한국지하수토양환경학회 추계학술대회
2001년 9월 21-22일 전 주 대 학 교

준설토의 농축 및 분리를 위한 Hydrocyclone의 적용가능성 평가

오종민, 조영민, 노성혁
경희대학교 환경응용화학부 환경연구센터
e-mail : jmoh@khu.ac.kr

요 약 문

In this study, a hydrocyclone operated by centrifugal force was examined as a part of dredge system of lake sediments. It does not help dehydration of the sediments, but also enables the classification of fine particles in the stable and sanitary treatment. Several experiments were performed focusing on the separation efficiency under the condition of room temperature with virtual sediment samples and simulated particles. As a result of the experiment, it was found that the apex size of the cyclone greatly affected the cut diameter(d_{50}), and high density particles were separated more effectively.

keywords : hydrocyclone, cut diameter, classification, sediment removal, dredge

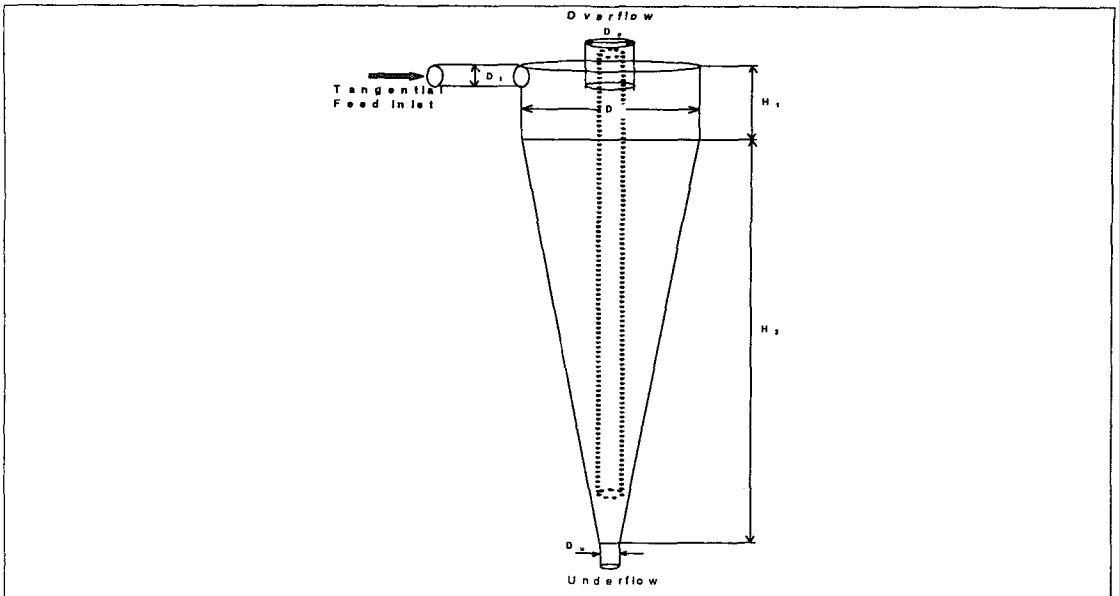
1. 서 론

오랜기간 동안 퇴적된 퇴적물은 호소나 저수지의 저수량을 감소시키고, 호소의 오염을 가속화 시켜 수자원으로서의 가치를 떨어뜨린다. 이러한 퇴적물의 처리방안 가운데 가장 일반적인 방법은 준설이다. 준설된 퇴적물을 안정화시키고, 위생적 처리를 위하여 탈수나 분급과 같은 전처리 과정이 요구된다. 분급의 방법에는 체를 이용하여 입자의 크기만으로 분급하는 기술과 광산업에서 주로 사용하는 부유선광법, 전자기적 성질을 이용하는 방법, 그리고 입도와 비중을 이용하는 하이드로싸이클론 방법이 있다. 하이드로싸이클론은 비교적 처리능력 및 분리성능이 우수하며, 적은 시설투자비와 유지비, 설치의 용이성과 작은 공간, 연속적 작업이 가능하다는 이점을 가지고 있어 근래에 각 방면의 분리공정에 이용코자 활발하게 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 퇴적물내의 유효자원 회수와 퇴적물 준설에 있어서 전처리 장치로서의 하이드로싸이클론의 적용 가능성을 평가하고, 효과적인 분리 및 농축효율을 얻을 수 있는 최적조건을 도출하기 위하여 두 가지의 서로 다른 형태의 싸이클론을 제작하여 실험을 수행하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

하이드로싸이클론은 연속상의 유체로부터 분산상의 고체 입자를 원심력의 원리를 이용하여 분리하는 장치이다. 본 연구에 사용한 하이드로싸이클론의 형상 및 규격은 그림 1과 같으며 Rietema가 제시한 고효율 표준 규격을 일부 수정한 형상으로 제작하였다. 재질은 스텐레스이며 싸이클론 몸체(D)의 직경은 50 mm이며, 원추부의 높이(H_2)에 따라 원추부의 각도는 6 °와 7.7 °로 제작하였다. 본 분급실험에 사용한 시료는 신갈호수에서 채취한 퇴적물과 폐석탄회를 고체입자상 물질로 택하여 실험하였다.



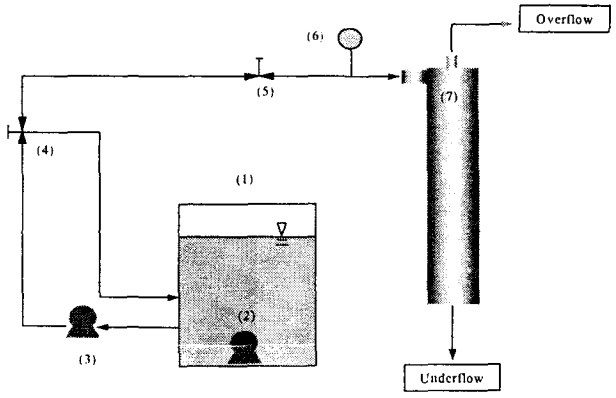
(Unit : mm)

	Cyclone dia. (D)	Inlet dia. (D_i)	Apex dia. (D_u)	Vortex finder dia.(D_o)	Cone angle	Body length (H_1+H_2)
Cyclone I	50	12	7.5	15	6 °	300
CycloneII	50	12	13	15	7.7 °	250

그림 1. 하이드로싸이클론의 형상 및 규격

2.2 실험방법

본 연구에서는 1) 하부배출수의 농도와 유량에 영향을 미쳐 처리량 결정에 중요한 변수인 D_u/D 차이에 의한 분급특성과 2) 준설된 퇴적물 중 효과적인 유효자원 회수를 위해 유입수 중에 포함되어 있는 고체 입자의 비중차에 의한 분급특성을 중점적으로 관찰하며 실험하였다. 그림 2는 실험 장치에 대한 개요도이며, 부유 입자를 포함한 유체는 압력에 의해 원통부 윗쪽에 위치한 유입구를 통해 접선방향으로 주입된다. 싸이클론의 상부(Overflow)와



1. Water tank 2. Mixing pump 3. Feed Pump 4. 3-way Valve
5. Valve 6. Feed pressure gauge 7. Hydrocyclone

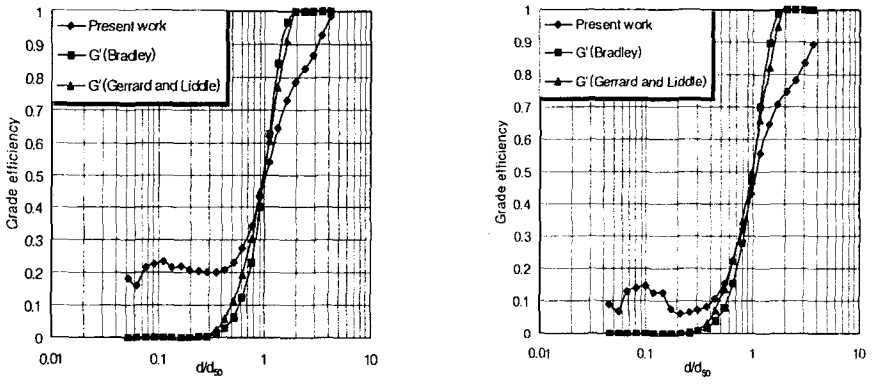
그림 2. 하이드로싸이클론 실험장치의 개요도

하부(Underflow)에서 모아진 슬러리에 포함된 고체 입자의 입경분포를 분석하여 싸이클론의 성능을 평가하였다. 입경은 Malvern Instruments사의 Mastersizer(Model : 2OHD)를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 D_u/D 차이에 의한 분급특성

유입수의 평균입경(Median diameter)은 9.5 ㎛, 하부배출수는 Cyclone Ⅰ,Ⅱ 모두 20 ㎛, 상부배출수의 경우는 각각 8.6, 8.9 ㎛로 Cyclone Ⅰ,Ⅱ 모두 비슷한 입경분포를 보이는 것으로 나타났으며, 각각의 싸이클론에 대한 입경분포 차이는 그다지 크지 않지만 큰 입자가 하부배출수로 분리되어 배출되는 것을 알 수 있다. 입경별 분리효율은 Cyclone Ⅰ을 가동했을때 전체적으로 더 높게 나타났고, 10 ㎛ 이하의 입경에서는 Cyclone Ⅰ의 경우 약 20 %, CycloneⅡ의 경우 약 10 % 정도의 분리 효율을 나타냈다. 그리고 Cyclone Ⅰ의 경우 70 ㎛ 이상의 입자에서는 90 % 이상의 분리 효율을 나타내고 있다. CycloneⅡ의 경우에는 90 ㎛ 이상에서 90 % 정도의 분리 효율을 나타내고 있다. 입자의 50 %가 Underflow로 분리 배출되는 한계분리입경(Cut diameter, d_{50})은 Cyclone Ⅰ의 경우 22 ㎛로 측정되었고, CycloneⅡ의 경우 25 ㎛로 측정되었다. 따라서 D_u/D의 비가 작을수록 하부배출수로 분리되는 입자의 크기가 미세함을 알 수 있다.



(a) Cyclone Ⅰ (b) CycloneⅡ

그림 3. 입경별 분리효율과 Grade efficiency(G′) 비교

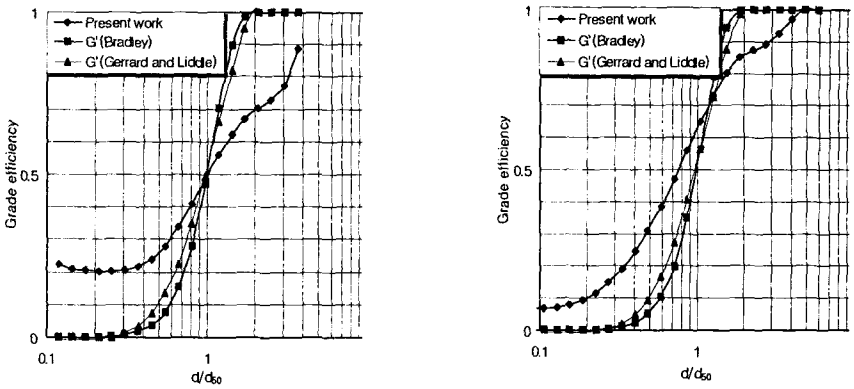
3.2 비중차에 따른 분급특성

비중차에 따른 분급특성 실험은 퇴적물(비중 : 1.5)과 폐석탄회(비중 : 2.5)를 사용하였고, 시료의 유입수의 경우 퇴적물 입경분포는 약 0.3 ~ 100 ㎛이며, 폐석탄회 입자의 입경분포는 0.3 ~ 160 ㎛로 퇴적물보다 넓은 입경분포를 보여주었으며, 평균입경은 모두 11 ㎛로 같았다. 하부배출수의 경우 퇴적물과 폐석탄회의 평균입경은 각각 22, 28 ㎛로 퇴적물의 평균입경이 작게 나타났고, 반대로 상부배출수의 평균입경은 각각 10.5, 7 ㎛로 폐석탄회가 더 작게 측정되었다. 비중 차에 의한 분급 특성 실험에서는 비중이 큰 폐석탄회를 사용했을 경우 한계분리입경(d_{50})이 21 ㎛로 퇴적물의 25 ㎛보다 작게 나타났고, 이와 같은 결과는 Bradley에 의한 식 (1)과 Rietema에 의한 식 (2)의 d_{50} 예측식에서 유입시료 중의 유체와 입자의 비중차이가 클수록 d_{50}가 작아진다는 보고와 일치하는 결과를 나타냈다. 즉 유입시료 중에 포함된 고체입자의 비중이 클수록 연속상의 유체로부터 분산상의 입자를 분리하는데

효과적이며, 상부와 하부 배출구로 분리되는 입자의 분리가 확실하게 일어남을 알 수 있다.

$$\frac{d_{50}}{D_c} = 17.6\times 10^{-3}\left(\frac{\mu D_c}{Q\Delta\rho}\right)^{0.5} \quad (1)$$

$$\frac{d_{50}}{D_c} = 16.34\times 10^{-3}\left(\frac{D_c^{0.36}\,\mu^{0.5}}{Q^{0.53}\,\Delta\rho^{0.5}}\right) \quad (2)$$



(a) 퇴적물(Sediment) (b) 폐석탄회(Fly ash)

그림 4. 입경별 분리효율과 Grade efficiency(G') 비교

5. 결론

본 연구는 준설된 퇴적물의 전처리 장치로서 하이드로싸이클론의 적용가능성을 평가하고, 효과적인 분리 및 농축을 위한 싸이클론의 유효한 구조를 찾아내기 위하여 폐석탄회와 실제 농업용 저수지의 퇴적물을 사용한 실험을 실시하였다. 싸이클론 형상 가운데 분리효율과 직접적인 관계가 있는 하부배출구(Apex)의 크기에 관하여 실험한 결과, D_u/D의 비가 작을수록 한계분리입경이 작게 나타났으며, 하부배출구로 배출되는 입자의 전체적인 분리효율이 높은 것을 알 수 있었다. 비중 차에 의한 분급 특성 실험에서는 비중이 큰 폐석탄회가 더 작은 한계분리입경을 보여주어 기존의 Bradley와 Rietema의 d_{50} 예측식에서 유입시료 중의 유체와 입자의 비중차이가 클수록 d_{50}가 작아진다는 보고와 일치하였다. 따라서 준설된 퇴적물로부터 미세한 입자의 저니와 건설용 골재 및 토양개량재 등으로 이용가능한 유효자원의 분리가 가능할 것으로 생각된다.

7. 참고문헌

정연규, 김진욱, 김용학, 김성훈 (2000), "Hydrocyclone을 이용한 하상퇴적토의 활용방안과 cyclone의 운전인자 도출에 관한 연구." G-7 환경기술 연구개발사업 성과 세미나 발표집, pp. 136-141.

Bradley D. (1965). *The Hydrocyclone*. Pergamon Press, Oxford.

Kelsall, D. F. (1966). *"The Theory and Applications of the Hydrocyclones, In Pool and Doyle : Solid-liquid seperation."* H.M.S.O., London.

Rietema K. (1961). "Performance and Design of Hydrocyclones- I ~ IV." *Chemical Engineering Science*, Vol. 15, No. 3 and No. 4, September, pp. 298-302.

Svarovsky L. (1981). *"Solid-Liquid Separation 2nd ed."*, Butterworths & Co(Publishers) Ltd, pp. 162-187.