

커터헤드 형태에 따른 준설효율에 관한 실험적 연구

박재현 · 김영도*⁺ · 이만수**

인제대학교 토목도시공학부

* 인제대학교 환경공학부(낙동강유역환경연구센터)

** 현대건설(주) 토목환경사업본부

An Experimental Study on Dredging Efficiency for Cutter Head Type

Park, Jae Hyeon · Kim, Young Do*⁺ · Lee, Man Soo**

Department of Civil and Urban Engineering, Inje University

* Department of Environmental Science and Engineering (NRERC), Inje University

** Hyundai Engineering & Construction

요 약

본 연구에서는 준설용 커터헤드의 형태에 따른 준설효율 특성을 분석하기 위하여 개방형 및 폐쇄형으로 나누어 수리실험을 수행하였다. 준설효율에 관한 실험을 수행하기 위하여 4.9 m(L) × 2.2 m(W) × 1.5 m(H) 크기의 대형수조를 제작한 후 준설 운영에 필요한 여러 장치를 제작하였다. 준설효율 실험에서는 커터헤드의 준설깊이, 회전속도, 흡입속도 등에 관한 운영조건을 달리하여 실험을 수행하였다. 준설효율에 관한 실험 결과를 살펴보면 개방형의 경우보다 폐쇄형의 경우에 상당히 높은 준설효율을 유지하였다. 동일한 커터헤드의 형태에서는 커터헤드의 회전속도가 준설효율 결과에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 보다 높은 준설효율을 위해서는 적정수준의 흡입속도가 필요한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 준설효율, 커터헤드, 준설깊이, 회전속도, 흡입속도

Abstract

In this study, the hydraulic experiments were conducted for the dredging efficiency of the cutter head type, which includes the open type and the close type cutter head. The dredging experimental instrument was installed in the large water tank which has the dimension of 4.9 m(L) × 2.2 m(W) × 1.5 m(H). The dredging experiments were performed for the various conditions of dredging depth, rotating speed, and suction speed of the cutter head. As the results, the dredging efficiency of the close-type cutter head is much higher than that of the open-type cutter head. The dredging efficiency of the same cutter head type was mainly influenced by the rotating speed of cutter head. Also the adequate suction speed of the cutter head is needed for more effective dredging.

Keywords : dredging efficiency, cutter head, dredging depth, rotating speed, suction speed

1. 서론

최근 항만 및 하천에서 이루어지는 준설사업의 주요 관심사항 중 하나는 부유탁수로 인한 주변수체에 미치는 영향을 최소화하고 준설효율을 최대화하는 것이다. 국내에서는 이와 같은 준설로 인한 환경 영향 문제에 대한 예측기술과 준설 효율 향상에 관한 기초연구가 미비한 실정이다(Park et al., 2011). 준설효율과 환경측면을 동시에 고려한 준설사업을 진행하기 위해서는 기계 장비들의 노후와 운영체제의 미흡함으로 인하여 발생하는 문제점을 최적 준설공정 적용 및 장비운영 효율화를

통해 해결해야 한다. 그러나 준설이 진행되고 있는 연안지역과 하천에서는 수체 수리 특성과 하상재료 특성에 따라 이와 같은 고효율 친환경 준설작업을 수행하는 것이 매우 어렵다. 준설효율과 환경영향을 고려한 최적의 준설작업을 수행하기 위해서는 준설시 그 주변의 유동장 특성을 파악하여 부유사의 확산정도를 정확히 예측하고, 이를 해결할 수 있는 연구가 선행되어야 한다(Park et al., 2011). 또한 상수원 수질관리를 위해 유기 오염퇴적물의 제거 및 처리에 있어서 환경영향을 최소화하는 준설방법에 관한 기술개발의 필요성이 제기되고 있다(Jung, 2006).

+ To whom correspondence should be addressed.
ydkim@inje.ac.kr

준설기술은 토목공학과 기계, 조선, 제어 등 여러 학문이 복합적으로 구성되어 있으나, 국내에서는 이러한 다학제간 융합연구가 부족한 실정이다. Lee et al. (2011)은 준설투기장내 부유물질 유출농도 예측에 관한 모형 실험을 대형토조에서 수행한 바 있으며, Kim et al. (2004)은 영랑호 준설토를 이용하여 펌프준설에 의한 준설토의 체적변화에 대한 실내시험을 수행한 바 있다. 그러나 국내에서는 준설 장비 자체의 동수역학적 효율에 대한 체계적인 연구는 이루어지지 못하고 있으며, 현장 기술자들은 과거의 경험에 의존하여 운영하고 있다(Chae et al., 2009). 현재 준설선을 포함한 준설 장비는 최근 30년간 유럽과 미국 주도로 급속히 대형화 및 첨단화되었고, 국내 업체들도 이와 같은 최신 장비를 수입 또는 제작하여 다량의 첨단 준설선을 보유하고는 있으나, 그동안 매립 관련 분야로 국한되어 연구 개발이 수행되면서, 1990년대 이후로 준설분야 국제 경쟁력이 저하되기 시작하였고, 2000년대에 와서는 자체 기술만으로는 해외 선진업체들과 경쟁이 되지 않는 실정에 이르렀다(Chae et al., 2009). 현재 국내에서는 준설효율의 증대와 더불어 환경적인 측면까지 고려한 준설사업을 수행하려고 다양한 시도를 하고 있지만, 기계 운영에 필요한 모니터링 장비들의 노후화와 운영체제의 미흡함으로 인하여 많은 어려움을 겪고 있으며, 이와 같은 어려움을 해결하기 위해서는 준설과정에 대한 동수역학적인 연구결과가 필요한 실정이다.

준설에 관한 수공학 분야에서의 연구사례를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 준설플룸의 혼합거동 예측에 관한 연구로서 Bohlen (1978)은 준설 탁도플룸에 관한 간단한 수학적해를 제안하였고, Kuo et al. (1985)과 Kuo and Hayes (1991)에 의해 여러 준설 공중에 따른 수리적인 해석해를 바탕으로 한 탁도플룸에 관한 수치해석모형이 개발된 바 있다. 국내에서는 Kang et al. (2004)이 준설선 인근에서 발생하는 탁도플룸의 근역혼합거동을 D-CORMIX를 이용하여 해석하였고, Jung et al. (2004)은 이와 같은 부유사의 확산거동에 관한 예측시스템을 개발하였다. 또한 Kang et al. (2006)은 전방추적법에 의한 이송모의와 유한차분법에 의한 확산모의를 연계한 모형을 이용하여 준설플룸의 3차원적인 거동을 모의한 바 있으며, Kim et al. (2009)은 입자추적모형에 비하여 계산효율이 높은 퍼프모형을 개발하여 준설플룸의 혼합거동을 모의하는 방안을 제시하였다. 이와 같은 연구들은 준설시 발생하는 탁도플룸의 환경영향을 평가하기 위한 혼합거동 예측에 관한 것으로서 준설효율에 관한 동수역학적인 실험연구가 수행된 사례는 매우 적다. Chae et al. (2009)이 커터헤드 운영방법에 따른 준설효율을 분석한 바 있으며, Park et al. (2011)은 커터헤드 주변의 난류 구조에 의한 수리적 특성을 정밀 유체실험을 통해 분석한 바 있다.

본 연구에서는 이와 같은 선행 연구를 바탕으로 준설용 커터헤드 설계에 있어 준설효율에 영향을 주는 주요 인자중 특히 커터헤드 내부의 굴착 공간의 개폐여부에 따른 준설효율 특성을 분석하고자 한다. 또한 실험 결과를 통해 분석된 주요 인자별 준설효율 특성을 바탕으로 현장작용이 가능한 장비 운영 기준을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

기존의 준설효율을 평가하는 연구방법으로 배송관에서의 밀도를 평가하는 방법이 있으며, 준설전후의 입도 분포곡선에 Marsal의 수정파쇄율을 적용한 연구결과를 통해 유실율을 평가하는 방법과(Kim et al., 2000), 유실율을 평가후 이를 검증하기 위하여 기존의 방법을 이용하여 평가한 유실율과 비교검토하고, 실내모형시험을 실시하여 현장계측 결과와 비교하여 실제 준설효율을 분석하는 방법이 제시된 바 있다(Kim et al., 2002). 준설효율이라 함은 동일한 에너지를 이용하여 수행된 준설량의 크기를 나타내며, 본 연구에서는 준설장비를 통해 흡입된 토사와 물로 이루어진 혼합물의 준설토 농도로 정의하였다.

본 연구에서는 (주)현대건설에서 보유한 아산 3호 준설선의 커터헤드(cutter head) 모양을 1/35 규모로 축소제작하여 연구를 수행하였으며, 커터헤드의 형태는 개방형 및 폐쇄형으로 나누어서 실험을 수행하였다. 동수역학적으로 준설토 입경 및 커터헤드 크기 등의 실험제원에 대한 상사 특성을 완벽히 만족시키는 것은 불가능하다(Park et al., 2011). 본 연구에서는 커터헤드의 크기를 축소하였으므로, 제작이 가능한 실험기기의 구성에 맞도록 커터의 회전수 및 흡입속도 등을 결정하여 실험을 수행하였고, 실험에 사용된 준설토로는 평균 토사입경이 0.5 mm인 주문진사를 사용하였다. 그리고 준설작업시 주요 운영조건으로서 커터헤드 회전속도, 이동속도, 흡입속도, 준설깊이 등을 달리하여 다양한 조건에서 실험을 수행하였다.

본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 4.9 m × 2.2 m × 1.5 m(가로×세로×높이) 크기의 준설 실험용 수조에 수심은 1 m 깊이로 유지하고, 준설토를 흡입하기 위해서 커터헤드는 수심 20 cm ~ 80 cm에 위치할 수 있도록 Ladder의 길이를 1 m로 제작하였다. 커터헤드의 날개는 총 12개로 제작하였으며, Fig. 2와 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 커터헤드 모형은 개방형과 폐쇄형으로 나누어 직경 16 cm로 제작하였다. 폐쇄형의 경우에는 개방형의 경우보다 준설시 발생하는 부유토사를 일정시간 커터헤드 내부에 저장하는 효과가 있으므로 상대적으로 준설효율이 높은 것으로 나타난다. 흡입공정에 필요한

흡입관의 위치는 아산 3호의 설계도를 바탕으로 직경 1.8 cm인 원형관으로 만들어졌으며 준설 흡입속도, 커터 헤드 회전속도 및 이동속도는 실험조건에 따라 조절이 가능하도록 설계하였다.

본 연구에서는 우리나라에서 가장 널리 이용되는 형태의 커터 펌프 준설선(cutter suction dredger)의 준설공정을 기초로 하여 실험장치를 제작하고 적절한 실험조건을 범위를 선정하였다. 이와 같은 형태의 준설선은 대

부분의 준설토 토질에 적용이 가능하며, 준설능력이 좋으며 준설위치 측정이 정확한 반면에 해상조건의 의존도가 크고, 준설지역과 수도지역이 관망에 의해 연결되어야 해서 최대거리가 제한되며, 물과 혼합되어 준설되므로 효율적이지 못하는 단점이 있지만, 이와 같은 한계점은 본 연구를 수행하는 실험범위에서는 큰 영향을 주지 않은 것으로 판단되었다.

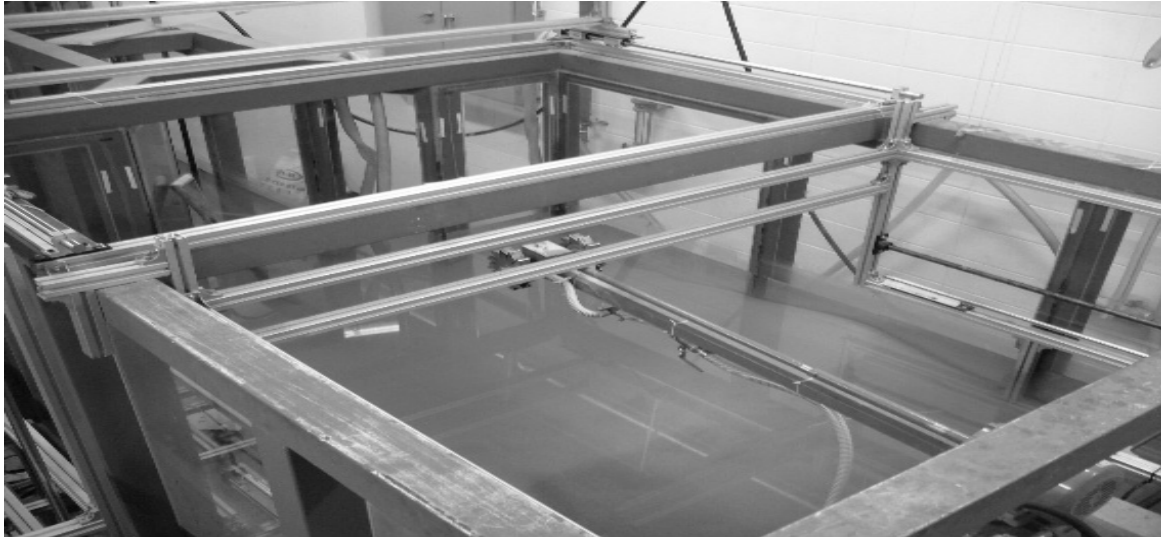


Fig. 1. Experimental Tank for Cutter Head Dredging Test



Fig. 2. Open Type Cutter Head

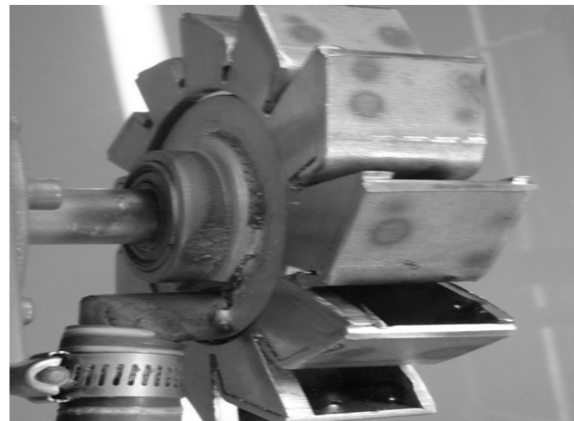


Fig. 3. Close Type Cutter Head

본 연구에서 유속계측을 위해 사용된 PIV(Particle Image Velocimetry)는 컴퓨터의 고속 연산 기능과 영상 처리 기법을 이용하여 유동의 한 단면에 대한 순간 유동장을 획득할 수 있는 공학적 유속 측정기법으로 시스템의 장비는 Fig. 4의 1.92 million pixel(1600 × 1200)의 고해상도 CCD카메라(TSI, Model 630057), Fig. 5의 120 mJ/pulse의 이중 펄스 방식의 Nd:Yag 레이저 시스템(Big

Sky Laser, Model PIV 120), 동기화장치(Synchronizer TSI, Model 610034), 화상처리 보드(Supermicro, Model PDSG4) 및 컴퓨터로 구성되어있다. 본 연구에서는 정확한 위치이동을 통한 정밀한 계측을 수행하기 위하여 PIV 시스템의 CCD 카메라의 거치대(1.59 m × 1.22 m × 2.23 m)와 레이저 거치대(1.19 m × 0.82 m × 2.24 m)를 제작 및 설치하였다(Fig. 4 참조).



Fig. 4. CCD Camera for PIV System



Fig. 5. 3-dimensional PIV system

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 주요 인자에 대한 적절한 범위의 실험 조건을 구하고자 조건을 변경시켜가며 다수의 예비실험을 수행하였고, 이 결과를 바탕으로 실험장치에 적합한 커터헤드의 이동속도(0.013 m/sec)를 구하였다. 또한 흡입속도는 2.2 m/sec, 2.0 m/sec, 1.8 m/sec로 변화시키며 실험을 수행하였다. 각각의 흡입속도에 대한 커터헤드의

회전속도(rpm)는 30 ~ 60 rpm의 범위에서 10 rpm 간격으로 변동시키며 실험을 수행하였다. 또한 준설 깊이에 따른 커터헤드의 준설효율을 분석하기 위해 커터헤드의 중심점(8 cm)을 기준으로 상(6 cm), 하(10 cm) 두 가지 포함 3가지 조건으로 준설깊이로 달리하여 준설효율 실험을 수행하였다. Table 1은 각각의 준설 운영인자에 따른 준설 효율을 평가하기 위해 본 연구에서 수행한 실험조건을 나타낸 것이다.

Table 1. Experimental Conditions

Case	Moving Speed (m/sec)	Suction Speed (m/sec)	Rotating Speed (rpm)	Dredging Depth (cm)
Case 1-1 (open type)	0.013	2.2	30 ~ 60 (interval : 10 rpm)	6
		2.0		
		1.8		
Case 1-2 (open type)	0.013	2.2	30 ~ 60 (interval : 10 rpm)	8
		2.0		
		1.8		
Case 1-3 (open type)	0.013	2.2	30 ~ 60 (interval : 10 rpm)	10
		2.0		
		1.8		
Case 2-1 (close type)	0.013	2.2	30 ~ 60 (interval : 10 rpm)	6
		2.0		
		1.8		
Case 2-2 (close type)	0.013	2.2	30 ~ 60 (interval : 10 rpm)	8
		2.0		
		1.8		
Case 2-3 (close type)	0.013	2.2	30 ~ 60 (interval : 10 rpm)	10
		2.0		
		1.8		

준설시 부유물의 이동 및 확산에 관한 유속장의 분포 특성을 살펴보기 위하여 고정상에서 PIV를 이용하여 흡입속도가 2.0 m/s인 경우에 대하여 커터헤드로부터 0.03D과 0.22D 이격된 지점의 평면에 대한 유속장의 크기를 측정하였으며, 흡입시 발생하는 에너지로 인하여 발생하는 유속장의 분포특성을 살펴보았다(Park et al., 2011). Fig. 6은 커터헤드 주변의 유동장을 나타낸 것으로 커터헤드로부터 0.2D 정도까지 난류강도가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 커터헤드에서 0.03D 떨어진 지점에서 유속의 분포는 0.071 ~ 0.001 m/sec, 평균 유속은 0.019 m/sec로 나타났으며, 커터헤드 날개 주변으로 유속장이 크게 나타나고, 커터헤드의 아랫부분이 윗

부분에 비해 유속이 약하게 나타났는데 흡입구의 위치가 아래쪽에 위치하여 유속의 크기가 z 방향으로 증가하였을 것으로 판단된다. 0.22D지점에서의 평균유속은 0.018 m/sec이며 흡입력에 의하여 0.22D의 지점까지 영향을 미치는 것으로 판단된다. 유속장의 분포가 전체적으로 고르게 나타났으며, 커터헤드 중심축 부분 주변을 제외하면 큰 차이는 없었다. Fig. 7은 측정된 유속장의 변동성을 분석하기 위하여 유속 데이터를 바탕으로 Reynolds 응력을 활용하여 난류강도의 크기를 구한 것을 나타낸 것이다. 전체적으로 연직방향에 위치한 흡입력의 에너지로 인하여 난류강도의 크기가 감소하는 것으로 나타났다.

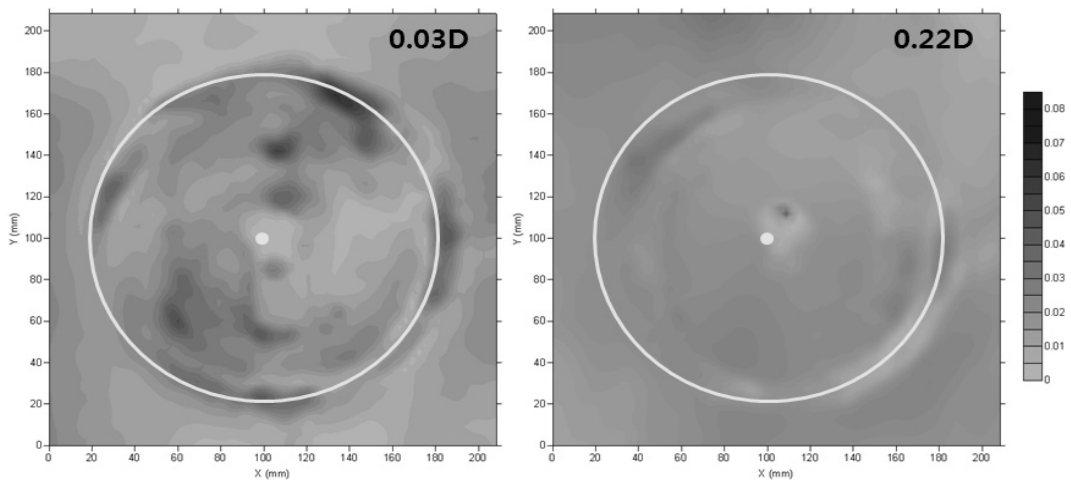


Fig. 6. Spatial velocity distribution around cutter head (Park et al., 2011)

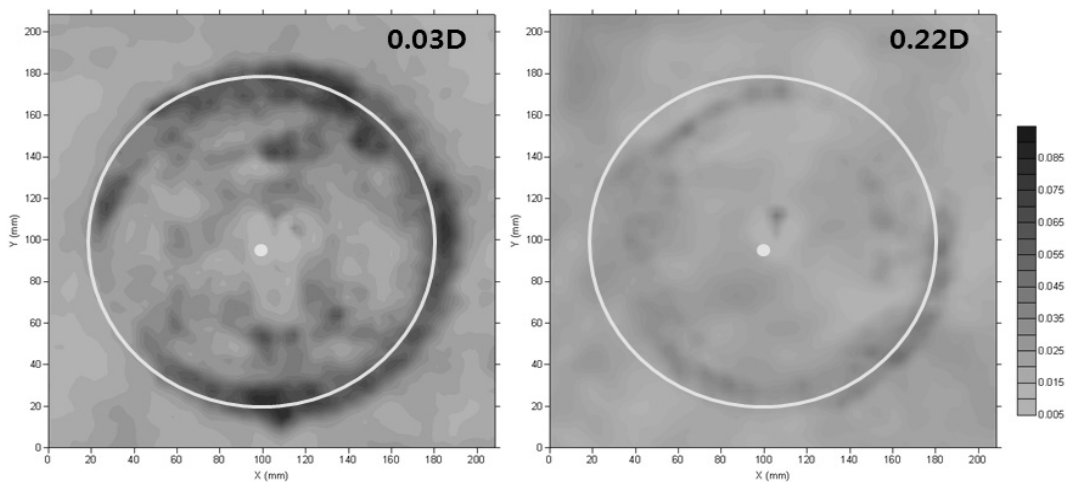


Fig. 7. Spatial turbulent intensity distribution around cutter head (Park et al., 2011)

커터헤드 주변의 유속장 측정결과를 바탕으로 개방형과 폐쇄형 커터헤드에 대하여 준설깊이, 커터헤드의 회전속도, 펌프의 흡입속도에 따른 다양한 운영조건에서의 준설효율 실험을 수행한 결과를 Fig. 8 ~ Fig. 10에 나

타내었다. 전체적으로 살펴보면 커터헤드의 형태에 따른 준설효율의 차이가 가장 크며, 동일한 형태의 커터헤드의 경우에는 회전속도에 따른 준설효율의 차이가 가장 크게 나타났다. 최적의 준설효율은 흡입속도 2.0 m/sec에

서 나타났으며, Case 1-3의 준설 깊이가 10 cm인 경우 준설효율이 다른 깊이에 비하여 크게 나타났고, 그 중 커터헤드 속도가 40 rpm인 경우 가장 큰 효율을 나타냈다. 전체적으로 준설깊이가 증가할수록 준설효율이 증가함을 보였다.

Fig. 8은 준설깊이가 6 cm에서의 폐쇄형과 개방형의 형태에 따라 다양한 이동속도와 회전속에 대한 준설효율을 나타낸 것이다. Case 1-1은 개방형 커터헤드의 경우에 대하여 준설깊이가 6 cm(0.38D)에서의 수행결과이다. 전체적으로 살펴보면 커터헤드의 회전속도가 50 ~ 60 rpm 사이에서는 그 효율이 급격히 감소함을 볼 수 있고, 흡입속도에 따른 효율을 살펴보면 흡입속도 2.0 m/sec에서 가장 큰 효율을 보였으며, 1.8 m/sec에 비하여 회전속도 40 rpm에서 18%의 준설효율을 나타냈다. 준설깊이가 6 cm인 경우에는 흡입속도별로 2.2 m/sec와 1.8 m/sec는 큰 차이를 보이지 않았다. Case 2-1은 폐쇄형 커터헤드의 경우에 대하여 준설깊이가 6 cm(0.38D)에서의 수행결과이다. 전체적으로 살펴보면 커터헤드의 회전속도에 따른 차이는 크지 않았으며, 50 ~ 60%대의 고효율을 나타냈으며, 흡입속도 2.0 m/s에서 효율이 가장 높았다. 1.8 m/sec에 비하여 회전속도 40 rpm에서 20%의 준설효율이 상승하였다.

Fig. 9는 준설깊이가 8 cm에서의 폐쇄형과 개방형의 형태에 따라 다양한 이동속도와 회전속에 대한 준설효율을 나타낸 것이다. Case 1-2는 개방형 커터헤드의 경우에 대하여 준설깊이가 8 cm(0.5D)에서의 수행결과이다. 전체적으로 살펴보면 커터헤드의 회전속도가 50 rpm ~ 60 rpm 사이에서는 그 효율이 급격히 감소하였고, 30 rpm

~ 40 rpm 사이에서 대체적으로 효율이 높았다. 그리고 흡입속도에 따른 효율을 살펴보면 준설깊이가 6 cm 경우와 동일하게 흡입속도 2.0 m/sec에서 가장 큰 효율을 보였으며, 1.8 m/sec에 비하여 최고 흡입속도 40 rpm에서 13%의 준설효율을 나타냈다. 준설깊이가 8 cm인 경우에는 전체적으로 큰 차이를 보이지 않았다. Case 2-2는 폐쇄형 커터헤드의 경우에 대하여 준설깊이가 8 cm(0.5D)에서의 수행결과이다. 전체적으로 살펴보면 커터헤드의 회전속도에 따른 차이는 30 rpm과 다른 조건과 비교하였을 때 20% 이상의 차이를 보였고, 흡입속도에 따른 차이는 크지 않았으며, 적정깊이에서는 흡입속도에 대한 효율의 차이가 크지 않은 것을 확인할 수 있다.

Fig. 10은 준설깊이가 10 cm에서의 폐쇄형과 개방형의 형태에 따라 다양한 이동속도와 회전속에 대한 준설효율을 나타낸 것이다. Case 1-3은 개방형 커터헤드의 경우에 대하여 준설깊이가 10 cm(0.63D)에서의 수행결과이다. 전체적으로 살펴보면 커터헤드의 회전속도가 50 rpm ~ 60 rpm 사이에서는 그 효율이 떨어짐을 확인할 수 있으며, 40 rpm ~ 50 rpm 사이에서 대체적으로 효율이 높았다. 그리고 준설 흡입속도에 따른 효율을 살펴보면 흡입속도 2.0 m/sec에서 가장 큰 효율을 보였으며, 1.8 m/sec에 비하여 최고 흡입속도 40 rpm에서 25%의 준설효율을 나타냈다. Case 2-3는 폐쇄형 커터헤드의 준설깊이가 10 cm(0.63D)에서의 수행결과이다. 전체적으로 살펴보면 커터헤드의 회전속도가 30 rpm에서 다른 조건에 비해 약 15%의 준설효율이 증가되었으며, 흡입속도 2.0 m/s에서 가장 큰 효율이 나타났지만 다른 커터헤드 회전속도에서는 유사한 값을 나타냈다.

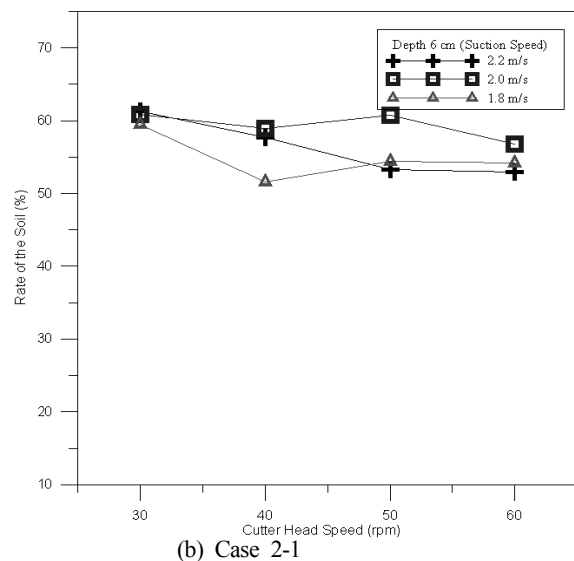
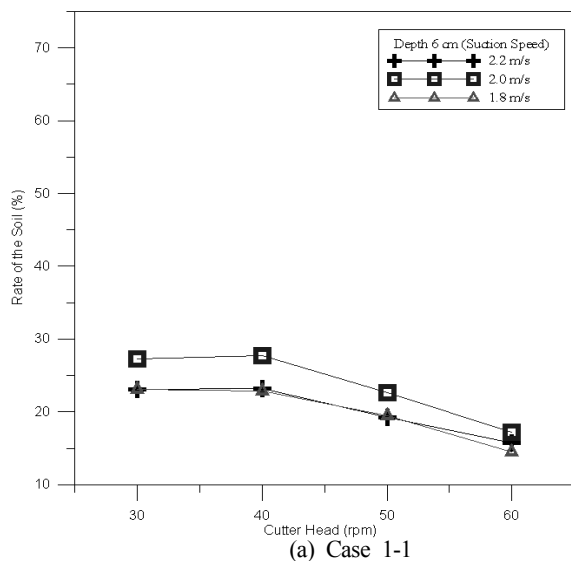


Fig. 8. Dredging Efficiency for Cutter Head Rotating Speed (Dredging Depth: 6 m)

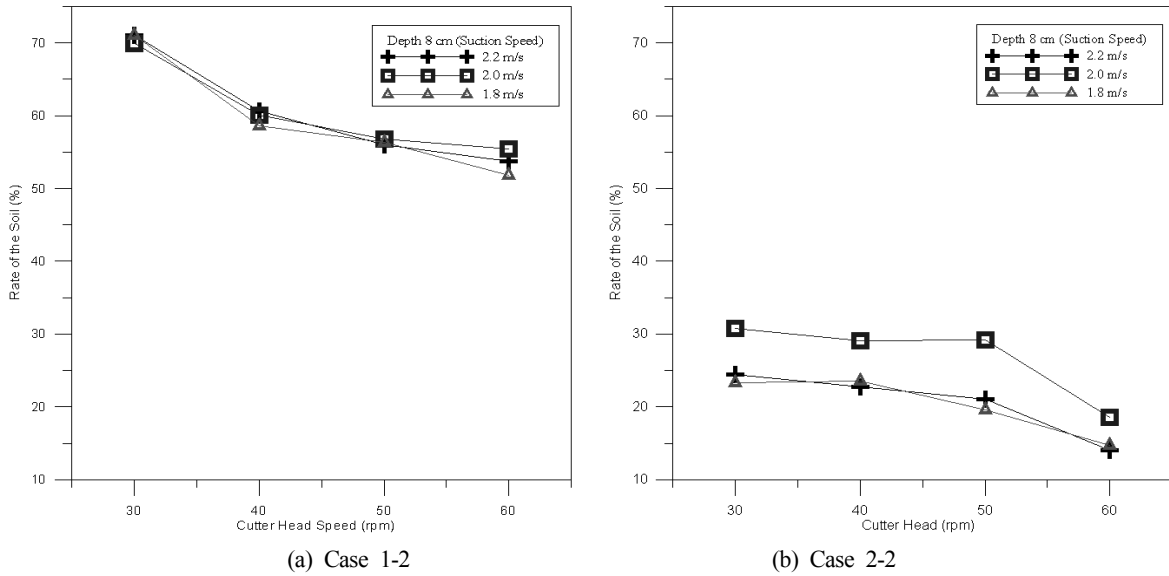


Fig. 9. Dredging Efficiency for Cutter Head Rotating Speed (Dredging Depth: 8 m)

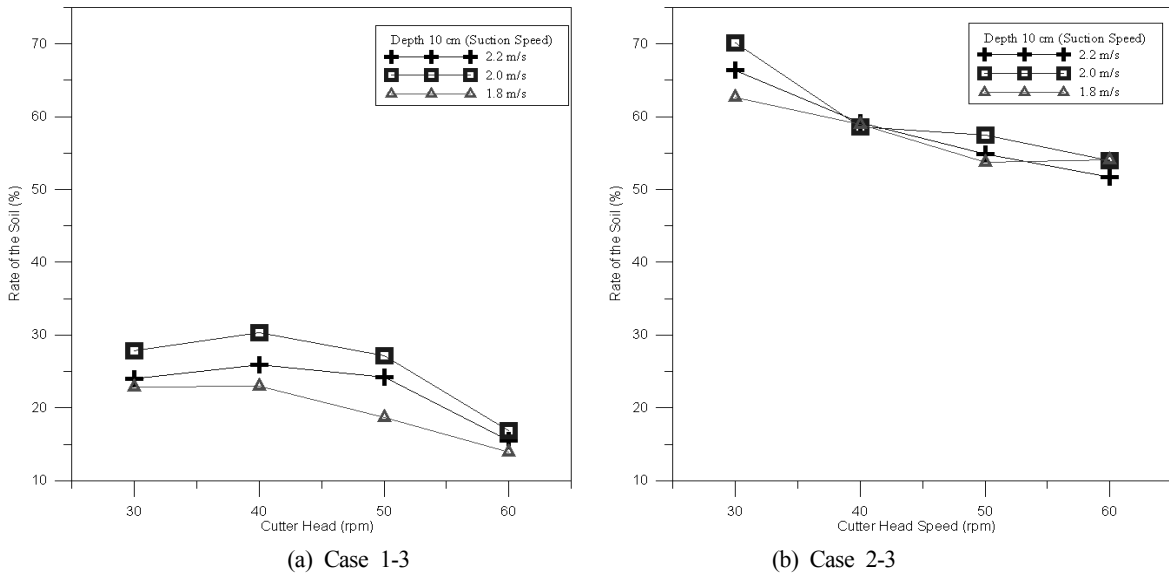


Fig. 10. Dredging Efficiency for Cutter Head Rotating Speed (Dredging Depth: 10 m)

4. 결론

본 연구에서는 준설효율의 향상과 최적의 준설효율을 구현하기 위한 운영조건을 제시하기 위해 현대 아산 3호 준설용 커터헤드의 제원을 기초로 하여 개방형과 폐쇄형 커터헤드 모형에 대하여 준설효율 실험을 수행하였다. 이를 위해 주요 실험 인자(준설깊이, 커터헤드의 회전속도, 준설 흡입속도 등)에 따른 여러 조건의 실험을 진행하였으며, 실험결과를 이용하여 커터헤드의 최적 운영 조건을 분석하였다.

1. 주요 인자에 따른 실험 결과를 분석해보면 커터헤드의 형태에 따른 준설효율의 차이가 가장 크며, 동일한 형태의 커터헤드의 경우에는 다른 운영조건에 변화에 비하여 회전속도에 따른 준설효율의

차이가 가장 크게 나타났다.

2. 개방형 커터헤드의 준설효율 실험에서는 커터헤드의 회전속도에 따라서 준설효율이 가장 큰 차이를 보였고, 준설깊이를 크게 한다고 하여 준설효율이 증가하지는 않았으며, 적정 수준의 회전속도를 유지하고, 이에 대하여 적합한 흡입속도가 유지되면 최적의 준설효율을 보이는 것으로 나타났다.
3. 폐쇄형 커터헤드의 준설효율 실험에서는 개방형에 비하여 전체적으로 효율이 크게 나타났으며, 이는 준설시 발생하는 부유 토사를 충분히 저장하는 역할을 수행하는 것으로 판단되며, 이와 같은 실험결과를 바탕으로 향후 지속적인 연구를 통하여 고효율 친환경 커터헤드의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

4. 본 연구에서는 커터헤드의 회전속도가 최고치에서 준설의 효율이 떨어짐을 보였는데 이는 준설토의 상태와 커터헤드의 이동속도에 따라 그 효율이 다를 것으로 생각되며 향후 실험에서는 준설토의 종류, 커터헤드의 이동속도, 커터헤드의 날개모양 등의 다른 인자들에 대한 실험을 추가적으로 수행함으로써 최적의 운영 조건을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.
5. 본 연구의 실험결과를 현장에 접목시키기 위해서는 준설한 바와 같은 준설장비 운영에 관한 다른 주요 인자의 조건을 달리한 여러 가지 실험이 추가되어야 할 것이며, 이를 바탕으로 최적 준설에 관한 운영지침을 만들어야 한다. 이와 같은 운영지침을 활용하면 그동안 경험에 의존하여 진행되어 오던 준설 작업이 보다 효율적이고 친환경적으로 수행이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(C106A1000007-06A060000711)에 의해 수행되었습니다.

References

- Bohlen, WF (1978). Factors governing the distribution of dredge resuspended sediment. *Proc. of 16th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, pp. 2001-2019.
- Chae, DS, Park, JH, Kim, YD, Kim MH, and Lee, MS (2009). Analysis of dredging efficiency for operation of dredging cutter head, *J. of the Korean Geoenvironmental Society*, 10(5), pp. 5-9.
- Jung, TS, Kim, TS, and Kang, SW (2004). A prediction system of SS induced by dredging, *J. of the Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 16(1), pp. 47-55.
- Jung, YJ (2006). Survey on the contaminated sediments on lake Paldang, *J. of Wetlands Research*, 6(4), pp. 49-58.
- Kang, SW, Kang, IN, and Lee, JL (2006). 3-D dispersive transport model for turbidity plume induced by dredging operation, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 26(5B), pp. 557-562.
- Kang, SW, Kim, SI, Kang, IN, and Jung, TS (2004). A numerical simulation for initial dispersion of dredged material, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(1B), pp. 63-68.
- Kim, CS, Yoon, GL and Park, HG (2004). A study on bulking change of dredged soils by pump dredger, *J. of the Korean Geoenvironmental Society*, 5(4), pp. 5-11.
- Kim, HT, Kim, SY, Kang, IK, and Park, JE (2000). A study on the estimation of loss rate of dredged fills, *J. of the Korean Geoenvironmental Society*, 1(1), pp. 57-63.
- Kim, SY, Choi, HP, Park, JE, and Kim, SW (2002). A study on the estimation method of loss ratio in dredged fills, *J. of the Korean Geoenvironmental Society*, 3(1), pp. 67-77.
- Kim, YD, Park, JH, and Lee, MS (2009). Simulation of mixing behavior for dredging plume using puff model, *J. of Korea Water Resources Association*, 42(10), pp. 891-896.
- Kuo, AY and Hayes, DF (1991). Model for turbidity plume induced by bucket dredge. *J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 117(6), pp. 610- 623.
- Kuo, AY, Welch, CS, and Lukens, RJ (1985). Dredging induced turbidity plume model, *J. of Waterways, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 111(3), pp. 476-494.
- Lee, DW, Jun, SH, Yoo, KS, and Yoo, NJ (2011). Model experiments on prediction of effluent concentration of suspended solid in containment of dumping dredged soil, *J. of the Korean Geoenvironmental Society*, 12(6), pp. 35-42.
- Park, JH, Kim, YD, Chae, DS, and Lee, MS (2011). An experimental study on hydraulic characteristics around cutter-head for dredging, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 31(6B), pp. 491-497.

- 논문접수일 : 2012년 12월 02일
- 심사의뢰일 : 2012년 12월 03일
- 심사완료일 : 2013년 02월 14일