

# 3차원 모형을 이용한 유류-유사분리기내에서의 난류흐름해석

## Numerical Analysis of the Turbulent Flow through an Oil-Grit Separator

이진우\*, 이승오\*\*, 남궁 돈\*\*\*, 조용식\*\*\*\*

Jin Woo Lee, Seung Oh Lee, Don Namgung, Yong-Sik Cho

### 요    지

본 연구에서는 유류-유사 분리기내에서 유체의 흐름거동을 상용 3차원 수치모형인 FLOW-3D를 이용하여 해석하였다. 유류-유사 분리기는 도심지의 우수로 인한 유출발생시 동반되는 이물질을 여과시키는 기능을 가진 지하구조물이다. 우수로 인한 유출이 발생하여 유류-유사 분리기내로 흘러들어오는 유입수는 3차원적 거동을 하고 다양한 흐름특성을 갖는다. 따라서, 분리기내에서의 흐름거동을 정확히 해석하는데 많은 어려움이 있다. 본 연구에서는 정류판(baffle)과 유류흡착기(oil skimmer)로 구성된 유류-유사 분리기에서의 유류와 유사를 포함하고 있는 유출수의 복잡한 거동을 해석하기 위해 수치모의를 실시하였다. 유류와 유사에 대한 포착률(oil and grit trap)은 유류-유사 분리기내에서 유체의 흐름거동과 관계된다. 따라서, 본 연구에서는 유류와 유사의 포착률을 향상시키기 위한 수치모의의 기초적인 단계로서 유류-유사 분리기내에서 유류흡착기(oil skimmer)를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에 대한 유체의 흐름거동을 FLOW-3D를 이용하여 3차원 수치모의를 실시하였다. 수치모의를 통해 유류흡착기의 유무에 따른 유류-유사 분리기내에서의 흐름거동을 알 수 있었으며, 유류흡착기를 설치한 경우엔 유류 흡착기에 의해 여과될 수 있는 유류와 유사에 대한 각각의 포획률이 높아짐을 알 수 있었다.

핵심용어 : FLOW-3D, 유류-유사 분리기, 유류흡착기, 정류판, 난류

### 1. 서 론

유류-유사 분리기는 지하구조물의 하나로 주차장이나 주유소 등지에서 강우에 의한 유출로 인해 유출수에 포함되는 여러 불순물들을 여과시켜 강이나 하천 등으로 흘려보내는 여과기능을 가진다. 최근 유류-유사 분리기 내에서의 복잡한 유체의 거동을 해석하여 좀 더 효율을 높이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 유류-유사 분리기내로 흘러들어오는 유입수는 유류, 유사 및 쓰레기 등을 포함하고 있기 때문에 3차원적 거동을 하고 다양한 흐름특성을 갖는다. 따라서, 분리기 내에서의 흐름거동을 정확히 해석하기가 쉽지 않다. 본 연구에서는 정류판(baffle)과 유류 흡착기(oil skimmer)가 설치된 유류-유사분리기 내에서의 유류와 유사를 포함하고 있는 유입수에 대한 거동을 해석하였다. 유입수에 포함된 유사(grit)는 유체의 흐름이 분리기내에 설치되어 있는 정류판을 지나면서 여과되도록 하였고 유류(oil)는 유류흡착기를 통해 여과되도록 하였다. 기존의 수리실험과 비교하였을 때 유류흡착기를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우, 유류와 유사의 포착률(oil and grit trap)의 분명한 차이가 있음을 알 수 있다(Sturm 등, 2005). 유류와 유사의 포착률

\* 정희원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail: moonguy@hanyang.ac.kr

\*\* 정희원 · 한양대학교 토목공학과 박사 후 연구원 · E-mail: seungoh.lee@gmail.com

\*\*\* 정희원 · 대림산업(주) 기술연구소 · E-mail: ngdon@hanmail.net

\*\*\*\* 교신저자 · 정희원 · 한양대학교 토목공학과 교수 · E-mail: ysc59@hanyang.ac.kr

은 유류-유사 분리기 내부에서의 수리학적 거동과 밀접한 관계가 있으므로 유류-유사 분리기 내부에서의 흐름거동을 해석하여 이를 설계에 반영하는 것이 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 유류-유사 분리기 내부 구조에 따른 유류와 유사의 포착률을 높이기 위한 수치모의의 기초적인 단계로서 유류-유사분리기 내에서 유류흡착기를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에 대한 유체의 흐름거동을 상용 3차원 수치모형인 FLOW-3D를 이용하여 비교하였다.

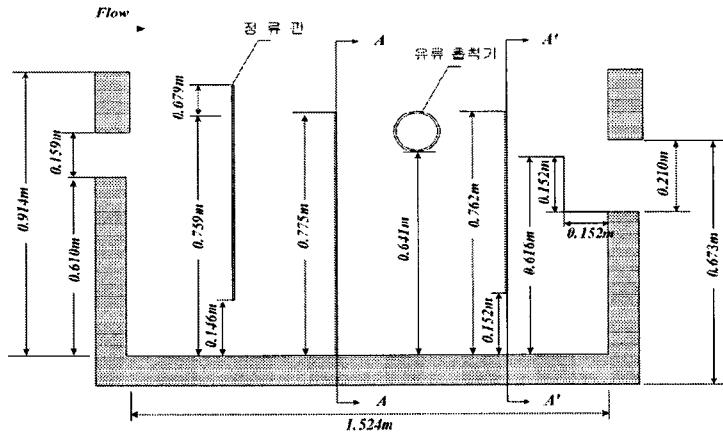


그림 1. 수치모의를 위한 유류-유사 분리기 모식도

## 2. 수치모의 및 결과

본 연구에서는 FLOW-3D를 이용하여 수치모의를 실시하였다. 본 모형은 유류-유사 분리기 내의 복잡한 형상을 고려하여 물과 공기의 경계인 자유수면을 모델링하기 위해 VOF (volume of fluid)기법을 사용하였다. 난류모형으로  $k-\epsilon$  난류모델을 사용하였고, 지배방정식은 유한체적법을 이용하여 이산화되며, 격자계의 구성시 격자망과 지형은 독립적으로 입력되는 FAVOR (Fractional Area and Volume Obstacle Representation)기법과 SOR (successive over-relaxation)법을 이용하여 압력항을 해석하였다.

유체의 흐름을 해석하기 위하여 FLOW-3D에서 사용하는 지배방정식은 다음과 같다. (Flow Science, 2002).

$$\frac{\partial}{\partial x_i} u_i A_i = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left( u_j A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + G_i + f_i \quad (2)$$

여기서, 식 (1)은 직교좌표계( $x, y, z$ )에서의 3차원 연속방정식이고 식 (2)는 Navier-Stokes 방정식이다.  $u_i$ 는  $i$ 방향에서의 평균속도를 의미하며  $A_i$ 는  $i$ 방향에서의 유체에서의 부분개방면적 (fractional open area)이다.  $V_f$ 는 부분체적 (fractional volume),  $P$ 는 압력이며  $G_i$ 는 중력 가속도 항을 의미한다. 그리고 점성가속도  $f_i$ 는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\rho V_f f_i = \tau_{b,i} - \left[ \frac{\partial}{\partial x_j} (A_j S_{ij}) \right] \quad (3)$$

$\tau_{b,i}$ 는 벽면에서의 전단력이고,  $S_{ij}$ 는 다음과 같이 주어진 인장변형율을 의미한다.

$$S_{ii} = -2\mu_{tot} \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_i} RIGHT \right], \quad S_{ij} = -\mu_{tot} \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} RIGHT \right] \quad (4)$$

$\mu_{tot}$ 는 전체 동점성 계수 (dynamic viscosity)이며 난류의 효과가 포함된 동점성과 와도점성의 합이다.

본 연구의 수치모의를 위한 격자수는 유류흡착기 (oil skimmer)를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에 대해  $240 \times 160 \times 40$ 으로 동일하게 구성하였고  $x$ ,  $y$ ,  $z$ 축은 모두 고정격자를 사용하였다. 또한 관심영역에 대해서는 가변격자를 고정격자와 조합하여 사용하였고, 수치모의를 위한 경계조건은 유입구와 유출구에서 모두 유속과 수심을 사용하였다. 유류-유사 분리기내의 흐름거동을 해석하기 위해 총 모의시간동안  $x$ ,  $y$ ,  $z$  방향의 유속을 계산하여 유류흡착기를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에 대해 비교하였다. 수치모의 결과의 비교는 유류와 유사의 포획률에 가장 큰 영향을 주는 단면(AA-A'A')에서 실시하였다. 그림 2는 횡방향( $y$ 축)의 중앙을 따라 자른  $x-z$  단면으로 AA단면과 A'A'단면 사이에서의 흐름거동을 모의한 결과이다. 그림 2(a)는 유류흡착기를 설치한 경우의 수치모의 결과이고, 그림 2(b)는 유류흡착기를 설치하지 않은 경우의 수치모의 결과이다.

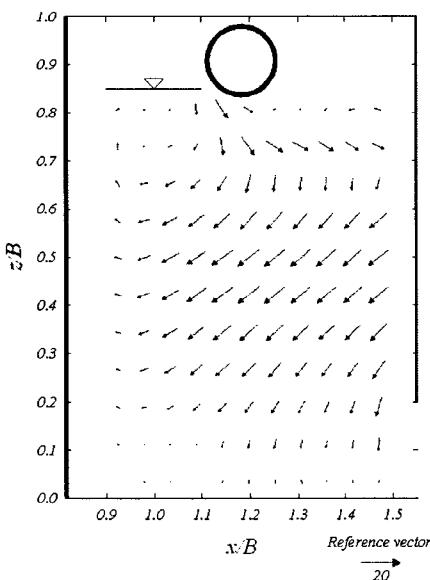


그림 2(a). 유류흡착기를 설치한 경우

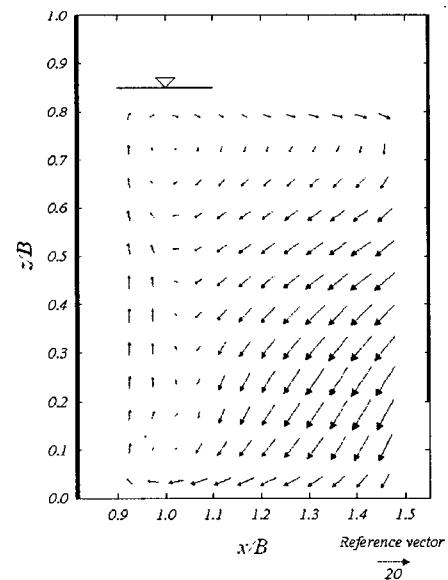


그림 2(b). 유류흡착기를 설치하지 않은 경우

그림 2. 유류-유사분리기 내부에서의 흐름해석

### 3. 결 론

수치모의 결과를 통해 유류-유사 분리기 내부에서의 흐름거동을 살펴보면 두 경우 모두 상하 좌우의 혼합활동이 활발히 일어나고 있음을 알 수 있다. 수면근처에서 발생하는 와(eddy)의 위치 및 크기를 비교해 보면 유류흡착기를 설치한 경우 유류흡착기 하단에서 흐름방향이 바뀌면서 혼합활동이 시작되지만 유류흡착기를 설치하지 않은 경우에는 유체가 정류판에 부딪히면서 매우 큰 와가 형성되는 것을 알 수 있다. 유류의 경우 유체와의 비중차이로 인해 수면부근에서는 시간이 갈수록 포획률이 높아지지만 유사인 경우 바닥근처의 유속 변화가 작을수록 중력에 의한 침강현상으로 많이 침전되어 포획률이 높아진다. 이러한 결과로 인해 유류흡착기를 설치한 경우엔 유입 수에 포함된 유류와 유사의 분류활동이 좀 더 활발하게 일어남을 알 수 있다. 이는 유류 흡착기에 의해 여과될 수 있는 유류와 유사에 대한 각각의 포획률이 높음을 의미한다. 따라서, 유체의 혼합거동으로 인한 유류-유사 분리기 내부에서의 유류 및 유사의 포획률을 증가시키기 위해서는 유류 흡착기를 설치하여 수치모의를 실시할 경우 좀 더 나은 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

### 감 사 의 글

본 연구는 소방방재청의 재정적 지원을 받았습니다.

### 참 고 문 헌

1. Flow Science, I. (2002). Flow-3D user's manual, 8th edition, Flow Science, Inc., Santa Fe, New Mexico.
2. Sturm, T. W., Costanza, J., and Pennell, K. (2005). Hydraulic Model Study of Oil/Grit Separator, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia.