ISSN(Print): 1225-7672 / ISSN(Online): 2287-822X
DOI http://dx.doi.org/10.11001/jksww.2015.29.5.559

정수공정에서 분배조 및 밸브 개도율 최적화

Optimization of distribution basin and ratio at valve opening in the water treatment process

조영만*·류동춘·유평종
Youngman Cho*·Dongchoon Ryu· Pyungjong Yoo

부산광역시상수도사업본부 수질연구소
Water Quality Research of Busan Water Authority

ABSTRACT

Distribution basins are used widely in the water treatment process. Uniform distribution at the distribution basin is an important because it affect precipitation efficiency of sedimentation basin. Generally distribution basin has a free surface water and is consisted of a weir. Study result, when inflow of distribution basin is less, amount of overflow is much at the nearest weir from the inlet. But when inflow is much, amount of overflow is much at the far weir from the inlet. The difference of distribution amount at the pipe is affected by the curvature and length of the pipe. The magnitude of the effect is determined by the relative energy loss and the flow state of the distribution basin. Optimization of the response surface method for minimizing an amount of deviation of the distribution is a very useful technique to determine the optimal ratio of the valve opening.

Key words: Computational Fluid Dynamics, Distribution basin, Response surface method, Pipe

주제어: 전산유체역학, 분배조, 반응표면법, 파이프

1. 서 론

1.1 연구배경

정수공정에서 분배조는 여러 공정에서 활용되고 있는데 그 중에서 약품을 투입 이후 응집 침전 공정으로 분배되는 분배조는 정수공정 효율에 지대한 영향을 미치는 중요한 분배조이다. 분배조에서 분배량이 균등하지 못할 경우 응집지의 교반강도와 침전지에서 침전 효율에 영향을 줌으로서 이후 후속 공정에 까지 큰 영향을 주게 된다(A.G. et al., 2008, Jian et al., 2007). 일반적으로 분배조는 사각 구조에 일정한 높이의 월류 웨어로 구성된 단순한 구조로 분배조에 대한 규격화된 설계 기준이 없기 때문에 크기, 형태, 구조 등이 설계자의 주관적 판단에 의해 설계된다. 일반적으로 정수공정에서 운영되고 있는 분배조는 월류 웨어 높이를 동일하게 설계하는 경우가 대부분이며 실제 정수장에서 운영되고 있는 분배조의 분배량의 균등성은 현장 설치 조건에 따라 매우 상이하다.

분배조의 유량 분배에 영향을 미치는 주요 요인은 분배조로 유입되는 유량, 분배조의 형태, 크기 등으로 분배조 내 난류 강도 및 수류의 흐름 등에 영향을 받는다. 또한 분배조에 연결되어 있는 관의 경우는 관의 길이, 굴곡에 의한 관내 에너지 손실에 영향을 받는다.

정수공정에서 약품 투입 이후 응집지 유입 유량의 불균등은 응집 폴록의 성장과 형성 등에 영향을 줄 뿐만 아니라 침전지의 침전효율에 영향을 미쳐 전체적으로 수질악화의 원인이 된다(Shahin et al., 2009, Yeseul et al 2015). 유량이 많이 유입되는 지에서는 체

Received 2 September 2015; Revised 23 September 2015; Accepted 5 October 2015
*Corresponding author: Youngman Cho (E-mail: cho1221@korea.kr)

류시간이 단축되어 응집 불량을 유발하고 따라서 침전효율 저하로 이어지게 된다(Se uk et al., 2014). 따라서 분배조의 분래량의 균등성을 진단하고 평가하는 것은 정수공정 전체의 공정 최적화 및 정수수질향상에서 있어서도 매우 중요한 관제가 아닐 수 없다.

본 연구에서는 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)적 기법을 활용하여 부산 D정수장 약품 투입 이후 분배조 및 침전지 유입관에 대한 진단을 통해 유량 분배의 균등성을 평가하였다. 따라서 본 연구에서는 분배량의 균등성을 높일 수 있는 분배조의 개선 방향 및 유입밸브 최적 개도율을 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 대상 공정

연구대상 정수장 침전지 유입 분배조는 Fig. 1과 같이 구성되어 있고 침전지는 원형침전지 4지이다. 분배조의 폭은 3.7미터이고 길이는 약 15미터이다. 분배조로 유입되는 수문은 1.8m x 8m 크기이며 수문을 통해 유입되는 공정수는 3.4m 월류 웨어를 통해 월류 된 후 800mm 유입관을 통해 침전지로 유입되는 구조로 되어 있다.

분배조의 구조는 단순 사각 수조이며 수조 상단의 월류 웨어를 통해 물이 넘어가도록 되어 있는 구조이다. 따라서 분배조의 분배량은 유입수의 난류 강도와 분배조의 구조에 따라 웨어 를 통한 월류량은 차이가 날 수밖에 없다. 일반적으로 분배조 내의 유동 흐름이 강하지 않고 고요한 상태일 경우 월류량은 편차가 크지 않고 유입 유량이 크고 난류 강도가 강할수록 분배량의 편차가 크게 나타난다..

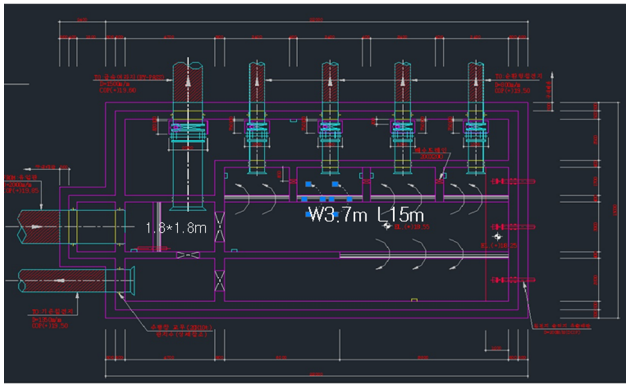

Fig. 1. A plane figure of distribution basin in the Busan M water treatment center.

본 연구에서는 분배조 내의 유동상태를 전산유체역학적 방법을 활용하여 분배조 내의 유동상태와 월류량을 평가하여 개선대안을 참고자 하였다.

2.2 전산유체 해석 방법

본 연구는 전산유체역학적 해석을 위해 상용 소프트웨어인 ANSYS 15 버전을 사용하였다. 격자는 tetra 격자를 활용하였고 유체의 유동 특성과 유체의 물리적 성질의 변화는 기본적으로 연속방정식, 모멘텀 방정식(Navier-Stokes Equation), 난류 거동을 모사하기 위해서는 Standard k-ε 모델을 사용하였으며 정상상태로 해석하였다.

최적 밸브의 개도율을 산출하기 위한 최적화 작업은 Design of Experiment 소프트웨어로 Response surface 방법을 통해 수행하였고 제어 변수는 유입관의 유입단면적을 제어하는 방식으로 밸브의 개도율을 모사하였다. 최적화 변수는 각 파이프에서 유출되는 유속의 편차를 최소화하는 방식으로 수행하였다.

반응표면법(Response Surface method) 은 입력변수의 조건에 대해서 일정 범위의 설계 영역에서 출력변수의 근사값을 구하며 변수들이 불연속일 때 보다는 입력변수에 대해 응답변수 결과값이 연속적일 때 효율적이다(Gilbert et al., 2008). 입력변수에 대응해서 추출점(Disign Point)의 개수와 크기을 정하고 추출점의 결과값을 이용하여 반응표면이 구축된다. 추출점의 개수와 위치는 실험계획법(Design of Experiments)으로 정해지고 추출점의 해석이 완료되면 해석 결과값을 이용하여 반응표면함수가 만들어지며 이 함수를 이용하여 임의의 입력 값에 대한 응답갑을 예측하게 된다. 일반적으로 반응표면 모형은 Standard Response Surface(2nd order polynomial), Kriging, Non-parametric Regression, Neural Network, Sparse Grid 5가지 모형이 있다[Co., Ltd. Tesung 2013]. 이 중에서 일반적으로 가장 간편하고 실용적인 모델은 Standard Response suraace (2nd order ploynomial)이다 (Grogory et al., 2013, Gil et al., 2014). 본 연구에서는 밸브의 개도율 즉 통과 단면적에 따른 유출 유속의 편차를 줄이는 출력 값을 가장 잘 예측할 것으로 판단되는 Standard Response suraace(2nd order ploynomial) 모델을 사용하였다

3. 결과 및 고찰

3.1 유입 유량별 분배량 진단

분배조 내 유동 분포를 진단한 결과 유입유량이

3,500 m^3/hr인 Fig. 2와 유량이 5,000 m^3/hr인 Fig 3을 비교해 본 결과 취수량이 많은 Fig. 3의 유선이 Fig. 2의 유선 보다 분배조의 끝단 쪽으로 쏠리는 경향을 보였다. 이와 같은 유선 분포는 취수량이 증가할수록 분배조 웨어 중에서 입구보다 끝단 웨어에서 월류량이 많을 것으로 추정할 수 있다.

월류량 진단 결과 Fig. 4와 같이 유입량이 2,500 m^3/hr, 3,500 m^3/hr인 경우는 분배조 웨어 1(입구)에서 웨어 2, 3보다 월류량이 많은 경향을 보였다. 유입량이 5,000 m^3/hr

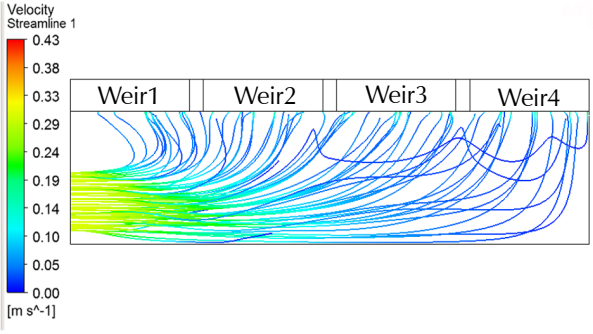

Fig. 2. The stream line of flow in the distribution basin(inflow 3,500 m^3/hr).

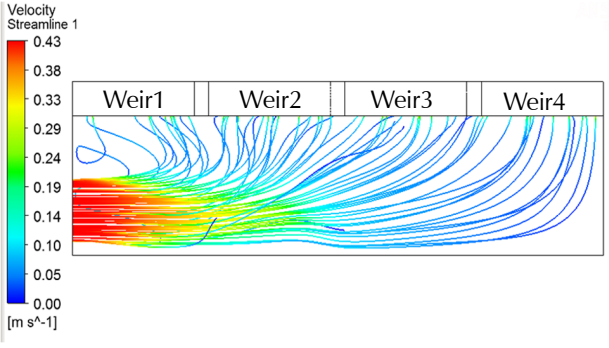

Fig. 3. The stream line of flow in the distribution basin(inflow 5,000 m^3/hr).

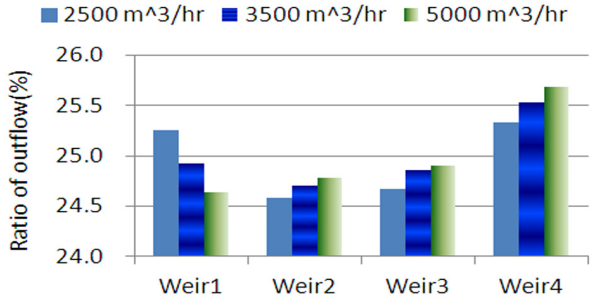

Fig. 4. The Ratio of outflow at the weir according to influent amount.

으로 증가하면 웨어 1보다 웨어 4(끝단)로 갈수록 월류량이 증가하는 경향을 보인다. 즉 분배조로 들어오는 유량이 증가할수록 분배조의 입구보다는 끝단에서 월류량이 많아지고 분배조 유입 유량이 적은 경우는 입구 쪽에서 월류량이 증가한다. 이와 같은 유량차의 원인은 유량이 적은 경우에는 분배조 내의 낮은 유속으로 인해 가까운 웨어에서부터 월류가 일어나기 때문이며 유량이 증가하면 유속이 증가되면서 빠르게 웨어 끝단으로 물이 밀려나기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 5는 취수량별 웨어별 월류량 비율을 균등한 평균 월류량 25% 기준에서 차이를 나타낸 그림으로 취수량이 2,500 m^3/hr인 경우에는 웨어 1과 4에서 평균 월류량보다 많았고 웨어 2, 3에서는 평균 이하이었다. 반면 취수량이 3,500 m^3/hr와 5,000 m^3/hr인 경우에는 웨어 1,2,3 모두에서 평균 이하이고 웨어 4에서만 평균 이상이 월류되는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 유입량이 적은 경우에는 유입구에서 가까운 웨어에서 월류량이 많지만 유입량이 증가하면 유입 유량이 유입구에서 먼 쪽으로 쏠리면서 먼 쪽 웨어로 월류량이 증가하는 것을 알 수 있다. 유출량의 편차는 약 3% 내외로 나타났다.

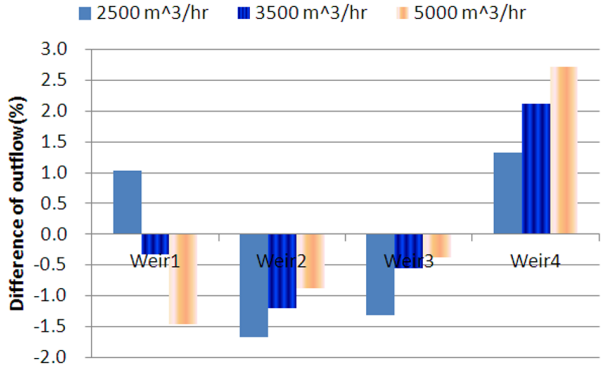

Fig. 5. The difference of outflow at the weir according to influent amount.

3.2 침전지 유입관별 유입유량 진단

정수공정에서 분배조는 침전지 유입 분배조 뿐만 아니라 슬러지 농축조 유입 분배조, 정수지 유입 분배조 등 여러 공정에서 활용되는데 분배조의 설치 공간, 시공의 편의성 등 여러 이유로 완전월류 웨어로 설계되지 않고 불완전 잠수 분배조로 설계 운영되는 경우가 흔히 있다. 따라서 본 연구에서는 3.1절 완전월류

웨어 분배조가 잠수 분배조인 경우를 가정하여 분배 유량의 균등성을 최적화 반응표면법을 통해 진단함으로써 최적화기법 활용 가능성을 평가하고자 했다.

분배관이 분배조 내 물에 잠겨진 상태에서 물이 분배되는 경우 Fig. 6에서와 같이 관 길이와 굴곡 개수 등 관에서 발생되는 에너지 손실이 다르기 때문에 유입되는 유량 차이가 발생하게 된다.

Table 1과 같이 침전지 3의 유입관 길이가 36.9m고 가장 짧을 뿐만 아니라 굴곡도 없이 직선 관이었고 유입관 2은 관 길이가 60m로 가장 길고 굴곡도 2 곳이나 있어서 관 마찰 손실이 가장 클 것으로 예상할 수 있다.

침전지 유입 유량을 진단한 결과 Fig. 7과 같이 침전지 1은 25.3%, 침전지 2는 23.5%, 침전지 3은 26.7%, 침전지 4는 24.5%로 각각 상이한 유입량을 나타냈다.

각 유입관 별 유입량을 분석한 결과 유입관 2에서 균등한 유출량인 25% 보다 적은 23.5%로 유입량이 가장 적었고 유입관 3은 26.7%로 가장 유입량이 많았다.

이와 같은 유입관 별 유입량의 편차는 Table 1의 유입관별 길이, 굴곡에서 예측한 결과와 잘 부합한다. 즉 유입량이 가장 큰 침전지 3의 경우 관 길이는 36.9m로 유입관 중에서 가장 짧았고 굴곡도 없는 직관 형태이어서 다른 유입관에 비해 유입량이 가장 크게 나타난 것은 당연한 결과이다. 또한 유입량이 가장 적은 침전지 2의 경우 길이도 60.1m로 유입관 중에서 가장 길고 굴곡 횟수도 2곳으로 많아 유입량이 가장 적은 23.5%를 나타내었다. 따라서 유입량은 유입관의 길이와 굴곡회수에 반비례하는 것을 알 수 있다. 즉 유입관의 길이가 길수록 방향전환 횟수가 많을수록 관내 에너지 손실이 크기 때문에 유입량 역시 감소하는 것이다.

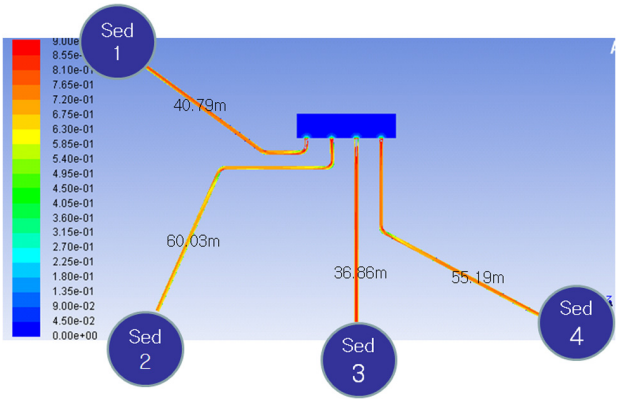

Fig. 6. The shape of influent pipe of sedimentation basin.

Table 1. Length, curvature of the influent pipe

Item	Length (m)	Curvature
Pipe 1	40.8	2
Pipe 2	60.0	2
Pipe 3	36.9	0
Pipe 4	55.2	1

3.3 침전지 유입 밸브 개도율 최적화

침전지 유입관 별 유입량의 편차를 줄이기 위해서는 유입관에 부착되어 있는 유입관 밸브의 개도율을 조절함으로써 유입량을 균등하게 할 수 있다. 유입 밸브 개도율을 최적화하기 위해서 본 연구에서는 전술한 최적화 소프트웨어 Design of Experiment의 반응표면법(Response surface)을 활용하였다.

최적화 진단 결과 밸브의 개도율에 따른 유량의 민감도는 Fig. 8과 같이 밸브1이 가장 큰 값을 밸브3이 가장 낮은 값을 나타낸 반면 밸브 2, 4는 비슷했다. 이와 같은

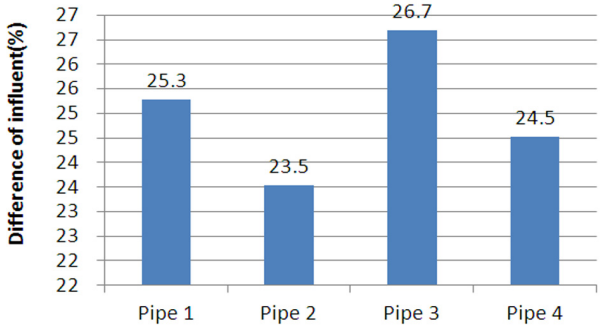

Fig. 7. The difference of influent amount at the sedimentation basin.

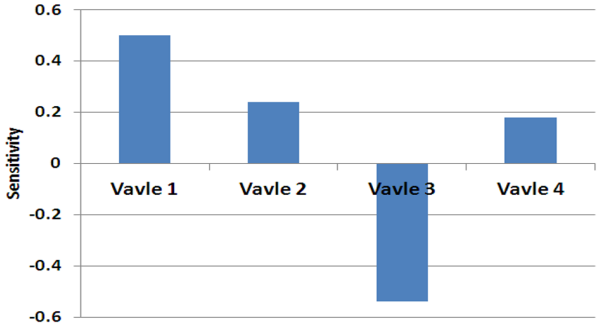

Fig. 8. The sensitivity of flux according to opening of each valve.

결과는 밸브의 개도율 최적화하는데 있어서 밸브 1, 3이 밸브 2, 4보다 큰 영향을 주기 때문에 밸브 1, 3을 제어하는 것이 보다 효과적이라는 의미이다.

Fig. 9는 유량 균등성에 가장 영향을 크게 주는 밸브 1, 3의 개도율에 따른 유량 변화를 나타내고 있다. 그래프에서 보는 바와 같이 밸브의 개도율이 높아지면 유량이 증가하고 개도율이 낮아지면 유량이 감소하는 일반적인 경향을 보이고 있지만 X축에 표시되어 있는 밸브 3의 개도율에 따라 유량 변화가 상대적으로 Z축의 밸브 1의 개도율에 따른 변화량 보다 크다는 것을 알 수 있다.

이와 같은 밸브의 개도율에 따른 파이프 출구에서 유량 변화는 파이프와 밸브 간의 상대적인 조건에 따라 매우 민감하게 반응하기 때문에 쉽게 최적값을 추정하기 어렵다. 따라서 일반적인 최적화 방법에서는 제어변수의 표준편차가 가장 적은 값을 추천한다.

Table 2는 표준편차가 적은 순으로 세 가지 경의 최적 밸브 개도율을 보여 주고 있다. 표준편차가 2.97로 가장 적은 추천1은 밸브 1, 2, 3은 모두 개방한 상태에서 밸브 3만 개도율을 75%로 하는 방법을 제시하고 있다. 추천 2는 밸브 1을 약 88%로 추천 3은 약 97% 개방하는 값을 제시하고 있다. 따라서 표준편차가 가장 적고 또한 밸브의 조절의 단순함에서도 추천 1이 추천 2, 3보다 유리한 최적 대안을 알 수 있다.

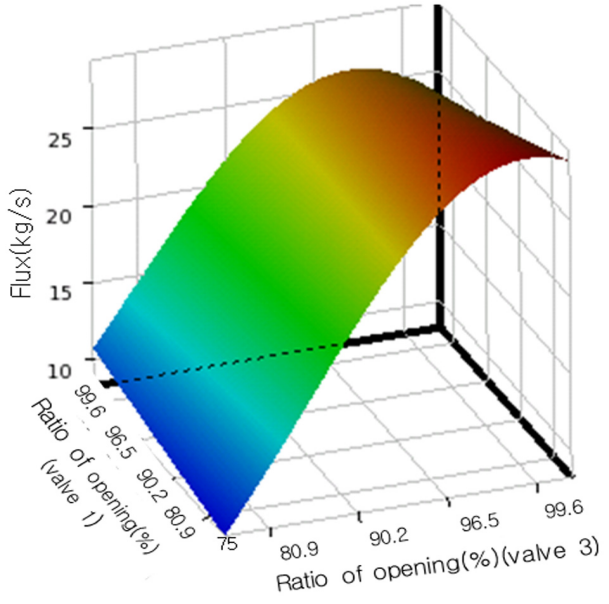

Fig. 9. Difference of flux according to rate of opening at valve 1, 3.

Table 2. The optimum value of valve opening ratio

Item	Valve1	Valve2	Valve3	Valve4	Standard deviation
Candidate1	100.0	100.0	75.0	100.0	2.97
Candidate2	87.6	99.8	75.7	99.8	4.65
Candidate3	97.3	99.5	76.9	99.7	5.27

4. 결 론

전산유체역학적 기법을 활용하여 수처리공정에서 일반적으로 활용되고 있는 분배조의 분배수량 균등성에 대한 최적화 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 분배조 웨어 유출량은 유입유량이 적은 경우는 유입구에서 가까운 웨어로 월류량이 많고 유입 유량이 증가할수록 유입구에서 먼 웨어로 유출량이 증가하는 경향을 보인다.

2) 잠수 분배조에 연결되어 있는 배관에 의한 분배량의 편차는 배관의 길이, 굴곡에 의해 영향을 받으며 그 영향 정도는 각 배관의 상대적인 에너지손실과 분배조 내 유동상태에 의해 결정된다.

3) 잠수 분배조의 분배량 편차를 최소화하기 위한 반응표면법 방식의 최적화 기법은 밸브의 최적 개도율을 결정하는데 매우 유용한 기법이다.

References

A.G. El Samrani, B.S. Lartiges, and F. lieras (2008) Chemical coagulation of combined sewer overflow: Heavy metal removal and treatment optimization, Water Research, 42(4-5), 951-960

Jian-Ping Wang, Yong-Zhen Chen, Xue-Wu Ge, and Han-Qing Yu (2007) Optimization of agulation‐flocculation process for a paper-recycling wastewater treatment using esponse surface methodology, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 302(1-3), 204-210.

Shahin Ghafari, Hamidi Abdul Azizb, Mohamed Hasnain Isa, and Ali Akbar Zinatizadehd (2009) Application of response surface methodology (RSM) optimize coagulation‐l flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (PAC) and alum, Journal of Hazardous aterials, 163(2-3), 650-656.

Yeseul Kim, jeill Oh(2015) Optimization of coagulant dosage using response surface methodology with central composite

design, J. of korean society of water and wastewater, 29(2), 193-202

Dong-Young Lee, Jae-Min Choi, Jung-Kwang Kim, Sun-Kee Han, Chae-Young Lee(2015), Optimization of thermal alkaline pre-treatment for anaerobic digestio of flotation scum in food waste leachate using box-behnken design and response surface methodology, j. of korea society of water and wastewater, 29(2), 183-192

Se-Uk Jeong, Jae-Hyun Lee, Tae-Won Park, Yong Mo Kim (2014) Utilization of response surface methodology to optimize a coagulation-flocculation process for trnnel wastewater treatment, j. of korea society of water and wastewater, 28(5), 601-608

Gilbert M. Masters and Wendell P. Ela (2008) Introduction to Environmental Engineering and Science, Pearson Education, Inc.

Co. Ltd. Teasung (2013) Workbench Mechanica optimization, Design of experiment and response surface 10-21

Gil-Seong Lee (2012) Effect of CO2 injection on pH control and Coagulation in Water Treatment Plant, Changwon National University.

Gregory S. Patience (2013) Experimental Methods and Instrumentation for Chemical Engineers, Elsevier.