

전산유체해석을 이용한 일체형 침전부상공정 유동특성 분석 연구

정진홍*, 장여주**, 임현만*, 김원재*

*한국건설기술연구원 국토보전연구본부 환경자원재생연구센터

**과학기술연합대학원대학교

e-mail:jinhong98@kict.re.kr

A Study on Flow Characteristics in the All-in-one Sedimentation/Flotation by Using Computational Fluid Dynamics

Jin-Hong Jung*, Yeo-Ju Jang**, Hyun-Man Lim*, Weon-Jae Kim*

*Dept. of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**University of Science & Technology

요약

일체형 침전부상조를 대상으로 유체역학 모델을 이용하여 유동특성을 분석하였다. 일체형 침전부상공정은 하수 고도처리를 대체하는 공정으로써 탁도 및 총인 처리의 효율을 증대하고자 침전공정과 부상공정을 단일 반응조 내에 일체화한 공정이다. 일체형 침전부상공정은 하수 고도처리의 주기능인 인 제거를 위하여 2차 침전수를 처리하기 위하여 반응지를 구성하였다. 전산유체해석을 통하여 반응지 내 흐름 특성과 침강하는 탁질 부하에 대한 유속분포를 분석하였고, 난류 및 사류의 형성 유무와 체류시간 분포를 평가하기 위하여 해석을 수행하였다. 응집제 투입 후 일체형 침전부상지 전처리 공정으로서의 혼화지 및 응집지 수류의 유동분포, 사류 및 층류 등 흐름 특성 변화를 분석하였다. 경사판 침전지에서의 유속은 평균 0.00085 m/s로 분석되어 난류 혹은 사류 등의 유동 특성은 관측되지 않았다. 경사판 모듈로 유입된 원수는 경사판 상부 또는 측면으로 유동이 관찰되었다. 경사판 모듈 끝단까지 통과한 원수 일부는 상부에 도달하지 않고 최종처리수 유출관으로 유입되는 현상이 관측되었으나, 수류는 대순환 후 처리수 유출관에 집수되어 최종처리수로 이송되는 것이 관측되었다.

1. 서론

하수 방류수에 포함된 총인은 하천 및 호소에서 조류 발생의 원인물질로 작용하고 있어 인 고도처리에 대한 시설확충이 증대되고 있다. 국내 하수처리시설 625개소 중 인 고도처리시설을 도입한 하수처리장은 약 330개로 조사되었다. 인 고도처리 공정은 여과, 부상분리, 고속침전 등의 공정으로 구성되어 있다. 인 방류 문제 이외에도 고형물 농도가 높게 나타나는 경우가 다량 발생하고 있으며, 하수의 발생 특성상 부하 변동이 크기 때문에 이에 안정적으로 대응하여 유출 수질을 만족시킴과 동시에, 기존 공정과 비교하여 경제성이 높은 수처리 공정의 개발이 필요하다.

일체형 침전부상공정은 응집·침전이 가능한 밀도가 높은 플록은 침전을 통해 제거하고 침전되지 않는 가벼운 플록은 부상분리를 통해 제거하는 공정으로 20분 이내의 수리학적 체류시간을 갖는 짧은 체류시간으로 높은 처리효율을 나타내는 공정을 제시하고자 하였다.

일체형 침전부상공정은 하수처리 공정 중 마지막 공정으로

방류수 수질을 결정하는 수행하는 중요한 공정이다. 일체형 침전부상공정의 핵심은 침전과 부상분리가 단일 반응조 내에서 이루어지며, 이를 위해서는 응집제 투입 후 성장한 플록이 침전하도록 체류시간의 확보가 무엇보다 중요하다. 침전이 이루어지지 않은 미세 플록은 부상분리로 제거하는 단계를 거친다. 일체형 침전부상공정의 전체 수리학적 체류 시간(HRT)은 약 1시간 이내이며, 처리 흐름은 <유입수 - 혼화 및 응집(HRT 20 min) - 침강(HRT 20 min) - 부상(DAF)(HRT 20 min) - 유출> 순서로 구성하였다. 공정 내의 수류 흐름은 순방향으로 흐르는 전단부 침전 과정은 침전+부상조 하단에 있으며 역방향으로 흐르는 부상공정은 상단 부분에 해당한다.

종래의 수리적인 유동 연구는 실험연구가 현실적으로 불가능하거나, 세부적인 부분에 대하여 전산해석을 이용한 결과를 사용함으로써 보다 효과적이고 경제적인 설계변수를 도출할 수 있는 장점이 있기 때문에 다양한 분야에 대하여 많이 이용되고 있다. 전산유체해석은 유동을 지배하는 편미분방정식을 근사적인 대수방정식으로 전환하고, 이의 해를 수치적

으로 계산하여 유동을 해석하는 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)을 이용하여 유체 등의 운동 현상을 규명하는 방법이다.

본 연구에서는 침전 + 부상분리(DAF)공정을 연계한 일체형 침전부상공정을 인 고도처리 공정의 대체 공정으로 제시하고자 전산유체해석을 통하여 수류의 특성, 유동해석을 수행하였다.

2. 해석모델 및 조건

2.1 해석모델

일반적으로 유동현상을 고려할 때 유동을 지배하는 방정식은 연속방정식과 Navier-Stokes 방정식으로 나타내지며, 전산해석 시 이러한 지배방정식을 수치적으로 풀어 그 해인 속도 및 압력 등의 물성값을 계산하게 된다. 이 때 사용하는 지배방정식을 텐서식(Tensor Notation)으로 나타내면 다음과 같다.

유한체적법 기반의 상용 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석 코드인 Fluent R18.0 (ANSYS, USA)을 이용하여 CFD 해석을 수행하였다. 일체형 고속침전부상조 내 유동현상을 모사하기 위하여 다상 유동 (multi-phase flow) 모델링 기법인 VOF (Volume of fluid) 모델을 적용하였으며, VOF model은 기-액 이상(Two-Phase) 유동의 상간 계면을 추적할 수 있는 모델로서 침전지와 같이 이상 유동 해석의 거동을 보편적으로 사용하고 있다.

일체형 고속침전부상조 내부의 유동현상을 계산하기 위해서는 연속 방정식 및 운동량 방정식에 대한 반복 계산이 기본적으로 수행하여 난류 유동 모사를 위해서는 RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) 난류모델 중 하나인 Standard k-ε 모델을 적용하였다.

본 연구에서 활용한 해석모델은 표 1과 같다.

[표 1] 일체형 침전부상공정 유동해석을 위한 해석모델

| Item | Contents |
|---------------------|-------------------------|
| CFD Code | ANSYS Fluent R18.0 |
| Geometry | 3-Dimensional |
| Time | Transient |
| Multiphase model | VOF (Volume of Fluid) |
| Turbulence model | Standard k-ε Model |
| Near-Wall Treatment | Standard Wall Functions |
| Solver / Coupling | Pressure-Based / PISO |

2.2 해석조건

일체형 고속침전부상조 CFD 해석에 사용된 원수 및 주변 공기의 물성치는 표 2와 표 3과 같다.

[표 2] 원수의 물성값

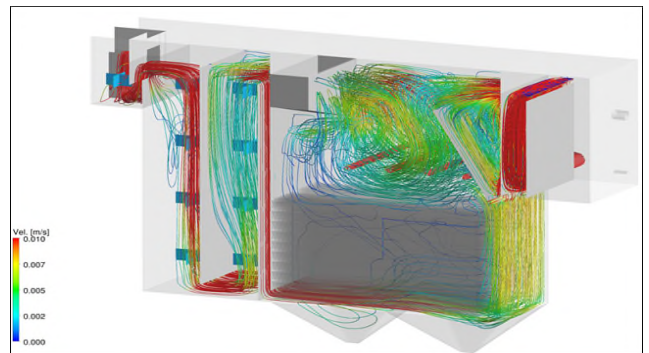
| Item | Unit | Contents |
|-------------|----------------------|----------|
| Temperature | [°C] | 20.0 |
| Density | [kg/m ³] | 998.2 |
| Viscosity | [Pa·s] | 0.001 |

[표 3] 공기의 물성값

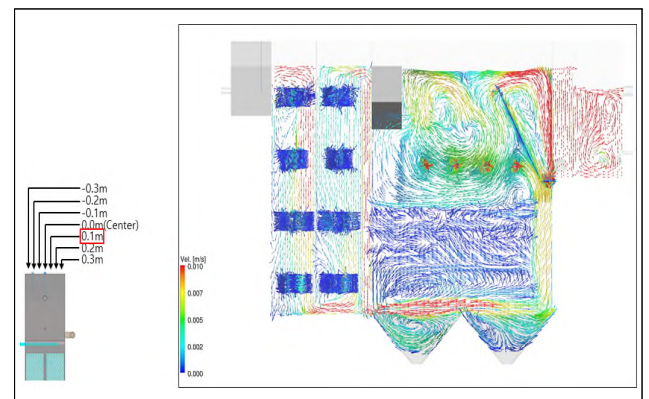
| Item | Unit | Contents |
|-------------|----------------------|-----------|
| Temperature | [°C] | 20.0 |
| Density | [kg/m ³] | 1.205 |
| Viscosity | [Pa·s] | 1.8196E-5 |

3. 실험결과

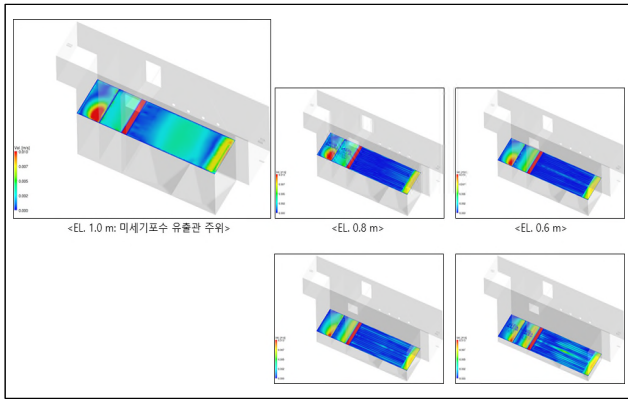
CFD 해석을 통하여 일체형 고속침전부상조 내 원수의 흐름을 분석하였고, 미세기포수 유출관 및 최종처리수 유출관 주위 흐름을 분석하였다. 일체형 고속침전부상조 내, 전체 원수의 흐름을 그림 1과 그림 2에 나타내었다. 해석결과 혼화조로 유입된 원수는 혼화조, 응집조, 침수조 처리조 및 최종처리수조를 통하여 외부로 원활히 배출되는 것이 관찰되었다. 반응조 각 지점을 통과하면서 흐르는 원수는 단면적이 좁아지는 영역에서는 상대적으로 속도가 빨라지며, 그림 3 및 그림 4에서와 같이 응집조에서 경사판 모듈로 유입되는 원수는 경사판 모듈을 통과하는 외 경사판 상부 또는 측면으로 상당량의 원수가 흐르는 것이 관찰되었다.



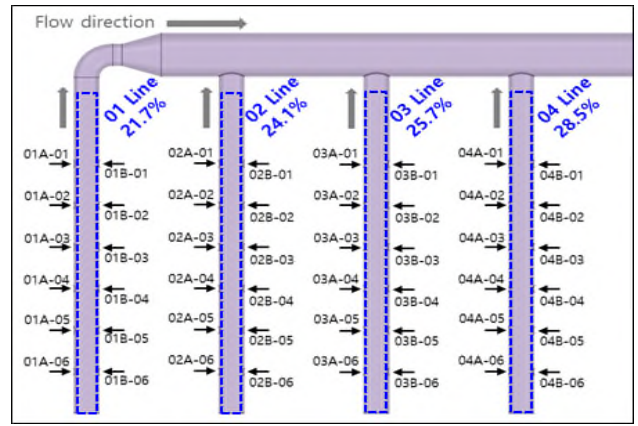
[그림 1] 일체형 침전부상조 내 전체 유동해석 결과



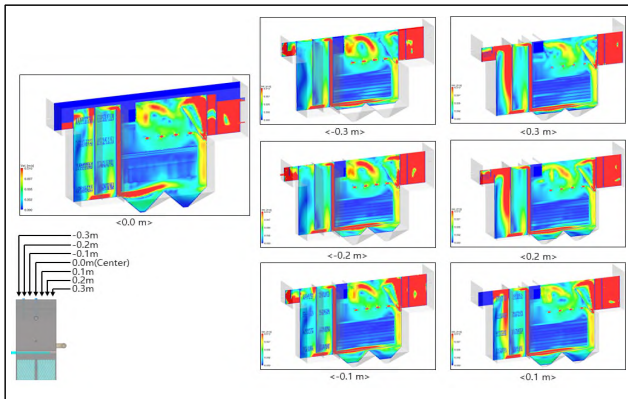
[그림 2] 일체형 침전부상조 유속 벡터



[그림 3] 수평단면에서의 속도분포



[그림 5] 최종처리수 유공관 유입 유량비율



[그림 4] 수직단면에서의 속도분포

4. 결론

일체형 침전부상조를 대상으로 2차원 유체역학 모델을 이용하여 유동특성을 분석한 결과 난류 혹은 사류 등의 유동 특성은 관측되지 않았으며, 부상분리 반응부 내에서 대순환 후 처리수 유공관에 집수되어 최종처리수조로 이송되는 것이 관측되어 일체형 침전부상공정의 수류 및 유동 해석결과를 종합하여 하수 고도처리공정으로 적용이 가능한 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업 (20200039-001)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 장여주 외, “하수 고도처리를 위한 일체형 침전부상공정의 적용성”, 2019 대한상하수도학회, 한국물환경학회 공동학술발표회, 제 1권 1호, pp. 451-452, 3월, 2019년.
- [2] 장여주 외, “Field applications of innovative SeDAF (sedimentation & dissolved air flotation) process for advanced treatment of wastewater effluent”, 16th International Specialised Conferences on Small Water and Wastewater Systems, pp 79, 12월, 2019년
- [3] 장여주 외, “Application of innovative SeDAF (sedimentation & dissolved air flotation) process for advanced wastewater treatment”, 8th IWA-ASPIRE International Water Association Asia Pacific Regional Group Conference and Exhibition, Smart Solutions for Water Resilience, p.p 840-841, 11월, 2019년

경사관 모듈 끝단까지 통과한 원수는 미세기포수 유출관에서 배출되는 공급수에 의해 흐름을 촉진시켜 탱크 최상 수면까지 상승하게 설계하였으나, 해석 결과 일체형 고속침전부상지에서는 일부 원수가 상부에 도달하지 않고 최종처리수 유출관으로 유입되는 현상이 발생하는 것으로 해석되었다. 미세기포수 유출관 및 배플 주위에는 큰 회전 유동이 발생하는 것이 관찰되었고, 미세기포수 유출관에서 배출되는 유량 해석 결과를 보면, 미세기포수 유출관은 설계가 적절한 것으로 판단된다.

최종처리수 유공관으로 흡입되는 유량은 그림 5와 같이 가지관 및 각 가지관의 유입률이 최종처리수조에 가까울수록 흡입유량이 크게 관찰됨. 또한 각 유공관 라인별 유량비는 4% 이내로 최종처리수 유공관은 설계가 적절한 것으로 판단된다.