

고속 선회류 침전 장치의 유동 해석 및 수질 개선을 위한 현장 적용 가능성 평가

김진한** · 전세진

* 인천대학교 도시환경공학부 교수

** 인하공업전문대학 화공환경과 겸임교수

Analysis of Fluid Flows in a High Rate Spiral Clarifier and the Evaluation of Field Applicability for Improvement of Water Quality

Jin Han Kim** · Se Jin Jun**

* Department of Environmental Engineering, School of Urban and Environmental Engineering, Incheon National University

** Department of Chemical & Environmental Technology, Inha Technical College

요 약

본 연구는 오염된 유수지 수질개선을 위한 고속 선회류 침전 장치(HRSC)의 이용 가능성을 평가하는데 목적을 두었다. 이를 위해 실험실 규모 및 파일럿 규모의 실험을 수행하였다. 또 전산유체역학(CFD) 프로그램 중 하나인 Fluent를 이용하여 유입속도 및 유입직경, 몸체길이(L_B) 및 하부콘길이(L_c), 역경사콘 기울기 및 간격, 하부유출홀 설치 여부가 HRSC 장치 내부의 유체흐름 패턴에 미치는 영향을 분석하였다. 유동 분석 결과와 실험실 규모의 실험 결과를 토대로 파일럿 장치를 제작하고 유수지 시료를 대상으로 현장 적용 가능성을 평가하였다. 장치 내부의 유동 조사 결과, 유입 유량과 직경 보다 유입 속도가 선회류 형성에 더 큰 영향을 나타내었으며, L_B 1.2~1.6D_B(몸체 직경), L_c 0.35~0.5L_B 범위에서는 큰 차이가 없었으나 L_B/D_B 2.0, L_c/L_B 0.75로 비가 큰 경우 선회류는 감소되었다. 역경사콘 기울기가 커질수록 역경사콘 내부 속도는 낮아지고 매우 균일하게 분포되었으며, 역경사콘 간격은 난류를 방지하기 위해 10cm가 20cm 보다 좋은 조건이었다. 하부 유출홀은 설치하지 않는 것이 배출수의 고른 유량 분배와 편류 방지를 위해 보다 좋은 것으로 판단되었다. 파일럿 규모의 현장 실험 결과 수중의 입자성 물질이 효과적으로 제거되어 본 장치가 유수지와 같은 대용량 수체의 수질개선을 위한 한 가지 방안으로 활용될 수 있을 것으로 기대되었다.

핵심용어 : 고속 선회류 침전 장치, 흐름 패턴, 전산유체역학, 현장 적용 가능성

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the High Rate Spiral Clarifier(HRSC) availability for the improvement of polluted retention pond water quality. A lab scale and a pilot scale test was performed for this. The fluid flow patterns in a HRSC were studied using Fluent which is one of the computational fluid dynamic(CFD) programs, with inlet velocity and inlet diameter, length of body(L_B) and length of lower cone(L_c), angle and gap between the inverted sloping cone, the lower exit hole installed or not installed. A pilot scale experimental apparatus was made on the basis of the results from the fluid flow analysis and lab scale test, then a field test was executed for the retention pond. In the study of inside fluid flow for the experimental apparatus, we found out that the inlet velocity had a greater effect on forming spiral flow than inlet flow rate and inlet diameter. There was no observable effect on forming spiral flow L_B in the range of 1.2 to 1.6D_B(body diameter) and L_c in the range of 0.35 to 0.5L_B, but decreased the spiral flow with a high ratio of L_B/D_B 2.0, L_c/L_B 0.75. As increased the angle of the inverted sloping cone, velocity gradually dropped and evenly distributed in the inverted sloping cone. The better condition was a 10cm distance of the inverted sloping cone compared to 20cm to prevent turbulent flow. The condition that excludes the lower exit hole was better to prevent channeling and to distribute effluent flow rate evenly. From the pilot scale field test it was confirmed that particulate matters were effectively removed, therefore, this apparatus could be used for one of the plans to improve water quality for a large water body such as retention ponds.

Keywords : High Rate Spiral Clarifier, flow pattern, CFD, field applicability

+ Corresponding author : jinhan@incheon.ac.kr

1. 서론

호소, 유수지와 같이 대용량 수체(Water body)의 일반적인 수질 개선 방법으로는 크게 물리·화학적 처리 방법과 수생 식물을 이용한 생물학적 방법을 들 수 있다(Koo et al., 2004; Kim et al., 2003; Yang 2003, Lee et al., 1999). 이 중 수생 식물을 이용한 방법은 처리 비용이 저렴하다는 장점은 있으나 넓은 부지가 소요된다는 점, 생물학적 방법이므로 살충제 등 화학물질과 온도에 매우 민감하여 처리 효율이 일정하지 못하며, 오염물질의 농도 변화와 유량 변화에 따른 처리 효율의 급격한 저하 등 여러 문제점을 내포하고 있다. 따라서 수생 식물에 의한 처리는 오염된 호소의 수질 개선을 위한 주된 방법으로 사용하기보다 보조적 방법으로 이용할 수 있다.

처리 즉시 수질 개선 효과를 나타낼 수 있는 물리·화학적 처리 방법으로 응집·침전에 의한 방법이 있다(Kim et al., 2010). 그러나 종래의 응집·침전 방법은 대규모 설비가 요구됨에 따라 넓은 부지 면적이 소요된다. 또 급속 및 완속 교반 장치, 약품 등 시설비와 운용비용이 많이 소요되는 문제점을 가지고 있다. 따라서 소요 부지 면적이 작고 구조가 콤팩트하여 기존의 응집·침전 장치를 대체할 수 있는 처리 장치가 필요한 실정이다.

고속 나선형 침전 장치(High rate spiral clarifier, HRSC)는 내부에서 발생하는 선회류에 의해 고품질의 긴 체류시간을 유도할 수 있는 처리장치로 수중의 입자성 물질을 효과적으로 처리할 수 있는 특징을 가지고 있다. 최근 건설현장에서 배출되는 토사, 초기우수 등 비점오염원의 처리에 나선형 침전 장치를 이용하려는 사례들이 있으나 장치 내부의 유체 유동에 대한 이해가 부족한 상황이다(Alviti 2003, Arnaud 2003, Leung 2002). 따라서 고속 나선형 침전 장치의 체계적인 연구와 활용을 위해서는 유체 흐름 분석을 통한 장치 내부의 유체 거동 특성에 대한 이해가 필요한 상황이다.

본 연구는 대규모의 유수지 수질 개선을 위한 고속 나선형 침전 장치의 이용 가능성을 알아보고자 수행되었다. 이를 위해 장치 내부의 유체 흐름 거동 해석과 실험실 및 파일럿 규모의 실험을 수행하였다. 장치 내부의 유체 흐름 거동 해석에는 전산유체역학(Computational fluid dynamics, CFD) 프로그램 중 하나

인 Fluent(Anflux 2004)를 이용하였으며 장치의 각 조건 즉, 유입속도 및 유입직경, 몸체길이(L_B) 및 하부 콘길이(L_c), 역경사콘 기울기 및 간격, 하부유출홀 설치 여부가 장치 내부의 유체흐름 패턴에 미치는 영향을 조사하였다. 유동 분석 결과와 실험실 규모의 실험결과를 토대로 파일럿 규모의 실험 장치를 제작하고 오염도가 높은 대규모 유수지의 수처리에 적용함으로써 이의 현장 적용 가능성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 장치 내부 유동 해석

최근 CFD를 이용하여 수작업으로 해석이 어려운 장치 내부 유체의 흐름 거동을 알아보고자 하는 연구들이 수행되었다(Cao et al. 2001, Cockx et al. 1999, Choi et al. 2004, Deglon and Meyer 2006). 컴퓨터 성능의 발전과 CFD 해석 결과에 대한 신뢰가 높아짐에 따라 점차 일반 실험을 대체하는 수준까지 발전하고 있다(Panneerselvam et al. 2009, Vakili and Nasr 2009). CFD 상용 프로그램으로는 Fluent, CFX, STAR-CD 등이 알려져 있는데, 본 연구에서는 수처리 분야의 유동 해석 적용 사례가 많은 워크스테이션(Workstation)용 프로그램인 Fluent를 이용하였다. 장치 내부 유체의 유동 특성 모사에 사용되는 기본 식은 연속방정식(Navier-Stokes equation)과 모멘텀 방정식이다(Kessler et al. 1999, McCabe et al. 2005).

본 연구의 유동 해석 절차를 Fig. 1에, 침전 장치와 부분별 명칭을 Fig. 2에 나타내었다. 유동 해석은 먼저 대상 구조물을 3차원 형태로 실제 규격과 동일하게 그리는 Geometry, 구조물의 격자를 생성하는 Mesh와 격자생성 후 운동량 보존방정식의 잉여(Residual) 값이 10^{-4} 이하의 '수렴 단계'로 격자수를 결정하는 Iterate 그리고 모사 완료 후 그 결과를 이미지화 시켜 도출하는 Post 단계로 구성된다. 본 연구에서 격자수는 장치 각 세부 구조물에서의 유체 흐름을 보다 정확하게 해석하기 위해 상대적으로 조밀한 100 만개 내외로 하였다. 또 정확도를 높이고자 잉여 값이 10^{-7} 이하가 되거나 일정한 정상상태 값으로 될 때까지 3,000~5,000회 반복 계산하였으며, 각 조건별 모사 시간은 3~22 시간이 소요되었다. 분석 결과의 유속은 적색, 갈색, 황색, 녹색, 청색의 순으로 점차 낮아짐을 표시하였다.

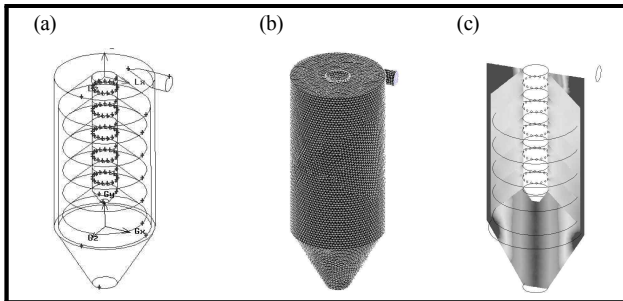


Fig. 1 The procedure of analysis for fluid flow.
(a) Geometry, (b) Mesh, (c) Post

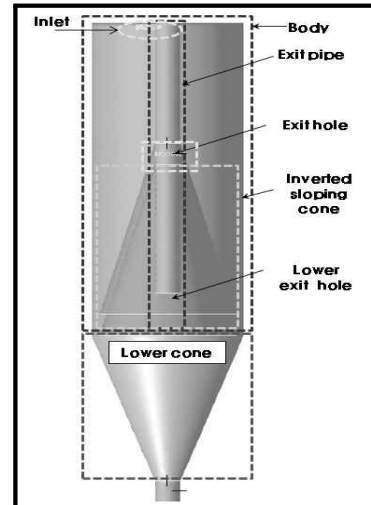


Fig. 2 The name of high rate spiral clarifier parts.

2.2 실험 및 장치

유수지에는 일반적으로 모래, 가는 모래, 점토 등 다양한 크기의 입자성 물질이 함유되어 있으며, 주변 환경과 시료 채취 시기 및 지점에 따라 높은 현탁성 물질이 함유될 수 있다. 본 연구에서 제거하고자 하는 대상물질은 수중에 함유되어 있는 현탁성 입자 성분이다. 즉 크기 1 μm 이상의 부유물질(SS)과 함께 1 μm 전후의 탁도 유발물질 및 천연착색성분 그리고 미세 조류 등과 같은 콜로이드성 물질이다. 실험실 실험에서는 입자성 물질로서 토사가 함유되어 있는 우수가 유수지에 유입된다는 가정 하에 자연 상태의 황토를 사용하여 조제시료를 만들고 이에 대한 처리 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 분말 황토의 입자

분포도를 Fig. 3에 나타내었으며 평균 직경은 약 1.7 μm 로 분석되었다. 황토 중의 주요 성분으로는 철 98mg/L, 알루미늄 85mg/L, 칼슘 75mg/L 그리고 실리카 36mg/L이 함유되어 있었다.

응집제 선정을 위해서는 황산알루미늄(Aluminium sulfate : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), 폴리염화알루미늄(Poly aluminium chloride, PAC), 폴리황산알루미늄(Poly aluminium sulfate, PAS), 폴리황산알루미늄규산(Poly aluminium sulfate silicate, PASS), 폴리염화알루미늄규산(Poly aluminium chloride silicate, PACS), 폴리염화알루미늄칼슘(Poly aluminium chloride calcium, PACC) 등 6종의 응집제에 대한 특성을 검토하였다. 응집제 종류 및 주입량, 반응 조건 등 응집을 위한 최적 처리 조건의 도출에는 Jar-tester를 이용하였다.

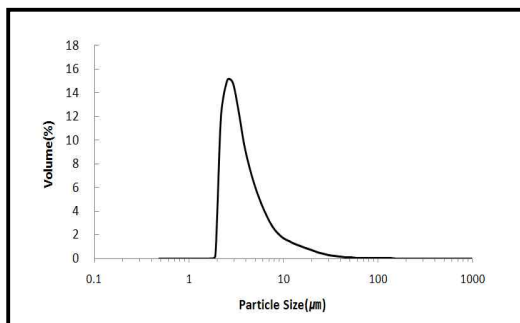


Fig. 3 Size distribution of yellow loess used in this study.

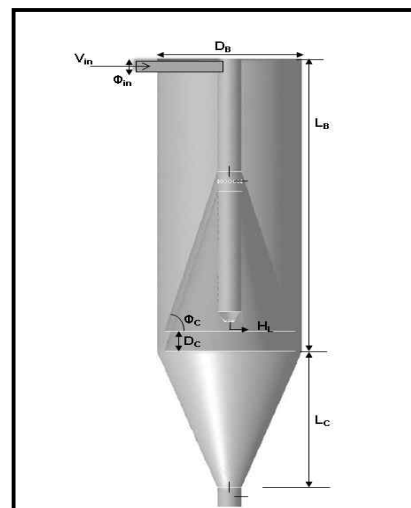


Fig. 4 Abbreviation of parts for a high rate spiral clarifier.

조제 시료와 우수지 시료에 대한 Jar-tester 및 실험실 규모의 실험이 선행된 후 현장 적용 가능성 평가를 위한 파일럿 규모의 현장 실험을 수행하였다. 실험실에서의 실험결과로부터 전술한 6종의 응집제 중 고분자 응집제로 폴리염화알루미늄 계열의 APAC50 (Al_2O_3 10%)을 선정하였으며, 현장 실험을 위한 응집제 주입량은 응집제 주입에 따른 시료의 pH 변동을 최소화할 수 있고, 처리 비용 및 처리 효율을 고려하

여 1mg/L로 결정하였다. 본 논문에서는 고속 선회류 침전 장치 내부의 유동 해석을 통한 파일럿 규모의 장치 제작과 이의 현장 적용 가능성 평가가 주 목적이므로 최적 응집 조건 결정을 위한 상세 실험 결과는 생략하였다. Fig. 4는 고속 나선형 침전 장치의 내부 유동 해석에 사용된 장치의 각 부분에 대한 단축 기호를, Fig. 5는 본 연구의 전체 흐름도를 나타낸 것이다.

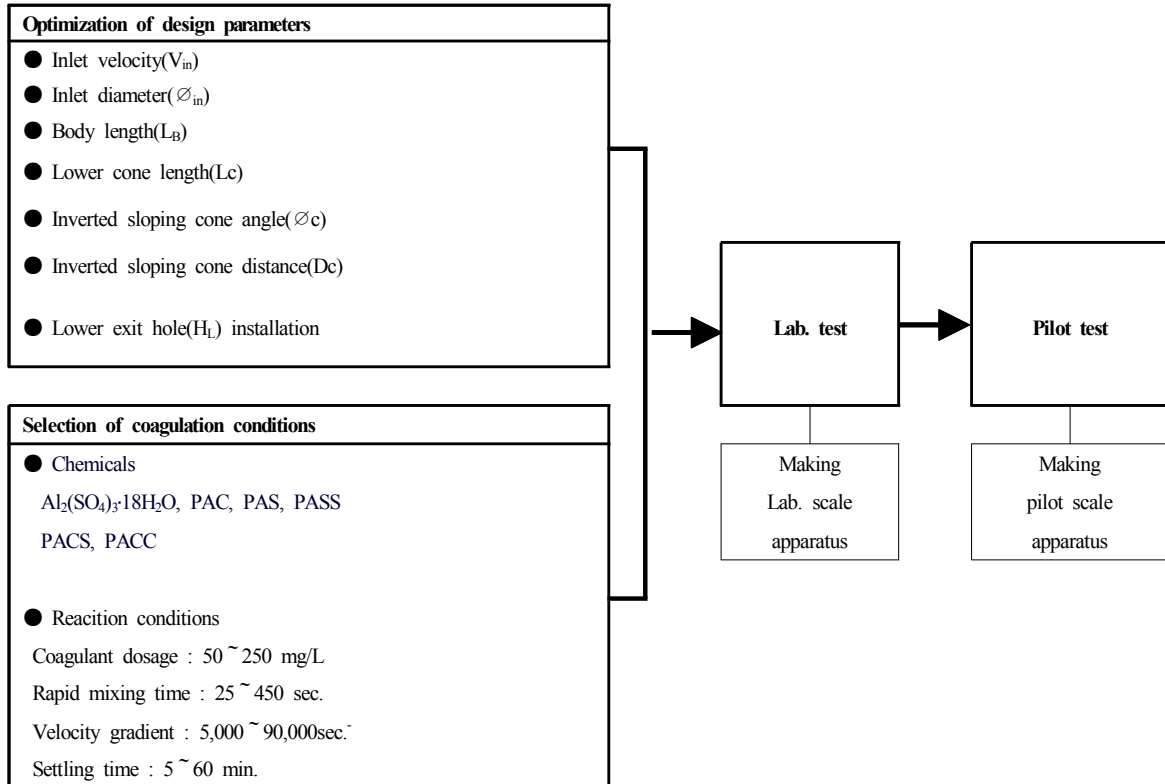


Fig. 5 Flow diagram for this study.

현장 실험을 위한 파일럿 장치의 제작 절차는 Fig. 6에, 실험실 규모 및 파일럿 실험 장치 사진은 photo 1에 나타내었다. 실험실 규모의 실험 장치는 아크릴 재질의 5L 크기로 제작하였다. 실험실 규모의 실험 장치 운전 결과로부터 도출된 문제점 및 개선 방안을 토대로 최종 설계안을 작성하고 약 2m³(D=0.96m, H=3.5m) 크기로 SUS 304 재질의 파일럿 장치를 제작

하여 현장 실험을 수행하였다. 현장 실험에서의 장치 운전 조건은 표면 부하율(Q/A) 약 50m³/m²·day였으며, 표면 부하율의 산정 시 장치 면적은 내부 역경사콘 면적을 제외한 것으로 하였다. 본 논문에서는 기초조사 결과와 함께 현장 적용 가능성 평가를 위한 파일럿 장치의 실험 결과를 중심으로 기술한다.

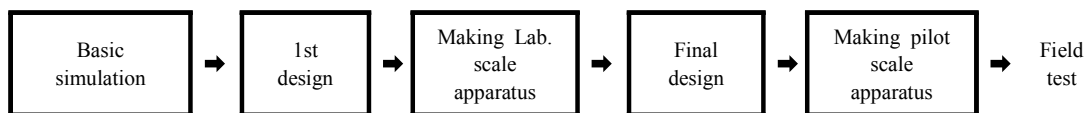


Fig. 6 The procedure for making pilot scale experimental apparatus.

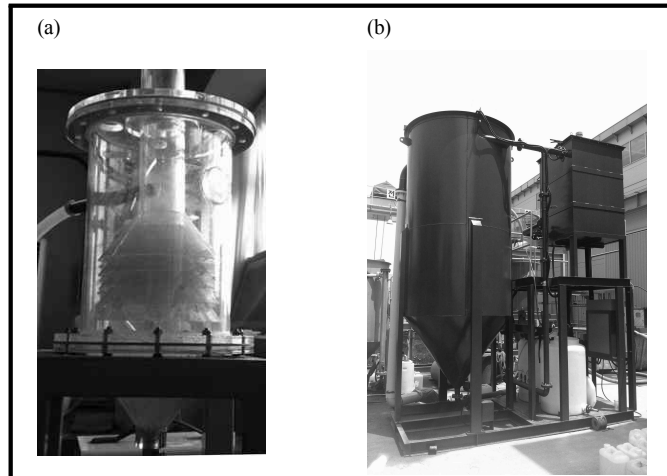


Photo 1 Photo of experimental apparatus for lab. and pilot scale.
(a) lab. scale, (b) pilot scale

3. 결과 및 논의

3.1 유입 속도 및 직경 변화와 내부 유동

본 연구 대상 장치는 수중에 존재하는 부유물질과 같은 입자성 물질을 선회류에 의하여 응집 침전시켜 제거하는 장치이다. 따라서 장치 몸체 내부에서는 선회류가 잘 발달되는 형태의 유체 흐름 패턴이 중요하다고 말할 수 있다. Fig. 7은 유입 직경 60mm의 조건에서 유입속도 변화에 따른 선회류 형성 정도를 모사한 결과이다. 유입 속도 2m/s 이상의 조건인 (c)와 (d)에서 선회류가 잘 발달됨을 볼 수 있다. 하부콘에서 사영역의 발생 없이 유체의 속도가 고르게 분포되는 조건은 (d)의 유입 속도 4m/s인 것으로 나타났다.

유량과 직경 변화에 따른 유동 변화를 나타낸 결과가 Fig. 8이다. 유량 Q인 조건의 모사 결과가 (a)이고, 유량을 약 2배로 하여 유동을 분석한 결과가 (c)~(d)이다. 유입 속도가 비슷하고 유입 직경이 다른 (a)와 (d)를 비교해 보면, (d)의 경우 (a)에 비해 약 두 배 많은 유량 유입에도 불구하고 선회류와 속도 분포는 고르게 발달되지 않음을 알 수 있다. 또 동일 유량에서 유입 직경과 유속이 다른 (b)~(d)를 비교해 보면 유입 속도가 높은 (b)에서 선회류가 전반적으로 잘 발달되고 속도 분포 역시 균일하였다. 이로부터 유입 속도가 선회류 형성에 가장 큰 영향을 미치는 인자로 볼 수 있었다.

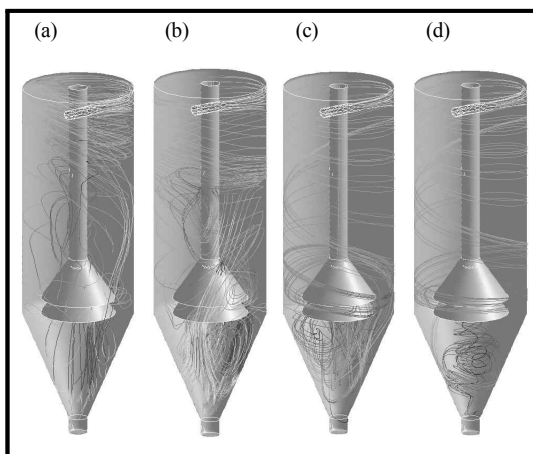


Fig. 7 Effect of inlet velocity(V_{in}) on fluid flow.
(a) $V_{in} = 0.5$ m/s, (b) $V_{in} = 1.0$ m/s,
(c) $V_{in} = 2.0$ m/s, (d) $V_{in} = 4.0$ m/s

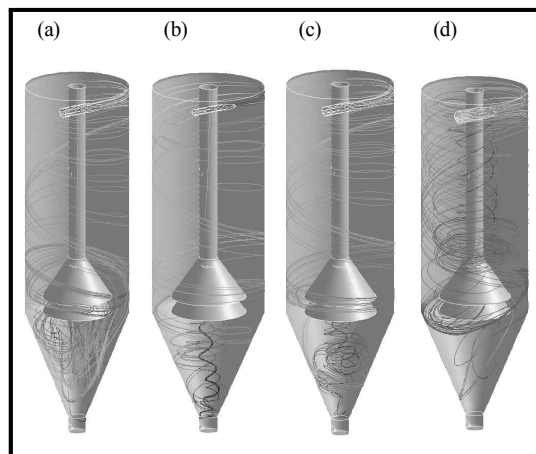


Fig. 8 Effect of inlet diameter(ϕ_{in}) on fluid flow.
(a) $\phi_{in} = 60$ mm, $V_{in} = 2.0$ m/s, flow rate= Q
(b) $\phi_{in} = 40$ mm, $V_{in} = 9.0$ m/s, flow rate= 2Q
(c) $\phi_{in} = 60$ mm, $V_{in} = 4.0$ m/s, flow rate= 2Q
(d) $\phi_{in} = 80$ mm, $V_{in} = 1.8$ m/s, flow rate= 2Q

3.2 몸체 및 하부콘 길이 변화와 내부 유동

유입 직경과 속도가 일정(40mm, 유입 속도 9m/s)한 조건에서 몸체의 길이를 1.2~2.0D_B(몸체 직경)로 변화시켜 내부 유동을 조사한 결과가 Fig. 9이다. 몸체 길이가 2.0 D_B로 너무 긴 (c)의 경우 하부콘에서 선회류가 현저히 감소되는 것으로 나타났다. 반면 1.2~1.6 D_B인 (a), (b)에서의 선회류 강도는 전반적으로 유사하게 나타났으며 체류시간 확보 면에서는 (a)

보다 몸체 길이가 긴 (b)가 보다 좋은 형태로 판단되었다.

하부콘 길이변화에 따른 내부 유동을 조사한 결과는 Fig. 10이다. 하부콘 길이 0.35~0.5 L_B인 조건에서는 몸체에서의 선회류 발달 정도는 큰 차이가 없었으나 (c)와 같이 하부콘 길이가 0.75 L_B로 긴 경우에는 하부콘에서의 선회류가 현저히 감소되는 것으로 나타났다. (a)와 (b) 중 체류시간 확보 면에서는 (b)가 조금 더 좋은 조건으로 볼 수 있다.

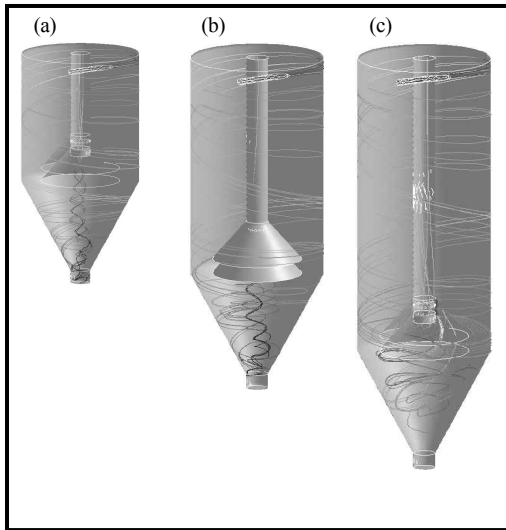


Fig. 9 Effect of body length(L_B) on fluid flow. (a) L_B=1.2 D_B, (b) L_B=1.6 D_B, (c) L_B=2.0 D_B

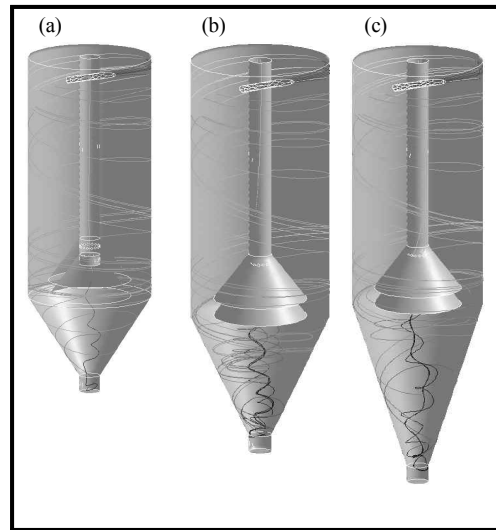


Fig. 10 Effect of lower cone length(L_c) on fluid flow. (a) L_c=0.35 L_B, (b) L_c=0.5 L_B, (c) L_c=0.75 L_B

3.3 역경사콘 기울기 및 간격 변화와 내부 유동

몸체 내부에 설치된 역경사콘의 기울기 각도 변화에 따른 내부 유동을 Fig. 11에 나타내었다. 기울기 각도를 45도에서 75도로 변화시킴에 따라 장치 몸체에서 형성된 선회류에는 큰 차이가 관찰되지 않았으나 하부콘에서의 선회류는 역경사콘 각도가 커질수록 보다 안정적으로 형성됨을 볼 수 있다. 보다 정확한 검토를 위해 내부 속도 분포를 Fig. 12에 나타내었다. 역경사콘의 기울기 각도가 커질수록 역경사콘 내부의 속도 분포가 낮으면서도 매우 균일하게 형성되는 것으로 나타났다. 또한 기울기가 클수록 역경사콘 내부와 외부 영역의 속도가 보다 명확히 구분되는 것을 관찰할 수 있다. 따라서 역경사콘 기울기를 크게 할수록 몸체에서 발생하는 선회류를 통한 입자의 조대화, 하부콘에서의 침전 그리고 역경사콘에서의 분리

와 같이 선회류 침전 장치의 각 부분이 영역별로 기능할 수 있는 보다 좋은 조건이 되는 것으로 판단되었다.

역경사콘의 간격 변화에 따른 내부 유동 변화를 검토한 결과는 Fig. 13에 나타내었다. 역경사콘 간격이 10cm 미만인 경우 간격이 너무 좁아 정상적인 해석이 불가능하였고, 간격 10cm인 (a)와 20cm인 (b) 모두 안정적으로 선회류가 형성되는 것으로 나타났다. 보다 정확한 검토를 위해 내부 속도분포를 Fig. 14에 나타내었다. 역경사콘 사이 간격에 관계없이 (a), (b) 모두 내부 속도 분포는 균일하였으며 (b)의 내부 속도분포가 (a)에 비해 조금 높게 형성되었다. 따라서 입자가 분리되는 역경사콘 영역에서는 속도 분포의 균일성도 중요하지만 난류 발생을 방지하기 위해 속도분포가 낮은 (a)가 보다 좋은 조건으로 볼 수 있었다.

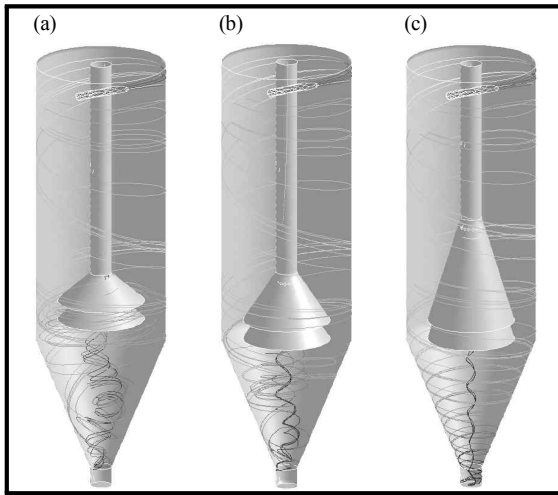


Fig. 11 Effect of inverted sloping cone angle($\varnothing c$) on fluid flow. (a) $\varnothing c=45^\circ$, (b) $\varnothing c=60^\circ$, (c) $\varnothing c=75^\circ$

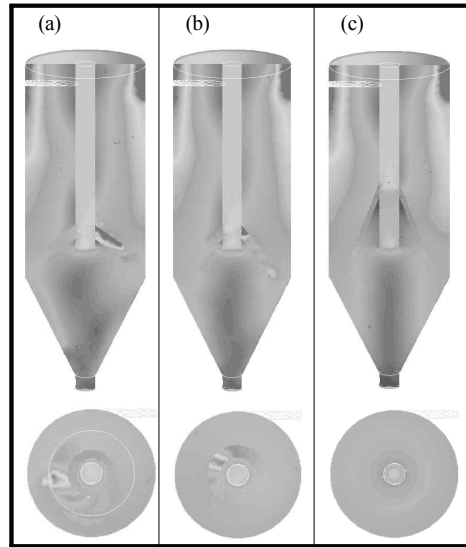


Fig. 12 Effect of inverted sloping cone angle($\varnothing c$) on velocity distribution. (a) $\varnothing c=45^\circ$, (b) $\varnothing c=60^\circ$, (c) $\varnothing c=75^\circ$

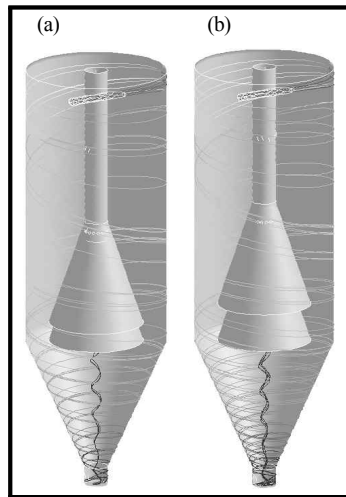


Fig. 13 Effect of inverted sloping cone distance(D_c) on fluid flow. (a) $D_c=10$ cm, (b) $D_c=20$ cm

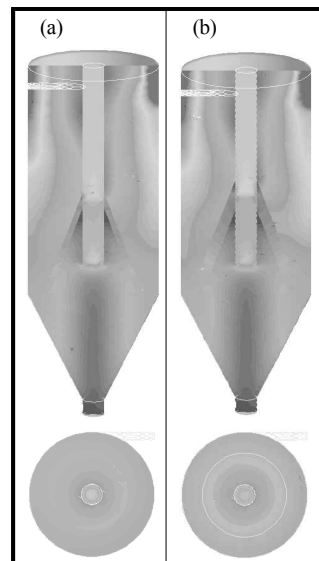


Fig. 14 Effect of inverted sloping cone distance(D_c) on velocity distribution. (a) $D_c=10$ cm, (b) $D_c=20$ cm

3.4 하부 유출홀 유무와 내부 유동

고속 선회류 침전 장치에서 처리수는 장치 중심부 유출 파이프 좌우 면으로 설치된 유출홀과 유출 파이프 하부에 설치된 유출홀을 통하여 배출된다. 이 중 처리수 배출을 위한 하부 유출홀의 유무에 따른 내부 유동을 조사하고 그 결과를 Fig. 15에 나타내었다. 하부 유출홀이 있는 경우 유출홀 근처에서 배출 속도가

높아지는 부분이 관찰되었다. 그러나 이를 폐쇄하면 유출홀 근처의 배출 속도가 빨라지는 부분이 없어지고 배출부의 저속도 분포 영역이 조금 더 확대되는 것으로 나타났다. 따라서 배출수의 고른 유량 분배와 편류현상 방지를 위해 하부 유출홀은 설치하지 않는 것이 보다 좋은 조건으로 판단되었다. 이상의 유체 유동 분석 결과를 기초로 하여 선정된 장치 설계 조건을 정리한 것이 Table 1이다.

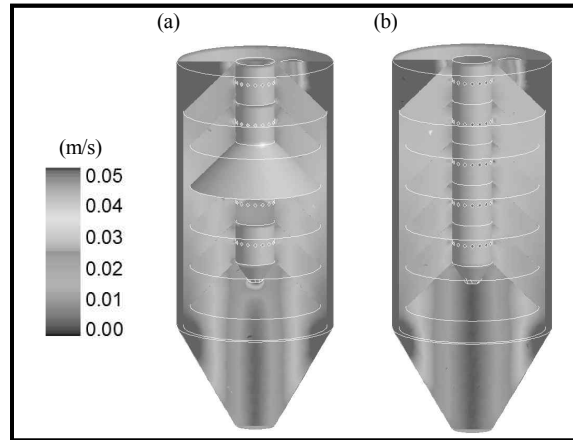


Fig. 15 Effect of lower exit hole(H_L) installation on velocity distribution.
(a) H_L installed (b) H_L not installed

Table 1 Selection of design conditions

Design parameters	Selection of design conditions
● Inlet velocity(V_{in})	4 m/s
● Body length(L_B)	$1.6 D_B^{1)}$
● Lower cone length(L_c)	$0.5 L_B$
● Inverted sloping cone angle($\varnothing c$)	75°
● Inverted sloping cone distance(D_c)	10 cm
● Lower exit hole(H_L) installation	Not installed

¹⁾ Diameter of body

3. 5 현장 실험

3.5.1 시료 채취 및 분석

모사 결과를 토대로 제작한 파일럿 장치의 현장 실험을 위해 유수지를 선정하였다. 선정 유수지의 시료 채취 지점을 Fig. 16에, 수질 분석 결과를 Table 2에 나타내었다. 실험 대상 유수지는 우수의 원활한 배제와 강우 시 인근 저지대의 침수방지를 목적으로 A시에 설치되어 있으며 저수용량은 약 천백만 톤 규모이다.

주변 개발에 따라 인접 지역으로부터 배출원이 불분명한 비점오염물질의 지속적 유입으로 유수지는 수질오염이 심화된 상태이다. 분석결과 BOD, COD, SS 등이 높게 분석되었으며 특히 SS가 높은 시료 6의 경우 COD_{Mn} 와 $SCOD_{Mn}$ 를 비교해보면 COD의 약 80%가 부유물질에 기인한 것임을 알 수 있다. 따라서 수질 개선을 위해서는 입자성 물질의 제거와 오염물질의 유수지 유입차단이 필요한 것으로 판단되었다.

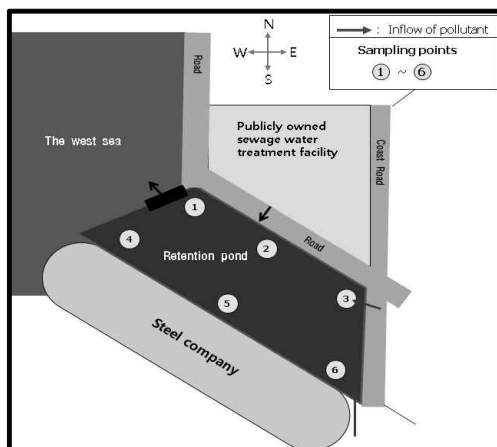


Fig. 16 Sampling points in retention pond.

Table 2 Water quality of retention pond

Item ^{a)}	Sampling points					
	1	2	3	4	5	6
BOD ₅	7	8	9	7	9	15
COD _{Mn}	21	28	30	21	23	48 ^{b)}
SS	11.0	41.0	39.0	10.0	9.0	124.0
T-N	16.8	14.97	15.52	16.0	16.85	20.2
T-P	1.67	2.56	2.50	1.47	1.52	3.74

^{a)} Unit : mg/L

^{b)} $SCOD_{Mn}$: 10 mg/L

3.5.2 파일럿 실험

파일럿 장치를 이용한 실험은 시료채취지점 6의 물을 대상 시료로 하였다. 약 한달 간의 실험 결과 중 정상상태(steady state)로 판단되는 실험 결과를 Fig. 17에 나타내었다. 응집제는 유입 원수 파이프에 설치된 라인믹서(line mixer)로 주입하였으며 첨가량은 1mg/L로 하였다. 현장에서 입자성 물질의 측정 방법으로는 분석이 신속한 탁도를 이용하였다. 원폐수의 탁도가 107 NTU인 시료를 표면 부하 50m³/m²-day로 처리한 결과, 고분자 응집제(APAC50, Al₂O₃ 10%)를 첨가하지 않은 경우 처리수 탁도는 22 NTU인데 비해 1mg/L를 첨가한 경우 약 8 NTU로 되어 고분자 응집제를 소량 첨가하는 것이 처리에 보다 효과적이었다. 이로부터 본 장치를 시료 6 지점과 SS가 많이 함유된 2, 3 지점에 적용할 경우 유수지 수질 개선 효과가 클 것으로 기대되었으며 입자성 물질의 제거에 따라 Table 2에 나타낸 바와 같이 입자에 함유된 COD도 함께 제거될 것으로 판단되었다.

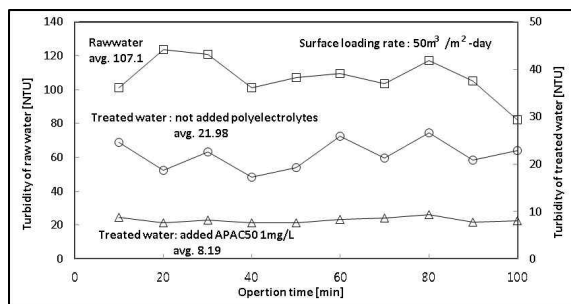


Fig. 17 Results of pilot scale test.

4. 결론

CFD 프로그램인 Fluent를 이용하여 고속 선회류 침전 장치 내부의 유체 흐름 거동을 분석하고 이 결과를 토대로 실험실 규모 및 파일럿 실험 장치를 제작하여 유수지 현장 시료의 처리 실험을 수행한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 유입 유량과 직경 보다 유입 속도가 선회류 형성에 보다 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. L_B 1.2~1.6 D_B (몸체 직경), L_c 0.35~0.5 L_B 범위에서 내부 유동의 큰 차이는 없었으나 L_B/D_B 2.0, L_c/L_B 0.75로 비가 큰 경우 선회류는 감소되었다. 역경사콘 기울기가 커질수록 역경사콘 내부 속도는 낮아지고 매우 균일하게 분포되었으며, 역경사콘 간격은 난류를 방지하기 위해 10cm가 20cm 보다 좋은 조건이었다. 배출수의

고른 유량 분배와 편류 방지를 위해 하부 유출홀은 설치하지 않는 것이 보다 좋은 것으로 판단되었다.

- 2) 유동 해석 결과를 토대로 제작된 파일럿 실험 장치를 이용하여 유수지 현장 처리 실험을 수행한 결과 수중에 함유된 입자성 물질이 효과적으로 제거됨을 확인할 수 있었다. 실험 대상 유수지의 경우 본 장치를 SS 농도가 높은 시료 채취지점 2, 3, 6에 적용하면 수질개선 효과가 클 것으로 판단되었다. 실제 적용을 위해서는 더 많은 현장 실험이 필요하겠으나 조류 서식지 및 습지 조성, 쾌적한 수변 공간 조성을 위해 오염된 유수지, 호소 등의 수질개선을 위한 한 가지 방안으로 활용될 수 있을 것으로 기대 되었다.

감사의 글

이 논문은 인천대학교 자체연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

Reference

- Alviti Steven R (2003). Waste water treatment system. U.S. patent. Patent No. US 6,620,317 B2.
- Anflux (2004). ANSYS workbench release 9.0. Canonsburg, Pennsylvania, U.S.A.
- Arnaud Johnny (2003). Apparatus for mixing fluids. U.S. patent. Patent No. US 6,669,843 B2.
- Cao Z, Wiley DE, and Fane AG (2001). CFD simulations of net-type turbulence promoters in a narrow channel. *J. of Membr. Sci.* 185, pp. 157-176.
- Choi BS, Wan B, Philyaw S, Dhanasekharan K, and Ring TA (2004). Residence time distributions on a stirred tank: comparison of CFD predictions with experiment. *Ind. Eng. Chem. Res* 43(20) pp. 6548-6556.
- Cockx A, Do-quang Z, Line A, and Roustan M (1999). Use of computational fluid dynamics for simulating hydrodynamics and mass transfer in industrial ozonation towers. *Chem. Eng. Sci.* 54(21), pp. 5085-5090.
- Deglon DA and Meyer CJ (2006). CFD modelling of stirred tanks: numerical considerations. *Miner. Eng.* 19(10), pp. 1059-1068.
- Kessler DP and Greenkorn, RA (1999). *Momentum, heat, and mass transfer fundamentals*, Marcel Dekker,

- New York.
- Koo, WS, Yoon, CG, Ham, JH, Kim, HC, and Shin, HB (2004). Analysis of Water quality improvement as a period of surface constructed wetlands and Feasibility study on the combined of wetlands and pond, *Proceedings of Fall Joint Conference 2004, Korean Society on Water Quality and Korean Society of Water and Wastewater*, Nov. 6, 2004, Daeduk Convention Town, Korea, pp. C₁-C₁₀.
- Kim, JH, Jun, SJ, Lim, JY, Song, YM, Yoo, KW, Jung, JT, and Park, JH (2010). A study on the improvement of water environment in retention pond by seawater flocculation and fenton oxidation, *J. of Korean Wetlands Society*, 12(1), pp. 75-82.
- Kim, YC, Jeong, H-Y, and Lee, JW (2003). Evaluation of the nitrogen reduction in Water hyacinth ponds coupled with waste stabilization ponds, *J. of the Korean Society of Civil Engineers*, 23(5B), pp. 425-436.
- Lee, KS, Jang, JR, Kim, YK, and Park, BH (1999). A study on the floating island for water quality improvement of a reservoir, *Korean J. of Environmental Agriculture*, 18(1), pp. 77-82.
- Leung Wai On (2002). Vortex sewage disposal apparatus. *U.S. patent*. Patent No. US 6,358,415 B1.
- McCabe WL, Smith JC, and Harriott P (2005). *Unit operations of chemical engineering*. McGraw-Hill, Boston.
- Panneerselvam R, Savithri S, and Surender GD (2009). CFD simulation of hydrodynamics of gas-liquid-solid fluidised bed reactor. *Chem. Eng. Sci.*, 64(6), pp. 1119-1135.
- Vakili, MH and Nasr, EM (2009). CFD analysis of turbulence in a baffled stirred tank, a three-compartment model. *Chem. Eng. Sci.* 64, pp. 351-362.
- Yang, HM (2003) Phosphorus removal rate of a surface-flow treatment wetland system constructed on floodplain during its initial operating stage, *Korean J. of Environmental Agriculture*, 22(4), pp. 251-254.

- 논문접수일 : 2013년 02월 01일
- 심사의뢰일 : 2013년 04월 25일
- 심사완료일 : 2013년 08월 16일