Proceedings of
The Second National Congress on Fluids Engineering
August 22-24, 2002, Muju, Korea

삼차원 유동해석을 통한 침전조의 침전효율 예측 및 형상설계

최상철*, 김홍민*, 김광용**

Shape Design and Prediction of Efficiency of Sedimentation Bed using Three-Dimensional Flow Analysis

Xiang-Zhe Cui*, Hong-Min Kim*, Kwang-Yong Kim**

Key Words : Sedimentation bed(침전조), Sedimentation efficiency(침전효율), Sludge(슬러지), Center feed wall(중앙분리벽), Blockage Ratio(목비), Angle of distributor(분배판의 각도)

Abstract

Three-dimensional flow analyses for two different ratios of radius to height of sedimentation bed are implemented to evaluate the effect of blockage ratio of center feed wall and angle of distributor on sedimentation efficiency, and to find the optimal value of those parameters. Sedimentation efficiencies for three different shapes are compared with and without rotation speed. And then, five different combinations of blockage ratio of center feed wall and angle of distributor are compared. It reveals that the effect of blockage ratio of center feed wall and angle of distributor is considerable to sedimentation efficiency while rotation effect can be neglected, and 0.55 and 33°for blockage ratio of center feed wall and angle of distributor, respectively, give the best sedimentation efficiency.

1. 서 론

침전공정은 중력의 힘을 이용하여 고체와 액체를 분리하는 가장 원천적이고 간단한 수처리 방법이다. 현재 국내에서 99%이상 사용되고 있는 침전조는 자연침강 및 밀도차를 이용한 방법으로서 날로 늘어나는 공장 및 생활 오·폐수를 처리하기 위해서는 처리량의 증가에 비례해 침전조의 설치면적을 증가시켜야만 한다. 하수 및 오수처리장의 경우, 1차 및 2차 침전조와 농축조 그리고 경우에 따라서는 화학적 침전이 사용되기도 하며 이런한 침전공정은 장방형과 원형으로 구분하는데 본 연구에서는 원형을 선정하였다. 침전조는 복잡한 기계나 움직이는 장치가 별로 없어 단지 넓고 크기만 한 구조물로만 여겨지고 상수도와 하수도 시설 기준서에도 설계기준이 체류시간 및 고형부하율 등으로 간략하게 나와있다. 따라서 별로 중요하지 않다고 과소평가 할 수도 있으나 이는 침전현상에 대한 이해부족과 이론정립이 되어있지 않기 때문이다. 실제로 침전조에서 발생하는 현상은 매우 복잡하고 중요하다. 즉 침전조 내에서는 계속하여 물이 흐르는 동시에 입자들끼리 응집과 침전이 일어남에 따라 입자의 크기분포가 시간에 따라 변화하는 복잡한 현상이 발생하고 있다. 따라서 침전조 내의 현상을 정확히 예측하고 침전조의 효율적인 설계나 운전을 위해서는 수리동력학과 입자의 거동을 동시에 연구하고 이를 이용하여 효율이 향상된 새로운 응집 및 침전방법의 개발이 이루어져야 한다.

침전조 내에서 물의 수력학적인 거동에 대한 실험적, 수치적인 연구는 활발하게 수행되어 왔다. 초기에는 Hazen[1], Camp[2] 등이 복잡한 흐름을 단순화하여 침전지를 설계하였고, Anderson[3] 과 Larsén[4]등에 의해 복잡한 침전조 내부의 밀도류에 의한 순환현상과 슬러지의 재부유 현상이 연구되었으며, Heinke 등[5,6]과 McCorquodale[7,8], Lakehal 등[9]에 의해 단락류 현상이 밝혀지면서 침전조 내의 복잡한 동수력학적인 특성에 대해 많은 실험적인 연구가 수행되고 있다. Iman[10]은 침전조 폭 대 수심비가 약 1정도인 실험실 모형에서 레이저 유속계(Laser Doppler Velocimetry)를 사용하여 유속을 측정하여 침전조 내부의 유동현상을 규명하였고, Stamou와 Adams[11]는 보다 현장조건에 부합하는 유출부 형상에 대해 농도분포 및 유속분포를 색소추적방법, 흐름가시화, 그리고 레이저 유속계를 사용하여 측정하였다. 또한 레이놀즈 수와 침전조 폭 대 수심비 그리고 침전조 장폭비 등의 변화에 따른 영향을 규명하였다. Lyn과 Rodi[12]는 2차원 레이저 유속계를 사용하여 침전조 유입부에서의 흐름 및 난류특성을 세부적으로 측정하여 유입부에서의 흐름의 거동은 매우 복잡한 3차원적인 특성을 보이며 난류강도 또한 매우 높은 것으로 보고하고 있다. Krebs 등[13]은 밀도류에 의한 비균등 흐름 현상을 개선하기 위해 유입부의 새로운 형태를 제안하고 이에 대한 모형실험 연구를 수행하였다. 그들은 유입부의 간격의 변화 및 에너지소산용 날개를 설치하여 이들의 영향을 검토하였으며, 유입관에서 방류되는 제트류의 에너지 소산을 위한 정류벽의 영향을 검토하였다. 측정기기의 발달로 인하

* 인하대학교 기계공학과 대학원, cxzhe@hanmail.net
* 인하대학교 기계공학과 대학원, g1991001@inhavision.inha.ac.kr
** 인하대학교 기계공학부 kykim@inha.ac.kr.

여 어느 흐름에서의 3차원 유속을 정밀하게 측정할 수 있는 ADV(Acoustic Doppler Velocitimeter)나 LDV (Laser Doppler Velocitimeter)가 개발되어 응용되고 있다. 이와 같은 실험이나 해석의 단점은 맑은 물을 대상으로 하기 때문에 부유물질이 존재하는 침전조의 유동구조와는 많은 차이를 보인다. 이를 보완하기 위해 입자의 크기가 동일한 부유물질을 대상으로 해석하기도 하였으나 이와 같은 수공학적인 접근은 입자의 거동을 고려하지 않았기 때문에 실제로 침전조에서 일어나는 현상을 예측하기는 불가능하다.

본 연구에서는 CFD코드인 CFX4.4를 이용해 물과 슬러지의 다상(多相 : multi-phase)유동해석을 수행하였다. 기존의 침전조 형상과 목비와 분배판을 갖는 개선된 형상에 대한 유동해석을 바탕으로 각각의 형상에 대한 침전효율을 비교하였으며, 목비와 분배판의 각도변화에 따른 침전효율을 비교하여 최적의 목비와 분배판의 각도를 결정하였다.

2. 유동해석

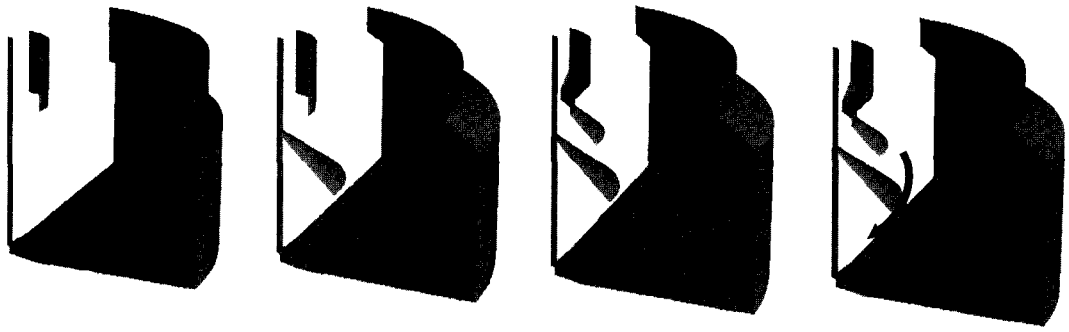
본 연구에서는 물과 슬러지의 혼합유동을 해석대상으로 하였으며, 계산에 사용된 슬러지의 농도는 0.4%이고 비중은 1.01이며 입자직경은 15.61 μm , 점도는 0.7Mpa · s이다.

2.1 지배방정식

시간에 따른 슬러지의 침강을 고려하기 위해 3차원, 비압축성, 비정상, 시간평균 Reynolds Averaged Navier-Stokes 방정식을 이용하였으며, 난류모델로는 표준 k-ε모델을 사용하였다. 또한 물과 슬러지 사이에서는 서로 운동량이 교환되도록 하였다.

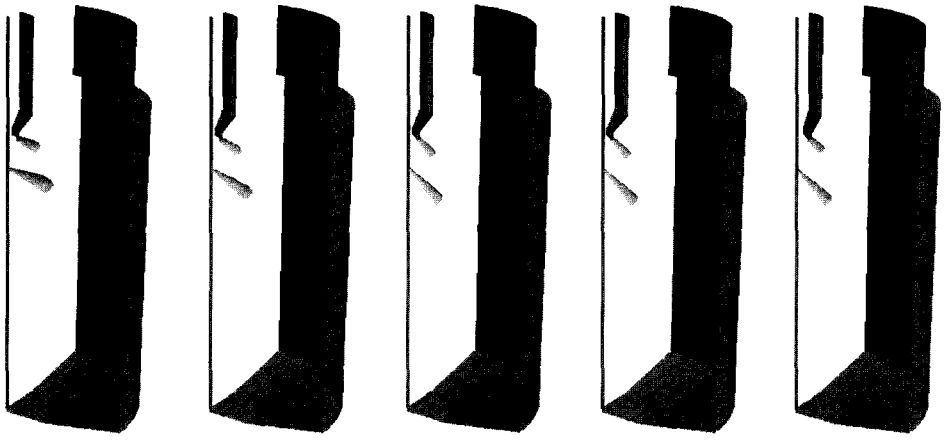
2.2 침전조 형상

기존의 형상과 목비와 회전판을 갖는 개선된 형상을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1 (a)는 기존의 침전조 형상을 나타내고 있



(a) G0 (b) G1 (c) G2 (d) G3

Fig.1 Geometric shapes (a) old type (b) with distributor (c) with blockage ratio (d) with rotation of distributor



(a) T1 (b) T2 (c) T3 (d) T4 (e) T5

Fig. 2 Geometric shapes according to blockage ratio and angle of distributor

Table 1 Dimensions of angle of distributor and blockage ratio

Type	Angle of distributor	Blockage ratio
T1	22.3°	0.55
T2	33°	0.55
T3	45°	0.55
T4	45°	0.5
T5	45°	0.67

Table 2 Effect of blockage ratio and distributor on sedimentation efficiency

Type	유입량 (Kg)	침전량 (Kg)	침전효율 (%)	상대효율 (%)
G0	233.6	0.602	0.25	100
G1	233.6	1.432	0.613	237.9
G2	233.6	1.568	0.671	260.4
G3	233.6	1.568	0.671	260.4

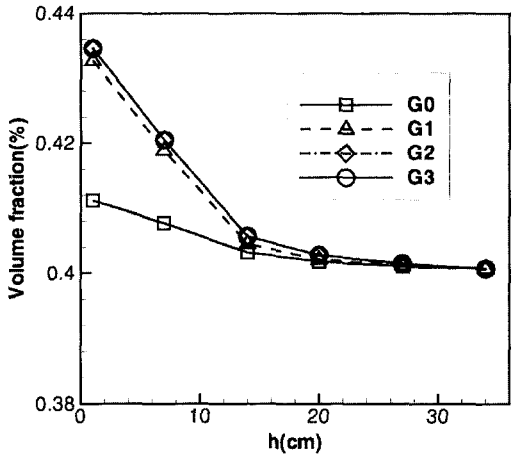


Fig. 3 Comparison of sedimentation efficiencies

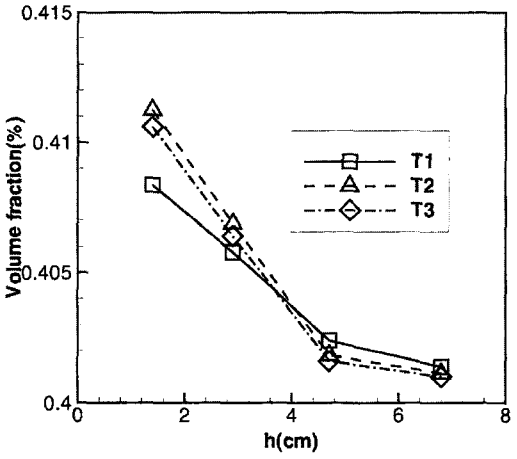


Fig. 4 Comparison of sedimentation efficiencies (blockage ratio = 0.55)

는데 유동은 중심의 파이프를 통해 침전조의 중앙으로 유입되며 정화된 물은 침전조 벽을 넘어 밖으로 유출된다. Fig. 1 (b)와 (c)는 각각 분배판이 설치된 경우와 목비를 갖는 경우의 형상을 나타낸다. Fig. 1 (d)는 (c)와 형상은 같으나 분배판이 회전하는 경우를 나타내고 있다. Fig. 2는 목비와 분배판의 각도변화에 따른 침전효율을 비교하기 위해 사용된 5가지의 형상을 나타내고 있으며, 각각의 목비와 분배판의 각도는 Table 1에 나타내었다. 형상의 대칭성을 고려하여 전체의 1/4부분을 해석하였으며 효율적인 격자생성을 위해 회전판과 원통의 두께를 무시하였다.

2.3 경계조건

입구경계조건으로는 현재 사용되고 있는 침전조의 처리 유량을 바탕으로 0.567m/s의 균일 유속조건을 사용하였으며, 출구조건으로는 정화된 물이 대기로 흘러나가므로 일정압력조건을 사용하였다. 벽조건으로는 점착(no slip)조건을 사용하였고, 대칭면에서는 대칭(symmetry)조건을 이용하였다. 그리고, 유체와 대기가 접한 자유표면은 slip 조건으로 지정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 목비와 분배판의 영향

침전현상은 중력에 의한 자연침강과 슬러지 간의 화학적 반응에 의한 고형물(floc)의 형성에 의해 이루어진다. 본 연구에서는 침전의 주요 구동력을 중력으로 간주하여 슬러지간의 화학적 반응은 고려하지 않았다. Fig. 3은 기존의 형상과 목비와 분배판을 갖는 형상, 그리고 분배판이 회전하는 경우(회전속도 $\omega = 0.44\ rad/s$)에 대한 침전효율을 비교한 결과이다. 기존의 형상에 비해 개선된 세 가지 형상의 침전량이 침전조의 바닥으로부터 20 cm 이내의 구역에서 현저히 증가함을 보이고 있으며, 분배판의 회전은 침전에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 침전조의 바닥으로부터 27 cm 이상의 구역에서는 거의 침전이 일어나지 않았으며, Table 2에 각 형상에서의 침전량과 기존형상을 기준으로 한 상대효율을 나타내었다. 목비와 분배판을 설치함으로 인해 침전효율은 최대 260%의 증가를 보이고 있는데, 이는 목비와 분배판으로 인해 유동이 상부와 하부로 나뉘는 단락류가 형성되며[9], 이로 인해 중력에 의한 자연침전이 일어날 수 있는 유효침전면적이 증가하기 때문으로 사료된다.

3.2 목비의 변화와 분배판 각도의 영향

침전조에 설치된 목비와 분배판의 각도가 침전효율에 미치는 영향을 비교하여 최적의 목비와 분배판의 각도를 찾기 위해 목비가 0.5, 0.55, 0.67인경우와 분배판의 각도가 22.3°, 33°, 45°인 경우를 계산하였다.

Fig. 4는 목비를 0.55로 고정시키고, 분배판의 각도를 변화시킨 경우의 침전효율을 나타내고 있다. 목비가 일정한 경우 분배판의 각도가 33°인 경우 다른 각도에 비해 침전효과가 크게 나타났는데, 이는 33°인 경우에 분배판을 지난 유동의 층류화가 빠르게 진행됨으로써 중력에 의한 자연침전효과가 증가하기 때문으로 사료된다.

Table 3 Comparison of sedimentation efficiencies for various blockage ratio and angle of distributor

Type	유입량 (Kg)	침전량 (Kg)	침전효율 (%)	상대효율 (%)
T1	4.58	0.003803	0.083	100
T2	4.58	0.004177	0.091	109
T3	4.58	0.004019	0.0878	106
T4	4.58	0.003650	0.0797	95
T5	4.58	0.003109	0.0679	82

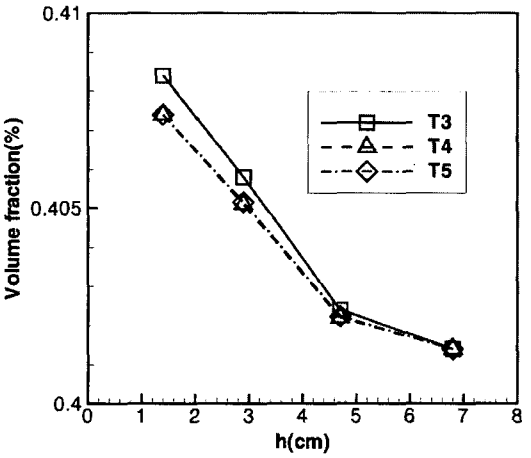


Fig. 5 Comparison of sedimentation efficiencies (angle of distributor = 45°)

Fig. 5는 분배판의 각도를 45°로 고정시킨 경우 목비의 변화에 대한 침전효율의 비교를 나타내고 있다. 목비가 0.55인 경우의 침전효율이 가장 크게 나타남을 알 수 있으며, 이는 목비가 0.5인 경우, 가속된 유동이 분배판과 충돌함으로써 유동의 층류화를 방해하여 침전효율의 저하를 유발하며, 목비가 0.67인 경우는 유속의 감소가 중력에 의한 유효침전면적의 감소를 유발하기 때문으로 판단된다. Table 3에 목비와 분배판의 각도변화에 따른 상대침전효율을 비교하였다. 앞서 언급된 바와 같이, 목비가 0.55, 분배판의 각도가 33°인 경우 침전효율이 최대가 됨을 알 수 있다.

4. 결 론

기존의 침전조 형상과 목비, 분배판을 갖는 새로운 형상에 대해 물과 슬러지의 유동현상을 해석하여 침전조의 침전효율을 비교하였다. 기존 형상에 비해 목비와 분배판을 갖는 형상은 침전효율이 최대 260% 증가하였으며, 분배판의 회전효과는 침전효율에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 5가지 조합의 목비와 분배판의 각도에 대한 침전효율 비교를 통해 최적의 목비와 분배판의 각도를 제시하였다. 계산결과, 목비가 0.55, 분배판의 각도가 33°인 경우의 효율이 상대적으로 크게 나타났다. 이러한 침전효율의 증가 원인은 목비와 분배판이 유동의 가속 또는 감속 및 유동의 층류화에 상당한 영향을 미쳐 중력에 의한 유효침전면적의 증가 또는 감소를 유발하기 때문으로 사료된다. 향후 본 연구를 바탕으로 목비와 분배판에 의한 영향과 더불어 침전조의 폭 대 깊이비의 변화에 따른 침전효과의 비교를 통해 보다 효율적인 침전조의 설계가 이루어질 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] Hazen, A.(1904). "On Sedimentation." Trans., ASCE, 53, 45-71.

[2] Camp, T.R..(1945). "Sedimentation and the Design of Settling Tanks." Trans., ASCE, New York, N.Y, 895-936

[3] Anderson, N.E. (1945). " Design of Settling Tanks for Activated Sludge." Sewage Works J., 17(1), 50-63.

[4] Larsen, P. (1977). "On the Hydraulics of Rectangular Settling Basins." Report No. 1001, Dept. of Water Resources Engineering, Lund Inst. of Tech., Lund, Sweden.

[5] Heinke. G.W. (1974). "Design and Performance Criteria for Settling Tanks for Removal of Physical-chemical Flocs." Summary Report, U. of Toronto, Canada.

[6] Heinke. G.W., Qazi, M.A., and Tay, A. (1975). "Design and Performance Criteria for Settling Tanks for Removal of Physical-chemical Flocs." Res. Report, U. of Toronto, Canada.

[7] McCorquodale. J.A. (1976). "Hydraulic Study of the Circular Settling Tanks at the West Windsor Pollution Control Plant." Rep., U. of Windsor, Ontario, Canada.

[8] McCorquodale. J.A. (1987). "Density Current in Clarifiers." Proc., 1987 Nat. Conf. on Hydr. Engrg., ASCE, New York, N.Y.

[9] Djamel Lakehal, Peter Krebs, Johan Krijgsman, Wolfgang Rodi, (1999), "Computing Shear Flow and Sludge Blanket in Secondary Clarifiers," J. of Hydraulic Engineering, March 1999, pp. 253 - 262

[10] Iman, E.(1981). "Numerical Modeling of Rectangular Clarifiers." Ph.D. Thesis, U. of Windsor, Ontario, Canada.

[11] Adams, E.W., and Stamou A.I. (1988). "A Study of flow in a Two-Dimensional Model Settling Basins." Report No. SFB 210/E/40, Univ. of Karlsruhe, Karlsruhe, Federal Republic of Germany.

[12] Lyn, D.A., and Rodi, W. (1990). "Turbulence Measurements in a Model Settling Tank." J. of Hydraulic Engrg, ASCE, 116(1), 3-21.

[13] Krebs, P., Vischer, D., and Gujer, W. (1995). "Inlet-Structure Design for Final Clarifiers." J.of Environmental Engrg, ASCE, 121(8), 558-564.