전위 분포상태를 나타낸 그림으로 $G=501\text{sec}^{-1}$ 에서는 응집제가 주로 관 우측으로

편향되어 분포하고 있고, 설계조건($G=1,435\text{sec}^{-1}$)과 큰 차이가 없는 조건($G=1,163\text{sec}^{-1}$, $G=1,197\text{sec}^{-1}$)에서도 관 우측방향으로 편중 분포되는 것으로 나타나, 관내 혼화가 균등하게 일어나지 않는 것으로 조사되었다.

결론적으로 GM 정수장의 Orifice에 의한 관내 혼화는 교반강도에 관계없이 응집제가 매우 불균등하게 분포하는 것으로 나타났다. 응집제의 편중분포는 과량 주입된 지점에서

Table 2. The results of zeta potential measurement before and after retrofitting in DH WTP(mv)

	Design condition	Operation condition	After retrofitting
Max	22.2	20.7	5.20
Min	-14.5	-16.0	-17.2
Ave	-3.50	-1.30	-8.80
Stdev	14.40	14.82	7.92

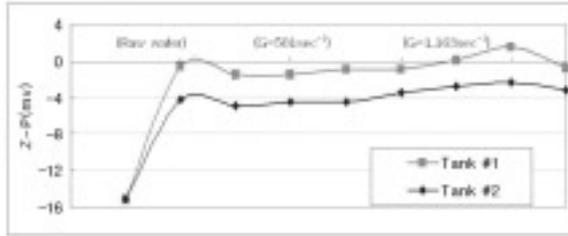


Fig. 9. Distribution pattern of zeta potential in mixing tank.

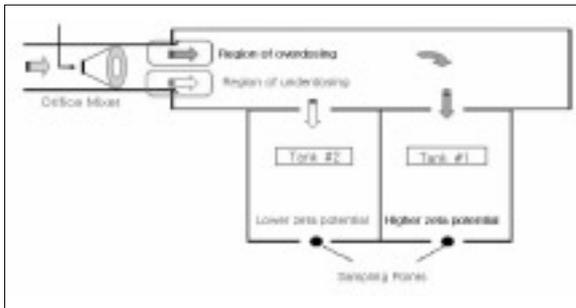


Fig. 10. Schematic diagram of Mixing & Coagulation process in GM WTP.

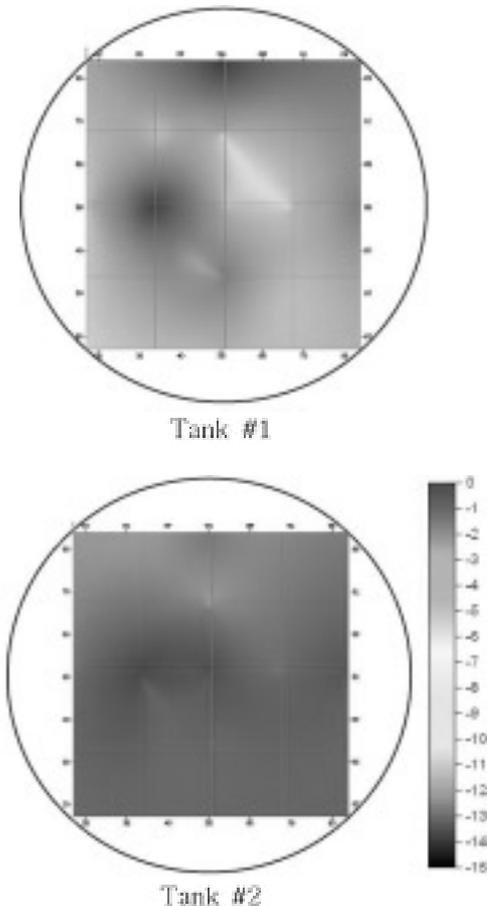


Fig. 11. Zeta potential distribution diagram before retrofitting.

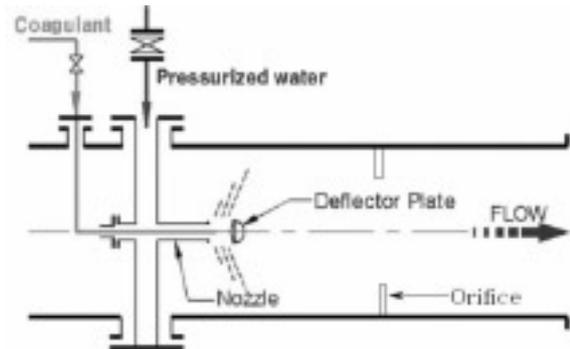
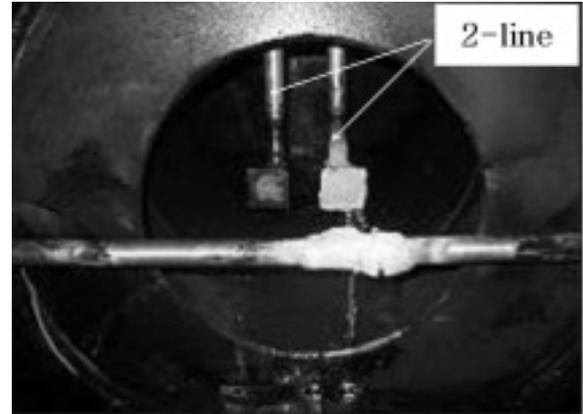


Fig. 12. In line orifice mixer before retrofitting.

는 콜로이드의 전하역전이나 재안정화 현상이 일어나고, 과소 주입된 지점에서는 응집제량이 부족하여 오염물질의 제거율이 현저히 저하될 우려가 있다.

3.2.2. 응집제 편중현상이 후속 공정에 미치는 영향

Fig. 9는 혼화지 유출수의 제타전위를 측정한 결과로서 원수 유입량에 관계없이 혼화지 1지의 제타전위가 높은 것으로 조사되어 혼화지 1지에 응집제가 많이 유입되는 것으로 나타났다.

이러한 현상은 앞에서 기술한 것처럼 In-line Orifice Mixer의 불균등한 혼화가 그 원인으로 Fig. 10에서 위쪽 「응집제 분포도가 높은 지역」의 원수가 혼화지 1호지로 많이 유입되었기 때문으로 사료된다. 응집제의 불균등 분포는 침전지별 수질차이를 야기할 수 있으며, 약품주입량의 결정시, 수질이 좋지 않은 침전지를 기준으로 하여 약품을 주입하기

Table 3. Zeta potential results in each experimental conditions(mv)

	Condition-1 (G=501 sec ⁻¹)	Condition-2 (G=1,163 sec ⁻¹)	Condition-3 (G=1,197 sec ⁻¹)
Max	5.20	9.09	9.13
Min	4.12	-13.96	-14.45
Ave	-6.95	-5.46	-5.41
Stdev	6.41	7.61	7.31

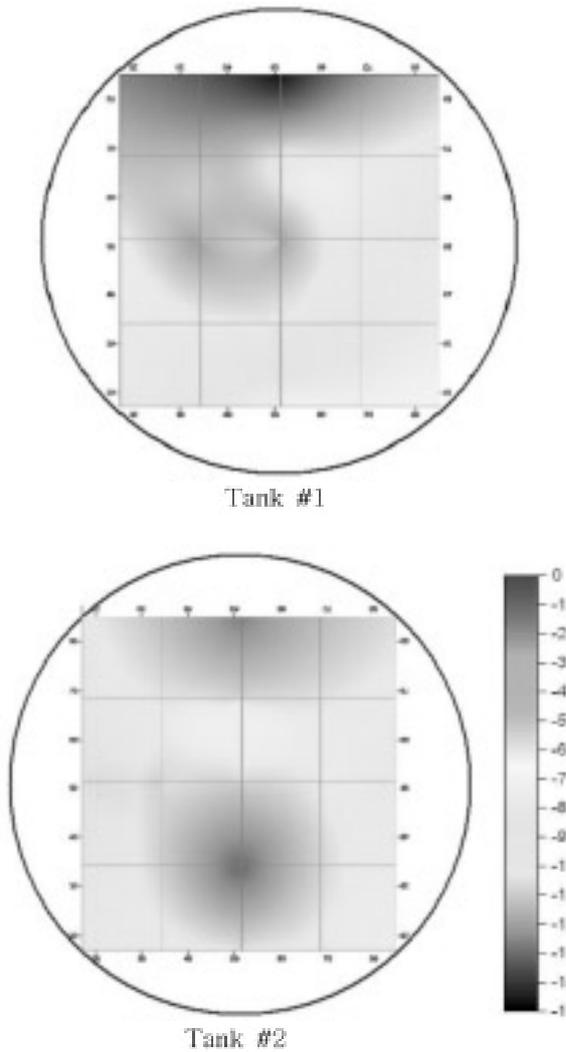


Fig. 13. Zeta potential distribution diagram after retrofitting.

때문에 전체적으로 약품이 과다하게 소비될 수 있다.

3.3. YS 정수장 제타전위 측정결과

Fig. 11은 혼화지 1지와 2지 방향의 계열별로 관내 제타전위 분포상태를 조사한 그림으로, 응집제는 주로 혼화지 2지 방향으로 심하게 편향되어 있는 것으로 조사되어 관내 혼화가 균등하게 일어나지 않는 것으로 나타났다.

응집제 편중현상의 원인을 파악하고자 도면과 In-line Orifice Mixer를 직접 확인한 결과, 아래 Fig. 12의 상부 그림과 같이 약품주입을 2-라인으로 주입하도록 설치되어 있었다.

또한 혼화효율을 향상시킬 목적으로 초기에는 없었던 방해판을 추가로 설치하였고, Fig. 12의 하부 모식도와 같이 Pump Diffusion Mixer와 비슷한 방법으로 가압수를 응집제와 동시에 방해판에 분사시키도록 개선하여 운영하고 있

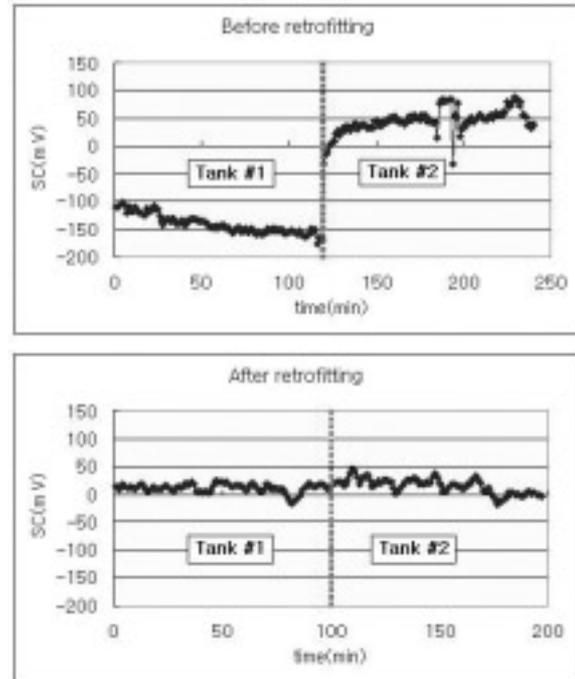


Fig. 14. Streaming Current comparison in each mixing tank.

었다. 이러한 이유로 각 계열별로는 관단면에 응집제가 골고루 확산되고 있었으나, 응집제가 관중심부에 주입되지 않은 관계로 계열간의 편차가 심한 것으로 판단되었다.

계열간의 응집제 편중분포를 해소하기 위하여 약품주입 배관을 방해판 정중앙에 1-라인으로 일원화시키고, 다시 관내 응집제 확산분포 상태를 측정하였다. 아래 Fig. 13과 같이 각 계열별로 관내에서 응집제가 보다 골고루 확산되었고, 계열간에도 편차가 거의 없는 것으로 나타났다.

또한 Fig. 14와 같이 혼화지 유입측에 연속으로 Streaming Current(SC)를 측정한 결과에서도 시설개선 전에는 혼화지별 최대 200mV의 편차를 보였으나, 개선 후에는 계열간 편차가 거의 없는 것으로 나타났다.

DH, GM, YS정수장의 진단결과를 종합하여 볼 때, DH와 GM 정수장의 경우 응집제가 주입펌프를 거쳐 응집제 분배조에서 대기압으로 주입됨에 따라 방해판에 제대로 분사되지 못하여 Fig. 15의 상부 그림과 같이 와류가 발생하는 오리피스(orifice plate)를 통과하였음에도 불구하고 심한 농도구배(Concentration gradient)가 형성되는 것으로 조사되었다.

일반적으로 관내혼화장치의 혼화효율은 관내에 발생하는 와류의 크기에 비례하는데, 와류가 미약한 경우 이러한 농도구배 현상은 응집제 주입 후 40~50D 후단에서도 발견되는 것으로 보고된 바 있다(Amirtharajah, 1991). 반면에 YS정수장은 Fig. 15의 하부 모식도와 같이 방해판에 압력을 가하여 응집제를 분사시킴으로 인해 전체적으로 균일하게 분포

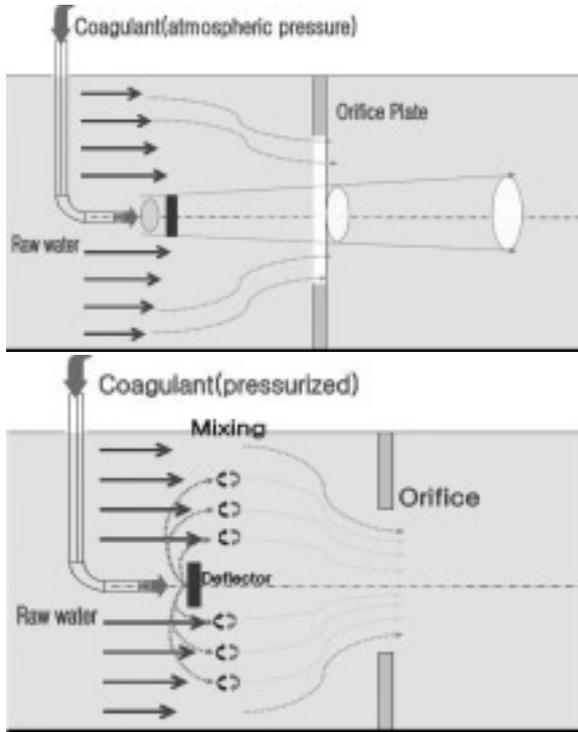


Fig. 15. Coagulant dispersion diagram.

된 것으로 추측된다.

따라서 In-line Orifice Mixer에서 원수와 응집제가 순간적으로 완전혼합이 이루어지려면, Fig. 15의 하부 모식도와 같이 방해판에 응집제를 가압 분사시켜 최대한 관단면 전체로 확산시키는 것이 가장 중요하며(최소한 오리피스 관구경 정도는 분사되도록), 그러기 위해서는 원수유속 이상으로 응집제의 분사속도를 높게 유지시켜 주거나, Pump Diffusion Mixer와 비슷한 방법으로 가압수를 응집제와 동시에 방해판에 분사시켜 주는 것이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

기존 정수장에서 응집제를 교반시키는 방법으로 사용하고 있는 급속혼화공정은 응집제의 수화반응, 흡착 및 전하중화반응, 콜로이드의 불안정화 등의 Chemical coagulation과 불안정화된 입자의 충돌, 미세플록 형성 등의 Physical coagulation의 반응이 일어나는 공정이다. 하지만 최근의 추세는 1초 이내에 일어나는 응집제의 수화반응에 초점을 맞추어 체류시간을 1초 이내로 하고, 교반강도를 크게 하기 위해 G값을 증가시키고 있다.

본 논문에서는 유체 스스로가 가지고 있는 수류 에너지를 이용하여 외부의 에너지 없이 무동력으로 응집제와 원수를 순간혼화시키기 위하여 최근 국내에서 개발되어 도입된

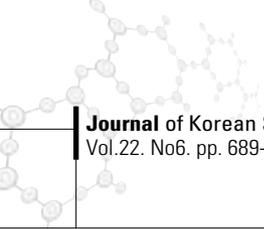
In-line Orifice Mixer에 대하여 관내 응집제 확산분포에 대한 평가를 실시하여 개선방안을 제시하고자 하였으며, 본 연구를 수행하면서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. DH 정수장의 경우 In-line Orifice Mixer의 방해판이 천공된 상태로써 설계 및 시공의 오류가 발견되어 시설을 개선하였으나, 여전히 관 중심부에만 응집제가 분포하는 것으로 나타났고, In-line Orifice Mixer 단독으로는 균등혼화에 한계가 있는 것으로 평가되었다.
2. GM 정수장의 경우 설계 교반강도에서도 응집제가 불균등하게 분포하는 것으로 나타나, DH 정수장과 동일한 문제점이 있는 것으로 판단된다.
3. YS 정수장의 경우 혼화효율을 향상시키기 위하여 PDM과 같이 방해판에 가압수를 응집제와 동시에 분사시킬 수 있고, 2-line으로 되어있는 약품주입라인을 관 정중앙부에 1-line으로 일원화하는 등의 시설을 개선하여, 관단면 전체에 걸쳐 응집제가 골고루 분포하게 되었으며, 계열간에도 Z-P, SC값의 편차가 거의 없는 것으로 나타났다.
4. 결과를 종합하여 보면 In-line Orifice Mixer에서에서는 방해판과 응집제 주입관을 관 정중앙부에 위치하도록 설치해야 하며, 방해판에 응집제를 관단면에 걸쳐 골고루 확산시킨 다음, 오리피스 부근에서 원수와 응집제가 완전 혼합될 수 있도록 조건을 형성시켜 주는 것이 혼화효율을 결정하는 가장 중요한 요소라고 판단된다. 따라서 이러한 조건을 만족시켜 주기 위해서는 가압수 등을 활용하여 오리피스 관경정도로 응집제가 확산될 수 있도록 분사유속을 높여주는 것이 필요하다.



참고문헌

1. Rebhun, Menahem, and Lurie, Michael, (1993) "Control of Organic Matter by Coagulation and Floc Separation", *Wat. Sci. Tech.* 27(11), pp 1-20
2. Rushton, J. H., Costich, E. W., and Everett, H. J. (1950) "Power Characteristics of Mixing Impellers", *Chem. Eng. Prog.* 46(8) 395-467
3. Hudson, H. E. and Wolfner, J. P. (1967) Design of Mixing and Sedimentation Basins. *Journal of AWWA*, 59(10), pp. 1257~1268
4. Vrale, L. and Jordan R. M. (1971) Rapid Mixing in Water Treatment. *Journal of AWWA*, 63(1), pp. 52~58
5. Kawamura, S. (1991) *Integrated Design of Water*



- Treatment Facilities*, JOHN WILEY & SONS, INC. New York
6. Bratby, J. (1980) *Coagulation and Flocculation*, Uplands Press Ltd., Croydon, England
7. Fasion, T. K. et. al. (1967) *Performance of Square-Edge Orifice an Orifice-Target Combination as Air Mixers*, Building Science Ser., 12, National Bureau of Standards, Washington, D.C.
8. 오석영, 현동수 (2001) "수리해석을 이용한 정수장내 혼화장치 설계 개선에 관한 연구", *대한기계학회 춘계학술대회논문집(A)*, 제주대학교, pp. 777~782.
10. Amirtharajah, A., Clark, M.M., and Trussel. R.R. (1991) "Particle destabilization", *Mixing in coagulation and flocculation*, AWWA Research Foundation and AWWA, USA, p. 220